УДК 530 (023) = 927

Научно-популярная литература

Яков Исидорович Перельман

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

Книга 2

Редактор *Егупов И.Ю.* Художественный редактор *Радченко К.В.*
Технический редактор *Прохорова Е.Н.* Ст.корректор *Манукян Р.Г.*

ИБ № 6604

Подписано к печати 15.02.86. Фотоофсет. Формат 70 x 90/16.
Бумага офсетная №1. Гарнитура арабская. Объем 10,25 бум.л.
Усл.печ.л. 23,99. Усл.кр.-отт. 48,64. Уч.-изд.л. 23,23. Изд. № 18/4861.
Тираж 12 800 экз. Зак. № 20. Цена 1 р. 21 к.

ИЗДАТЕЛЬСТВО "МИР"
129820, ГСП, Москва, И-110, 1-й Рижский пер., 2.

Можайский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при
Государственном комитете СССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли.
143200, г. Можайск, ул. Мира, 93.

П $\frac{1704010000 - 085}{056 (01) - 87}$ 101 – 87, ч. 2

На арабском языке

طبعة اولى ١٩٧٠

طبعة ثانية ١٩٧٤

طبعة ثالثة ١٩٧٨

طبعة رابعة ١٩٨٢

طبعة خامسة ١٩٨٣

طبعة سادسة ١٩٨٧

© حقوق الترجمة الى اللغة العربية محفوظة لدار «مير» ١٩٧٤

كلمة دار النشر

ان كتاب «الفيزياء المسلية» الذى بين يدى القارئ الآن ، مترجم عن الطبعة الروسية السادسة عشرة .

ويعود نجاح هذا الكتاب الى عبقرية المؤلف النادرة ، الذى استطاع ملاحظة واستخلاص الحقائق والظواهر الاعتيادية المألوفة فى الحياة ، والتى لها فى نفس الوقت دلالة فيزيائية عميقة .

ان اسلوب الكتاب السلس المفهوم والطابع المسلّى لمحتوياته، هما سبب حصول الكتاب على شهرة واسعة النطاق بين جماهير القراء .

وعند وضع الكتاب، حدد المؤلف بدقة كبيرة، مهمّاته والغرض من وضعه . واثناء الحديث عن المفاهيم والقوانين الثابتة ، المعروفة منذ قديم الزمان ، يستعين المؤلف بالمبادئ التى يستند اليها علم الفيزياء الحديث ، محاولا بذلك تدريب القراء على «التفكير بطريقة تتلاءم مع علم الفيزياء» . وبناء على ذلك ، لا يصعب على القارئ ان يفهم سبب عدم احتواء الكتاب على مواضيع خاصة باحدث منجزات الالكترونيات اللاسلكية والفيزياء الذرية وغيرها من المسائل الحديثة .

وكان مؤلف هذا الكتاب الصادر منذ نصف قرن تقريبا، مستمرا فى ادخال التعديلات والاضافات على كل طبعة جديدة منه ، حتى الطبعة الثالثة عشرة ، الصادرة عام ١٩٣٦ .

لقد توفى ياكوف بيريلمان عام ١٩٤٢ اثناء الحصار الذى فرضته جيوش المانيا

النازية على مدينة لينينجراد . الا ان طبعات جديدة اخرى من هذا الكتاب صدرت حتى بعد وفاته .

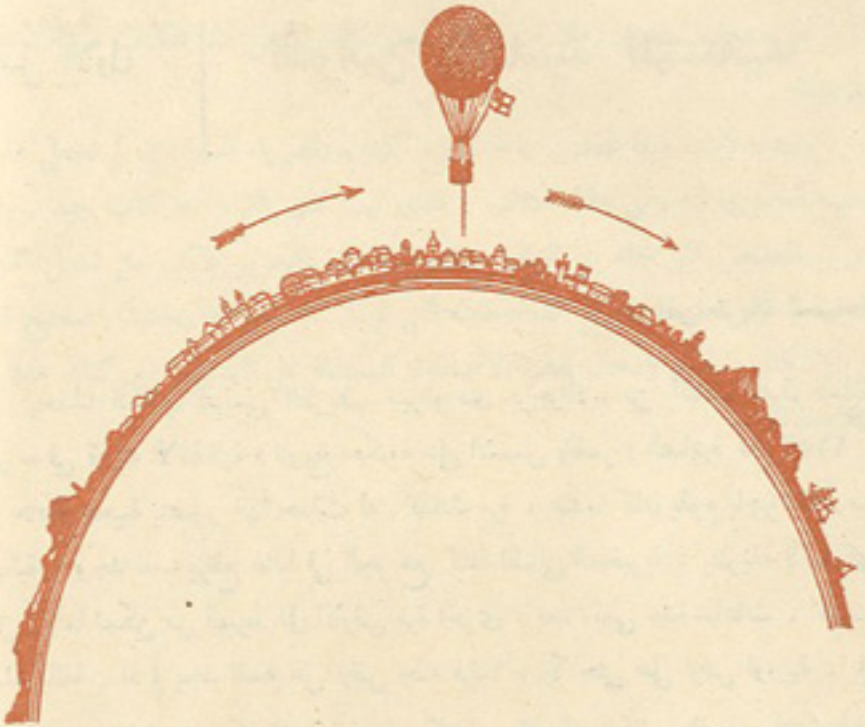
وعندما قامت هيئة التحرير باعادة طبع كتاب «الفيزياء المسلية»، لم تجعل هدفها التنقيح الجذرى لنصوص هذا الكتاب ، الذى ثبت لدى القراء انه كتاب جيد . وعند تحرير النصوص التى جاء بها المؤلف ، لم تقم هيئة التحرير باكثر من تبديل الارقام القديمة باخرى حديثة ، ورفع المخططات التى لم تثبت جودتها ، وتجديد وتصحيح قسم من الاشكال والرسوم وادخال بعض الاضافات المستقلة على النصوص مع كتابة عدد من الملاحظات .

الفصل الاول | القوانين الاساسية للميكانيكا

ارخص طريقة للسياحة

يحدثنا الكاتب الفرنسى الظريف سيرانو دى برجراك – من كتاب القرن السابع عشر – فى قصته الانتقادية « تاريخ حكومة على الشمس والقمر » الصادرة عام ١٦٥٢ ، عن حادثة عجيبة يتصور انها حدثت له . فذات مرة ، عندما كان يقوم باجراء تجارب فيزيائية ، وجد نفسه يرتفع عاليا فى الجو مع كافة القنانى المخبرية ، بطريقة لا يدركها العقل . ولما تمكن من الهبوط الى الارض مرة اخرى ، بعد مضى عدة ساعات ، اصيب بدهشة بالغة . اذ لم يجد نفسه على ارض وطنه فرنسا ، ولا حتى على ارض اوربية ، بل وجد نفسه على ارض امريكا الشمالية ، فى كندا . وقد ظن الكاتب الفرنسى ان تحليقه المفاجئ عبر المحيط الاطلسى ، هو امر طبيعى . وقد اوضح ذلك بقوله ، انه عندما كان محلقا فى الهواء بعيدا عن سطح الارض ، كانت الارض مستمرة فى دورانها نحو الشرق كالسابق . ولهذا السبب بالذات ، وجد عند هبوطه ان الارض التى تحت قدميه ليست فرنسا ، بل امريكا الشمالية .

يظهر ان هذه الطريقة ، هى ارخص طرق السياحة وابسطها ! وكل ما نحتاجه هو التحليق فوق سطح الارض والبقاء فى الجو ولو لدقائق قليلة ، وسوف نجد بعد هبوطنا ، اننا فى مكان مختلف تماما عن المكان الاول ، وبعيد عنه باتجاه الغرب. وعوضا عن السفر المتعب عبر الاراضى والمحيطات ، يمكن التعلق بسكون فوق الارض ، والانتظار قليلا ، حتى تضع الارض المكان المطلوب تحت قدمى السائح .



شكل ١ : هل يمكننا مشاهدة دوران الكرة الارضية من منطاد – بالون – مرتفع في الجو؟ (بغض النظر عن مقياس الرسم) .

ولكن للاسف ، ليست هذه الطريقة المدهشة ، سوى بدعة من الخيال . فقبل كل شيء ، اننا عندما نرتفع في الهواء ، لا نكون في الواقع منفصلين عن الارض بعد ، لاننا نبقى مرتبطين بغلافها الغازي ، ومعلقين بجوها ، الذي يساهم بدوره في حركة دوران الارض حول محورها . ان الهواء (وبالاحرى طبقاته السفلى الاكثر كثافة) يدور مع الارض ، ويجعل كافة الاشياء الواقعة ضمنه ، مثل الغيوم والطائرات والطيور والحشرات الطائرة .. وغيرها، تدور هي الاخرى مع الارض . ولو كان الهواء لا يشارك الارض في دورانها ، لكنا نشعر عند وقوفنا على الارض بر ، ياح عاتية ، تكون اقوى العواصف

الهوجاء بالنسبة اليها بمثابة نسمات خفيفة* . ان الامر لا يختلف ابدا ، اكنا نقف في مكاننا ، والهواء يتحرك بقربنا ، ام كان الهواء ساكنا وكنا نتحرك فيه ، لاننا في كلتا الحالتين نشعر بنفس قوة الرياح . ان راكب الدراجة النارية ، المنطلقة بسرعة ١٠٠ كم/ساعة ، يشعر برياح قوية جدا ، حتى عندما يكون الجو هادئا تماما .

وبعد ذلك ، فاننا حتى لو تمكنا من الارتفاع الى اعلى طبقات الجو ، او اذا كانت الارض غير محاطة بالهواء بتاتا ، لما كان في استطاعتنا والحالة هذه ، ان نستخدم تلك الطريقة السياحية الرخيصة ، التي تخيلها سيرانو دي برجراك . وفي الواقع ، عندما نبتعد عن سطح الارض الدوارة ، فاننا بدافع القصور الذاتي ، نستمر في حركتنا بنفس السرعة السابقة ، اي بنفس السرعة التي تدور بها الارض الواقعة تحتنا . وحينما نهبط الى الارض ثانية ، نجد انفسنا في نفس المكان الذي كنا قد انفصلنا عنه سابقا ، وهذه الحالة مشابهة تماما لتلك الحالة التي نقوم فيها بقفزة داخل عربة قطار متحرك ، حيث نقع على ارض العربة في نفس المكان الذي قفزنا منه . ولكننا في الواقع سنتحرك الى الامام بدافع القصور الذاتي (على المماس) ، اما الارض الواقعة تحتنا ، فستتحرك على القوس . ولكن عندما تكون الفترات الزمنية قصيرة ، لا يصبح لهذا الامر اي تأثير يذكر على جوهر المسألة .

«توقفي ايتها الارض !»

يحدثنا الكاتب الانكليزي الشهير ويلز ، في احدى قصصه الخيالية عن كاتب حسابات كان يصنع المعجزات . لقد جعل القدر من هذا الشاب البليد جدا ، صاحب موهبة مدهشة ، فما كان يتمنى شيئا ، الا ويراه يتحقق في الحال . ولكن ظهر ان هذه

---

* تبلغ سرعة العاصفة الهوجاء ٤٠م/ثانية (١٤٤ كم/ساعة) . اما الارض ، وهي عند خط العرض الذي تقع عليه مدينة لينينجراد، فكانت ستنطلق بنا خلال الهواء بسرعة قدرها ٢٣٠ م/ثانية (٨٢٨ كم/ساعة) ، وفي منطقة خط الاستواء ، مثلا في سنغافورة ، بسرعة قدرها ٤٦٥ م/ثانية (١٦٧٤ كم/ساعة) .

الموهبة المغرية ، لم تجلب لصاحبها وللناس شيئا ، سوى المضايقات . وسوف نجد فى نهاية هذه القصة ، عظة بالغة للناس .

بعد حفلة شرب استمرت حتى وقت متأخر من الليل ، خشى كاتب الحسابات من العودة الى بيته مع مطلع الفجر ، ففكر فى استخدام موهبته لاطالة الليل . كيف يمكن القيام بهذا العمل ؟ يجب ان يأمر النجوم بالتوقف عن حركتها . ولكن كاتب الحسابات لم يقرر القيام بهذا العمل الباهر فى الحال ، وعندما نصحه صديقه بايقاف القمر ، راح ينظر الى القمر بامعان ، ثم قال لصديقه بتأمل :

ـ يبدو لى ان هذا الامر ليس فى متناول يدى ... ما هو رأيك ؟

وهنا الح عليه صديقه ميديك قائلا :

ـ ولكن لماذا لا تحاول ذلك ؟ ان القمر لن يتوقف بطبيعة الحال ، لانك ستوقف دوران الارض فقط ، وليس فى ذلك ما يسىء الى اى شخص كما اتوقع !

فتمتم كاتب الحسابات ، الذى كان اسمه فوتيرينجى ، قائلا :

ـ حسنا ، ساحاول ...

ثم اتخذ وقفة الآمر ، ومد يديه فوق العالم وقال بلهجة المنتصر :

ـ توقفى ايتها الارض ! كفى عن الدوران !

ولم ينته من نطق ذلك الكلام ، حتى حلّق الصديقان فى الفضاء بسرعة بلغت عدة عشرات من الاميال فى الدقيقة الواحدة . وعلى الرغم من ذلك ، استمر فى التفكير . وفى اقل من ثانية ، استطاع ان يفكر ويقول فى نفسه الشىء الذى يتمناه :

ـ ليحدث مهما يحدث ، اما انا فاريد ان ابقى حيا دون ان اصاب باذى !

ويجب الاعتراف بان هذه الامنية جاءت فى وقتها بالذات. ومرّت على ذلك عدة ثوان اخرى ، سقط بعدها كاتب الحسابات على تربة حديثة العزق ، وقد تراكمت حوله انقاض المبانى ومختلف القطع المعدنية دون ان تصيبه بأذى ، وارتفع فى الهواء جسم بقرة مسكينة ، بعد ان تحطمت عند اصطدامها بالارض . وهبّت الرياح بقوة رهيبة ، حتى انه لم يتمكن من رفع رأسه ليرى ما يدور حواليه .

وهتف بصوت متقطع :

ـ اننى لا ادرك جلية الامر ، ماذا حدث ؟ أهى عاصفة ام ماذا ؟ لابد واننى قد فعلت شيئا ما بصورة غير صحيحة .

ثم نظر حوله بقدر ما سمحت له الرياح وحاشية سترته المرفرفة ، واستمر قائلا :

ـ يبدو ان كل شىء فى السماء قد بقى على حاله ولم يتغير. وها هو ذا القمر فى مكانه . ولكن ماذا حدث لبقية الاشياء الاخرى ... اين المدينة ؟ اين المنازل والشوارع ؟ وكيف هبت الرياح ؟ انا لم اطلب من الرياح ان تهب .

وحاول فوتيرينجى ان يقف على قدميه ، ولكن ظهر ان هذا الامر مستحيل ، ولذلك اخذ يزحف قليلا على يديه ورجليه ، متشبثا باحجار ونتوءات الارض . وبالمناسبة ، لم يكن هناك مكان يذهب اليه . لان كل ما استطاع ان يراه من تحت حاشية سترته ، التى القتها الرياح على رأسه ، كان عبارة عن خراب شامل .

ثم فكر وقال فى نفسه :

ـ لقد حدث للكون شىء خطير ، ولكن ما هو بالذات ، لا احد يدرى » .

ولقد حدث بالفعل شىء خطير. لم تبق هناك منازل ولا اشجار ولا اية مخلوقات حية اخرى . وكل ما بقى هو عبارة عن انقاض وشظايا متناثرة هنا وهناك ، لا تكاد العين تراها الا بصعوبة ، وسط عاصفة شاملة من الغبار .

ان المسئول عن كل هذا العمل لم يفهم حقيقة الامر بالطبع ، بينما كان السبب قد اتضح ببساطة . فعندما اوقف فوتيرينجى الارض فجأة ، لم يفكر بالقصور الذاتى ، الذى يعمل عند التوقف الفجائى للحركة الدورانية ، على القاء كافة الاشياء الموجودة على سطح الارض ، بعيدا عن ذلك السطح . ولهذا السبب بالذات ، انفصلت المنازل والناس والاشجار والحيوانات ، وبصورة عامة كل الاشياء الوثيقة الاتصال بكتلة الارض الاساسية ، وطارت بسرعة الرصاصة على خط مماس لسطح الارض . وبعد ذلك سقطت تلك الاشياء جميعها على سطح الارض وتحطمت .

وفهم فوتيرينجى ان المعجزة التى قام بها ، لم تكن ناجحة بصورة خاصة . ولذلك اشمأزت نفسه كثيرا من كافة المعجزات ، وعاهد نفسه على عدم القيام باية معجزة بعد ذلك . ولكن يجب قبل ذلك اعادة الحالة الى ما كانت عليه قبل وقوع الكارثة التى احدثها . لقد ظهر ان هذه الكارثة كانت كبيرة جدا ، حيث اشتدت العواصف وحجبت سحب الغبار وجه القمر ، وسمع من بعيد هدير المياه المقتربة ، حتى ان فوتيرينجى رأى على ضوء البرق ، جدارا كاملا من الماء يقترب بسرعة رهيبة من المحل الذى كان منطرحا عليه .

وهنا اصبح ثابت العزم ، وصرخ مخاطبا الماء :

– قف ! لا تتقدم اية خطوة الى الامام ! ثم وجه نفس الامر الى كل من الرعد والبرق والرياح .

وبعد ذلك اصبح كل شئ هادئا تماما .

وجلس القرفصاء ، واستغرق فى تفكيره :

– كيف يمكننى ان احول دون تكرر حدوث مثل هذا الهرج والمرج . وبعد ان فكر قال فى نفسه – « اولا ، عندما تنّفذ كل اوامرى الآن ، سوف اطلب ان افقد قابليتى لصنع المعجزات ، واكون مثل بقية الناس العاديين . ولا حاجة لى بالمعجزات ، انها لعبة خطرة للغاية . ثانيا ، لتعد كل الاشياء الى سابق عهدها ، لارى نفس المدينة ونفس الناس والمنازل ذاتها ، وارى نفسى شخصيا كما كنت عليه فى ذلك الحين » .

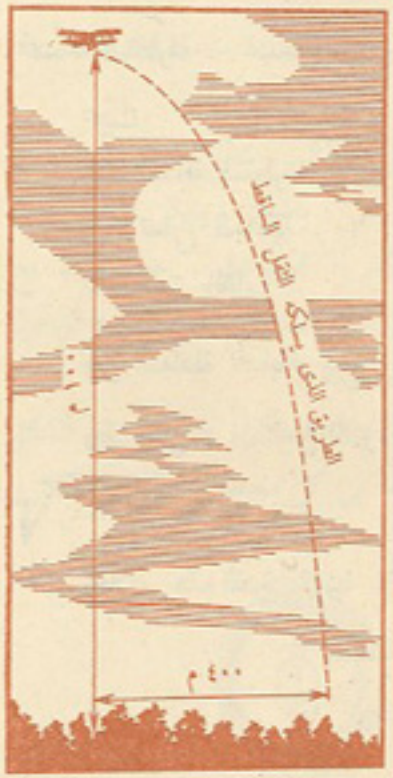
رسالة من الطائرة

تصور انك راكب فى طائرة تحلق فوق الارض بسرعة ، وانك تعرف المواقع التى تحلق فوقها الطائرة . وبعد لحظات ستكون الطائرة فوق المنزل الذى يسكنه صديقك . وهناك تخطر لك فكرة عابرة – « لماذا لا ابعث اليه بتحية من هنا ! » . ثم تتناول دفتر مذكراتك ، وتكتب عدة كلمات على ورقة منه ، ثم تربط الورقة باحد الاجسام الثقيلة ، الذى سنسميه

فيما بعد بـ « الثقل » ، وتحين اللحظة التى يصبح فيها المنزل واقعا تحتك بالضبط ، لترمى الثقل من يدك .

وستكون بعد ذلك على ثقة تامة من سقوط الثقل فى حديقة المنزل . ولكن الثقل لا يسقط فى ذلك المكان مطلقا ، بالرغم من وقوع المنزل والحديقة تحتك تماما !

واذا تتبعت سقوط الثقل من الطائرة ، لرأيت ظاهرة غريبة : ان الثقل سوف يسقط الى الاسفل ، ولكنه فى نفس الوقت يحافظ على وجوده تحت الطائرة ، كما لو كان يتزلق على خيط خفى مربوط بالطائرة . وعندما يصل الثقل الى الارض ، سترى ان مكان سقوطه يقع الى الامام من منزل صديقك بمسافة بعيدة .



شكل ٢ : ان الثقل المرمى من الطائرة، لا يسقط الى الارض بصورة عمودية ، ولكنه يسقط بخط منحن .

وهنا يظهر نفس قانون القصور الذاتى، الذى يحول دون الاخذ بالنصيحة المغرية للسياحة على طريقة برجراك . حينما كان الثقل موجودا فى داخل الطائرة ، كان يتحرك معها تماما . ولكنه عندما انفصل عنها واخذ يسقط الى الاسفل ، لم يفقد سرعته الابتدائية ، انما يتابع الحركة فى الهواء اثناء سقوطه بنفس الاتجاه السابق . ثم تجمع كلتا الحركتين العمودية والافقية ، ونتيجة لذلك ، يسقط الثقل الى الاسفل بخط منحن ، مع بقائه طوال الوقت تحت الطائرة (طبعا اذا لم تغيّر الطائرة اتجاهها او سرعة طيرانها) . وفى الواقع ، يطير الثقل مثلما يطير الجسم المقذوف افقيا، كالرصاصة المنطلقة من بندقية مصوبة فى اتجاه افقى : يكون مسار الجسم على هيئة قوس يبدأ من نقطة الانطلاق وينتهى اخيرا فى نقطة على الارض.

ونشير الى ان كل ما ذكرناه هنا ، كان من الممكن اعتباره صحيحا تماما ، لولا وجود مقاومة الهواء . ان هذه المقاومة فى الواقع ، تكبح كلتا الحركتين العمودية والافقية للثقل. ونتيجة لذلك، لا يستمر الثقل فى البقاء تحت الطائرة تماما، بل يتأخر عنها قليلا.

وقد يكون الانحراف عن الخط العمودى، كبيرا جدا ، اذا كانت الطائرة تطير بسرعة كبيرة ، على ارتفاع شاهق . واذا كان الجو هادئا ، فان الثقل الساقط من طائرة تحلق على ارتفاع ١٠٠٠ م بسرعة قدرها ١٠٠ كم/ساعة ، يقع على الارض فى نقطة تبعد الى الامام بمسافة ٤٠٠ م عن نقطة الارض الواقعة عموديا تحت الطائرة (شكل ٢) .

ان الحساب ليس صعبا (اذا اهملنا مقاومة الهواء) ، اذ ان المعادلة الموضوعة لاستخراج المسافة المقطوعة ، عندما تكون حركة الجسم منتظمة التسارع ، هى م $= \frac{ج\ ن^{٢}}{٢}$

حيث

م – المسافة المقطوعة بالامتار ،

ج – تسارع الجاذبية ،

ن – الزمن بالثوانى

ومن المعادلة السابقة ينتج ان : ن $= \sqrt{\frac{٢م}{ج}}$

وهذا يعنى ، ان الزمن اللازم لسقوط الحجر من ارتفاع ١٠٠٠ م ، يساوى .

$\sqrt{\frac{١٠٠٠ \times ٢}{٩٫٨}} = ١٤$ ثانية .

وخلال هذه الفترة الزمنية ، يقطع الحجر مسافة افقية تساوى :

$\frac{١٠٠٠٠٠}{٣٦٠٠} \times ١٤ = ٣٩٠$ م .

قطار لا يتوقف فى المحطات

عندما تكون واقفا على رصيف المحطة الثابت، ويمر بالقرب من الرصيف قطار سريع ، يصبح القفز الى احدى عرباته ، امرا صعبا بطبيعة الحال . ولكن اذا فرضنا

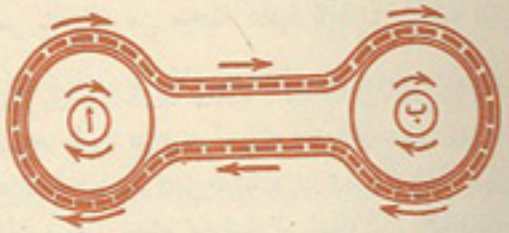
بان الرصيف الموجود تحت قدميك يكون فى حالة حركة ايضا ، بنفس سرعة واتجاه القطار ، فهل سيصعب عليك الدخول الى احدى عربات القطار فى هذه الحالة ؟

لا ابدا . انك ستدخل العربة بهدوء ، كما لو كانت واقفة تماما . وبما انك تتحرك بنفس سرعة القطار وفى نفس اتجاهه ، فان القطار فى هذه الحالة ، سيصبح بالنسبة لك ساكنا تماما . اما عجلاته فانها تدور فى الواقع ، ولكنها تبدو كما لو كانت تراوح فى مكانها . وبصورة ادق ، فان كافة الاشياء ، التى نعتبرها عادة ساكنة – مثل القطار الواقف فى المحطة – تتحرك معنا حول محور الارض وحول الشمس، ولكننا فى الواقع ، لا نأخذ هذه الحركة فى الاعتبار ، لانها لا تؤثر علينا بتاتا .

اذن ، يمكننا تماما ، تحقيق فكرة دخول الركاب الى القطار المتحرك وخروجهم منه دون ان يتوقف فى المحطة .

وكثيرا ما تعد مثل هذه الترتيبات فى المعارض ، لكى يستطيع الزوار بمساعدتها مشاهدة المعروضات المنتشرة على رقعة واسعة من الارض ، باسرع ما يمكن . والمحطات النهائية للارض التى يقام عليها المعرض ، تشبه الشريط المتواصل ، حيث ترتبط مع بعضها بسكة حديدية ، ويكون باستطاعة الركاب فى اى وقت وفى اى مكان ، الدخول الى العربات والخروج منها اثناء حركة القطار بسرعة كاملة .

وهذا الترتيب الطريف مبين فى الاشكال الملحقة بهذا البحث . فقد اشير فى الشكل ٣ ، الى المحطتين النهائيتين بالحرفين أ و ب. وتوجد فى كل محطة ، قطعة ارض دائرية



شكل ٣ : الرسم التخطيطى لتركيب السكة الحديدية الخاصة بالحركة المستمرة – المتواصلة – بين المحطتين أ و ب . وتركيب المحطة مبين فى الشكل التالى .

ثابتة ، محاطة بقرص حلقى كبير دوّار . ويمر حول القرصين الدوّارين ، حبل فولاذى تثبت فيه العربات . والآن لنتتبع ما يحدث عندما يدور القرص . تتحرك العربات حول القرصين ، بنفس السرعة التى تتحرك بها الحافات الخارجية للقرصين . وهكذا يستطيع الركاب بدون اى خطر ، الانتقال من القرصين الى العربات ، او بالعكس ، النزول من العربات (لم يذكر المؤلف هنا ، انه عند دوران رصيف المحطة – القرص – بسرعة كبيرة ، تقوم القوة الطاردة المركزية بطرح الركاب جانبا – ملاحظة المحرر) .

وعند خروج الراكب من العربة ، فانه يسير على القرص الدوّار ويتجه نحو مركز الدائرة ، حتى يصل الى الارض الثابتة . اما الانتقال من الحافة الداخلية للقرص الدوار الى الارض الثابتة ، فيصبح امرا سهلا ، ذلك لانه عندما يكون نصف قطر الدائرة صغيرا ، تصبح السرعة المحيطية قليلة جدا * . وعند وصول الراكب الى رقعة الارض الداخلية الثابتة ، لا يبقى امامه سوى عبور القنطرة للوصول الى منطقة خارجة عن السكة الحديدية (شكل ٤) .

ان عدم التوقف فى محطات عديدة ، يوفر لنا كثيرا من الوقت والطاقة المصروفين . فمثلا، فى الترامات التى تعمل داخل المدن ، يصرف اكثر الوقت ، وحوالى ثلثى الطاقة الكاملة ، على التسارع التدريجى للحركة عند ترك المحطة ، وعلى ابطاء الحركة قبل الوقوف فى المحطة التالية ** .

وبالنسبة لمحطات السكك الحديدية ، كان من المستطاع الاستغناء حتى عن الارصفة المتحركة الخاصة ، لصعود وانزال الركاب اثناء حركة القطار بسرعة كاملة . لنفرض ان لدينا قطارا سريعا يمر بالقرب من محطة عادية ثابتة ، ونريده ان يأخذ الركاب الجدد

---

* من السهل ان نفهم بأن نقاط الحافة الداخلية ، تتحرك ابطأ بكثير من حركة نقاط الحافة الخارجية لانها تقطع فى نفس الوقت ، محيطا اقل بكثير من المحيط الذى تقطعه نقاط الحافة الخارجية .

** يمكن تلافى فقد الطاقة المصروفة لاجل القرملة ، اذا قمنا اثناء القرملة بتحويل المحركات الكهربائية للعربة الى نظام عمل المولدات ، بحيث نجعلها تعيد التيار الى الشبكة الكهربائية (لقد امكن بفضل هذه الطريقة خفض الطاقة المصروفة على حركة الترامات فى منطقة شارلوتنبرج – احدى ضواحى برلين – بمقدار ٣٠ ٪ . وقد استخدمت هذه الطريقة على نطاق واسع ، على الخط الحديدى الكهرب فلاديفستوك – موسكو) .

شكل ٤ : محطة السكة الحديدية الخاصة بالحركة المستمرة – المتواصلة .

من تلك المحطة ، دون ان يتوقف عندها . وليجلس هؤلاء الركاب مؤقتا ، فى قطار آخر يقف على خط احتياطى ، يوازى خط قطارنا السريع . والآن نجعل القطار الواقف يتحرك الى الامام ، حتى تصل سرعته الى نفس سرعة القطار السريع . وباقتراب القطاران من بعضهما ، يصبح كل منهما ساكنا بالنسبة للآخر . ويكفى فى هذه الحالة ان نمد معابر مؤقتة بين عربات القطارين ، ليستطيع الركاب بعد ذلك الانتقال من القطار الاضافى الى القطار السريع . وكما يتضح من ذلك، فاننا نستطيع الاستغناء عن التوقف فى المحطات.

الرصيف المتحرك

هناك ترتيبات اخرى مبنية على مبدأ نسبية الحركة، لم يخرج نطاق استخدامها حتى الآن عن ساحات المعارض ، ويطلق عليها اسم « الارصفة المتحركة » . وقد اعدت لاول مرة فى المعرض المقام فى مدينة شيكاجو عام ١٨٩٣ ، ثم فى معرض باريس الدولى عام ١٩٠٠ .

ويبين الشكل ٥ ، مخططا للارصفة المتحركة. نرى فى هذا الشكل ارصفة على هيئة اشرطة مقفلة ، تتحرك بواسطة آلية خاصة ، وهى مرتبة بحيث يكون كل شريط محاطا بشريط آخر ، وتكون سرعة حركة الاشرطة مختلفة . ان الشريط الخارجى يتحرك بسرعة بطيئة لا تزيد عن سرعة سير الانسان العادى ، وهى ٥ كم/ساعة . لذا يسهل على السائر نقل الخطى الى هذا الشريط . والشريط المجاور له من الداخل ، يتحرك

بسرعة قدرها ١٠ كم/ساعة . ان القفز الى هذا الشريط من ارض ثابتة ، ربما كان امرا محذورا . اما الانتقال اليه من الشريط الخارجي ، فهو امر في منتهى السهولة . وفي الحقيقة ، فان الشريط الثاني الذي يتحرك بسرعة ١٠ كم/ساعة ، لا تزيد سرعته على ٥ كم/ساعة بالنسبة للشريط الخارجي الاول ، الذي يتحرك بسرعة قدرها ٥ كم/ساعة . وهذا يعني ان الانتقال من الشريط الاول الى الشريط الثاني يصبح سهلا ، مثل الانتقال من الارض الى الشريط الاول . ويتحرك الشريط الثالث بسرعة قدرها ١٥ كم/ساعة ، والانتقال اليه من الشريط الثاني سهل جدا . ومن السهل ايضا الانتقال من الشريط الثالث الى الشريط الرابع ، الذي يتحرك بسرعة قدرها ٢٠ كم/ساعة ، ثم الانتقال اخيرا من الشريط الرابع الى الشريط الخامس ، الذي يتحرك بسرعة قدرها ٢٥ كم/ساعة . والشريط الخامس يوصل الراكب الى المكان الذي يقصده . ومن هذا المكان ينتقل الى الخارج من شريط الى آخر بالتدريج ، حتى يصل الى الارض الثابتة .

قانون صعب

بين قوانين الميكانيكا الثلاثة ليس ثمة ما يدعو الى الحيرة ، مثل «قانون نيوتن الثالث» المشهور — قانون الفعل ورد الفعل . ان الجميع يعرف هذا القانون ، ويطبّقه بصورة صحيحة في بعض الحالات ، الا ان الذي يفهمه بصورة تامة هو عدد قليل من الناس فقط . ربما كان القارئ سعيد الحظ بفهم ذلك القانون من اول مرة ، ولكنني اعترف بانني لم افهمه تماما ، الا بعد مرور عشر سنوات على معرفتي به لاول مرة .

واثناء حديثي مع مختلف الناس ، اقتنعت مرارا بان معظمهم على استعداد للاعتراف بصحة القانون ، ولكن مع بعض التحفظات الجوهرية فقط . انهم يوافقون على صحته بالنسبة للاجسام الساكنة ، ولكنهم لا يفهمون كيف يمكن تطبيقه بالنسبة لتبادل الفعل في الاجسام المتحركة ... وينص القانون على ان الفعل يساوي رد الفعل في المقدار ، ويعاكسه في الاتجاه . وهذا يعني انه اذا كان الحصان يجر العربة الى الامام ، فان

العربة ايضا تجره الى الوراء بنفس القوة . ولكن في هذه الحالة ، يجب ان تبقى العربة في مكانها : فلماذا اذن تتحرك ؟ ولماذا لا تتعادل هاتان القوتان ، اذا كانتا متساويتين ؟

ان هذه الاسئلة تدل عادة على الحيرة ، التي تتملك الناس عند تعرفهم بهذا القانون. هل يعني هذا ان القانون غير صحيح ؟ لا ، ان القانون صحيح بلا شك ، ولكننا لا نفهمه بصورة صحيحة ، وهذا كل ما في الامر . ان القوتين لا تتعادلان مع بعضهما ، لانهما تؤثران على جسمين مختلفين : الاولى تؤثر على العربة ، والثانية تؤثر على الحصان . اما ان القوتين متساويتان ، فهذا صحيح . ولكن ، هل ان القوى المتساوية تولد افعالا متساوية دائما ؟ وهل ان القوى المتساوية ، تكسب الاجسام المختلفة تسارعا واحدا ؟ وهل ان تأثير القوة على الجسم ، لا يتوقف على طبيعة ذلك الجسم ، وعلى مقدار « المقاومة » التي يبديها ضد تلك القوة ؟

اذا فكرنا مليا في هذه الاسئلة ، فاننا سنعرف بسهولة لماذا يحرك الحصان العربة ، مع انها تسحبه الى الوراء بنفس القوة . ان القوة المؤثرة على العربة ، تساوي القوة المؤثرة على الحصان دائما ، ولكن بما ان العربة تتحرك بحرية على العجلات ، والحصان يثبت قوائمه في الارض ، اذن يصبح من الواضح السبب في جري العربة وراء الحصان . اما اذا لم تبد العربة رد فعل بالنسبة لقوة الحصان الدافعة ، يمكن عندئذ الاستغناء عن الحصان ، اذ ان اضعف قوة تستطيع تحريك العربة في هذه الحالة . ولهذا ، يكون الحصان ضروريا للتغلب على رد الفعل الذي تبديه العربة .

ولو لم يكن نص القانون المذكور مختصرا : « الفعل يساوي رد الفعل » ، بل كان مثلا على الشكل التالي : « قوة رد الفعل تساوي قوة الفعل » ، لكان ذلك اسهل فهما واقل ارباكا . ان الذي يتساوى هنا هو مقدار القوتين فقط ، اما فعل القوتين (اذا كان المقصود بفعل القوة كما يفهم عادة ، هو انتقال الجسم) فيختلف بطبيعة الحال ، لان القوتين تؤثران على جسمين مختلفين . وفي فبراير (شباط) عام ١٩٣٤ تحطمت الباخرة السوفييتية « شليوسكين » في المنطقة القطبية ، حيث ضغطت كتل الجليد بقوة على هيكل الباخرة ، الذي ضغط بدوره على كتل الجليد بنفس القوة . اما سبب تحطم الباخرة ، فهو قابلية

كتل الجليد الجبارة لتحمل ذلك الضغط ، دون ان تتحطم ، فى الوقت الذى تحطم فيه هيكل الباخرة المصنوع من الفولاذ ، لانه اجوف ولم يستطع تحمل ذلك الضغط (سنتحدث بالتفصيل عن الاسباب الفيزيائية التى ادت الى تحطم الباخرة تشليوسكين ، وذلك فى فقرة مستقلة على الصفحة ٥٠) .

وبالطبع ، فان سقوط الاجسام ايضا، يخضع لقانون رد الفعل ، بالرغم من عدم ظهور هاتين القوتين فى الحال . ان التفاحة تسقط على الارض ، لان الارض تجذبها اليها ، ولكن التفاحة ايضا تجذب الارض اليها ، بنفس القوة تماما . وبعبارة ادق ، فان كلا من التفاحة والارض ، تسقطان على بعضهما ، ولكن سرعة سقوط التفاحة على الارض تختلف عن سرعة سقوط الارض على التفاحة.ان القوى المتساوية للجذب المتبادل ، تعطى التفاحة تسارعا قدره ١٠ م/ثا٢ تقريبا ، بينما تعطى الارض تسارعا يقل عن تسارع التفاحة بقدر ما تزيد كتلة الارض على كتلة التفاحة . وبطبيعة الحال ، فان كتلة الارض اكبر من كتلة التفاحة بعدد غير متناه من المرات . ولهذا ، فان الارض لا تنتقل فى هذه الحالة الا بقدر ضئيل للغاية ، بحيث يمكن اعتباره مساويا للصفر . ولهذا السبب نقول بان التفاحة تسقط على الارض ، بدلا من قولنا بان « كلا من التفاحة والارض تسقطان على بعضيهما» .

ما سبب مصرع سفيتوجور العملاق ؟

فى الاساطير الروسية الشعبية ، ثمة اسطورة تتحدث عن عملاق اسمه سفيتوجور ، اراد ان يرفع الكرة الارضية ! وهناك اسطورة اخرى تقول بان ارخميدس قد حاول القيام بنفس العمل الباهر ، وبحث عن نقطة ارتكاز لعتلته الجبارة . ولكن سفيتوجور كان قويا ولم يكن بحاجة الى عتلة ، ولكنه بحث عن موضع لمسك الارض بيديه الجبارتين . ولما عثر سفيتوجور على ذلك الموضع ، ترجل عن ظهر جواده الامين ، وثبت يديه فى ذلك الموضع وحاول ان يرفع الارض . ولكنه ما ان رفعها الى ركبتيه فقط ، حتى

تدفق الدم من عينيه كالدموع ، وسال على وجهه بغزارة ، ووجد نفسه يغور فى جوف الارض وهو واقف فى نفس الموضع بالذات ، وهنا كانت نهايته المؤلمة .

ولو كان سفيتوجور يعرف قانون الفعل ورد الفعل ، لامكنه ان يتصور بان قوته الجبارة المؤثرة على الارض ، تولد لدى الاخيرة رد فعل ، له نفس القوة الجبارة ، التى تستطيع ان تسحبه بالذات الى داخل الارض .

وعلى كل حال ، يتضح من الاسطورة بان عامة الشعب قد لاحظت منذ قديم الزمان ، رد الفعل الذى تبديه الارض ، عندما ترتكز عليها الاجسام . وقد طبق الناس قانون رد الفعل بدون وعى ، قبل ان ينشره نيوتن لاول مرة فى كتابه الخالد « الاسس الرياضية للفلسفة الطبيعية » — اى الفيزياء — بعدة آلاف من السنين .

هل يمكن التحرك بدون مرتكز ؟

عندما نسير ، فاننا ندفع الارض باقدامنا . ولا يمكننا السير على الارض الصقيلة جدا او على الجليد ، لانه لا يمكننا دفعهما باقدامنا . وعندما يتحرك القطار ، فانه يدفع السكة الحديدية بواسطة العجلات . اما اذا دهنا السكة الحديدية بالشحم ، فان القطار لن يتحرك من مكانه . حتى انه فى بعض الاحيان (عندما يتكون غطاء جليدى على السكة) ، نذرّ الرمل على اقسام السكة الواقعة امام العجلات المسيّرة للقطار ، وذلك لكى نجعله يتحرك من مكانه . وعندما كانت السكك والعجلات تصنع على هيئة مسننة (فى بداية ظهور السكك الحديدية) ، كان الغرض من ذلك ، جعل العجلات تندفع عن السكة الحديدية . والباخرة ايضا ، تدفع الماء بواسطة ارياش عجلة التجديف او بواسطة الرفّاص . والطائرة تدفع الهواء بمراوحها ايضا . وقصارى القول ، مهما كان نوع الوسط الذى يتحرك فيه الجسم ، فان الاخير يرتكز على ذلك الوسط عند حركته فيه . ولكن هل يمكن ان يبدأ الجسم بالحركة ، دون ان يكون له مرتكز فى الخارج ؟

ان القيام بمثل هذه الحركة ، يشبه قيام الانسان برفع نفسه من شعره ، وهو الامر الذى لم يستطع القيام به الا البارون مونهاوزن . ومع ذلك ، فاننا كثيرا ما نشهد حدوث

مثل هذه الحركة بالذات ، وهى الحركة التى نعتبرها مستحيلة. وفى الحقيقة ، لا يستطيع الجسم ان يبدأ بالحركة كليا ، بواسطة القوى الداخلية وحدها ، ولكنه يستطيع تحريك احد اقسامه فى اتجاه معيّن ، وتحريك القسم الباقى فى الاتجاه المعاكس للاتجاه الاول . وربما يكون القارئ قد شاهد صاروخا منطلقا فى الجو مرات عديدة . ولكن ، هل سأل نفسه لماذا ينطلق الصاروخ ؟ ان انطلاق الصاروخ ، يقدم لنا مثالا واضحا على ذلك النوع من الحركة الذى نتطرق اليه الآن .

لماذا ينطلق الصاروخ ؟

كثيرا ما نسمع تفسيرا سيئا تماما ، لعملية انطلاق الصاروخ ، حتى من اولئك الناس ، الذين درسوا الفيزياء : انهم يدعون بان سبب انطلاق الصاروخ ، يعود الى قيام الغازات الناتجة عن احتراق البارود ، بدفع الهواء عند خروجها من الصاروخ . ان هذا التفسير كان معروفا منذ قديم الزمان (لان الصواريخ هى من الاختراعات القديمة) ، وما زال الناس حتى يومنا هذا ، يعتقدون بصحة هذا القول . ولكن اذا اطلقنا الصاروخ فى جوّ خال من الهواء ، فسينطلق بسرعة تزيد على سرعة انطلاقه فى الهواء . ان السبب الحقيقى لانطلاق الصاروخ يختلف عن السبب السابق اختلافا تاما . لقد اوضح هذا السبب بصورة مفهومة ومبسطة ، المناضل الثورى الروسى كيبالجيج ، الذى اتهم بالاشتراك بمحاولة اغتيال القيصر الكسندر الثانى واعدم ، وقد جاء ذلك الايضاح فى مذكراته ، التى كتبها اثناء وجوده فى زنزانة الاعدام ، وكانت تلك المذكرات تتحدث عن مركبة طائرة اخترعها بنفسه . وقد وصف مبدأ تركيب المحرك الصاروخى ، الذى كان عليه ان يرفع المركبة بما فيها من مسافرين واحمال الى اعالى الجو ، كما يلى :

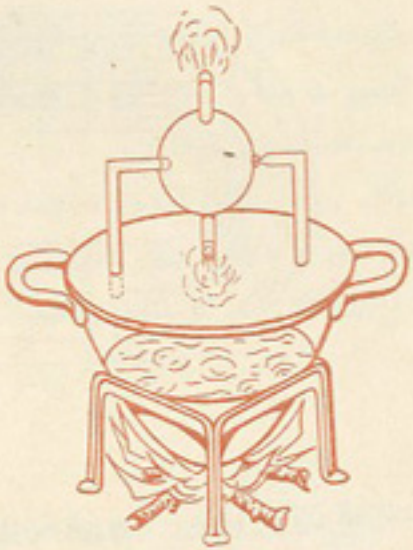
« نأخذ اسطوانة من الصفيح ، تكون احدى قاعدتيها مفتوحة ، والقاعدة الاخرى مسدودة ، ثم ندخل فيها اسطوانة بنفس الحجم تقريبا ، تتكون من رزمة محكمة من البارود ، وتحتوى على قناة فى مركزها . يبدأ احتراق البارود من سطح القناة ، وينتشر

شكل ٥ : الارصفة المتحركة .

فى فترة معينة من الزمن الى السطح الخارجى لرزمة البارود ، وهكذا ، فان الغازات الناتجة عن الاحتراق ، تحدث ضغطا على جميع الجهات . ولكن الضغوط الجانبية للغازات تتوازن مع بعضها . اما الضغط المؤثر على قاعدة اسطوانة الصفيح ، فلا يتوازن مع الضغط المؤثر فى الاتجاه المعاكس (لان للغازات فى هذا الاتجاه منفذا حرا) . وبذلك يدفع الصاروخ الى الامام ، فى الاتجاه الذى وضع فيه قبل احتراق البارود » .

وهنا يحدث نفس الشئ الذى يحدث عند اطلاق القذيفة من المدفع ، حيث تنطلق القذيفة الى الامام ، بينما يرجع المدفع الى الوراء . لنأخذ « ارتداد » البندقية مثلا ، وبصورة عامة ، ارتداد كافة الاسلحة النارية . فلو فرضنا ان المدفع معلق فى الهواء ولا يرتكز على اى شئ ، لرأينا انه بعد الاطلاق ، سيتحرك الى الوراء بسرعة معينة ، تقل عن سرعة القذيفة بعدد من المرات يساوى عدد مرات زيادة وزن المدفع على وزن القذيفة . وفى قصة جول فيرن الخيالية « رأسا على عقب » ، فكر ابطال القصة فى استخدام قوة ارتداد مدفع جبار للقيام بمشروع عظيم وهو « تعديل محور الكرة الارضية » .

ان الصاروخ لا يختلف عن المدفع الا بشئ واحد ، هو ان المدفع يطلق القذائف ، اما الصاروخ فيطلق الغازات الناتجة من احتراق البارود . ولنفس السبب بالذات تدور اللعبة المسماة بـ « الدولاب الصينى » ، التى ربما يكون القارئ قد تمتع بمشاهدتها اثناء

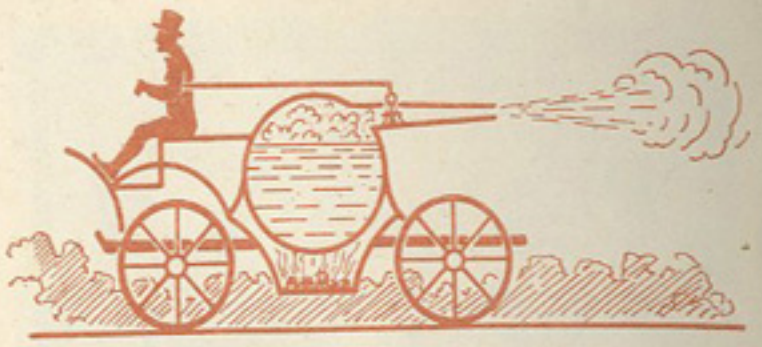


شكل ٦ : اقدم مكنة بخارية (تربينة) ، اقترن اختراعها باسم هيرون الاسكندرى فى القرن الثانى قبل الميلاد .

عرض الالعاب النارية : عند احتراق البارود الموجود فى انابيب مثبتة فى دولاب ، تخرج منها الغازات فى احد الاتجاهات اما الانابيب بالذات (ومعها الدولاب) ، فتتحرك فى الاتجاه المعاكس . وما هذه اللعبة فى الحقيقة ، الا احد انواع الجهاز الفيزيائى المعروف ، المسمى بدولاب سيجنير .

ومن الطريف ان نشير الى انه قبل اختراع الباخرة ، كان يوجد تصميم لسفينة ميكانيكية الحركة ، مبنى على نفس المبدأ المذكور اعلاه . وكانت فكرة التصميم تقوم على قذف احتياطى الماء الموجود على ظهر السفينة الى المؤخرة ، على شكل تيار مائى ، بواسطة مضخة ضغط قوية . ونتيجة لذلك ، تتحرك السفينة الى الامام ، مثلما تتحرك علب الصفيح العائمة ، التى تستخدم فى مختبرات الفيزياء المدرسية ، للبرهنة على صحة المبدأ الذى يجرى بحثه . ولم يتحقق هذا المشروع فى ذلك الحين ، ولكنه لعب دورا مهما فى مساعدة فولتون على اختراع السفينة البخارية – الباخرة . وفى الوقت الحاضر ، توجد فى الاتحاد السوفييتى عدة سفن مصممة على مبدأ التحرك بواسطة قذف تيارات من الماء الى الوراء .

ونعرف كذلك ، بان اقدم مكنة بخارية ، وهى المكنة التى اخترعها هيرون الاسكندرى فى القرن الثانى قبل الميلاد ، كانت مصممة على نفس المبدأ ايضا : يدخل البخار من المرجل الى الانبوب (شكل ٦) ، ويصل عن طريقه الى كرة مجوفة ، مثبتة على محور افقى . وعندما يخرج البخار بعد ذلك من انابيب مرفقية الانحناء ، يدفع هذه الانابيب الى الحركة فى اتجاه معاكس ، وبذلك تبدأ الكرة بالدوران . ومع الاسف ، بقيت مكنة

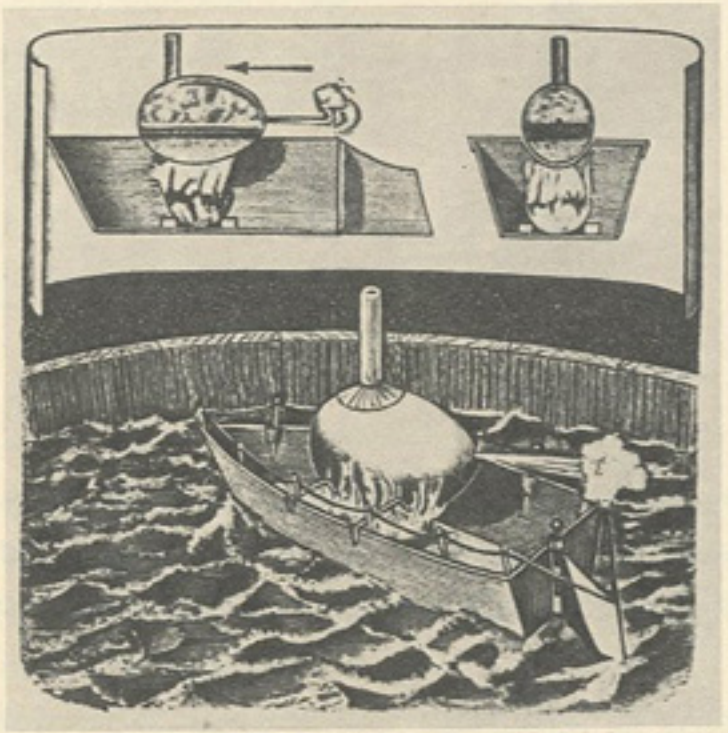


شكل ٧ : سيارة بخارية اقترن اختراعها باسم العالم نيوتن .

هيرون البخارية فى الزمن القديم ، مجرد لعبة مسلية فقط ، لان العمل الذى كان يقوم به العبيد لقاء اجور ضئيلة ، لم يحفز احدا من الناس على التفكير فى استخدام تلك المكنة للاغراض العملية . ولكن التكنيك لم يهمل ذلك المبدأ ، حيث انه يطبق فى الوقت الحاضر ، عند صناعة التربينات النفاثة .

ويقال بان احد اقدم التصاميم التى وضعت للسيارة البخارية ، يعود الى العالم الشهير نيوتن ، صاحب قانون الفعل ورد الفعل . والتصميم المذكور مبنّى على نفس المبدأ السابق ، حيث ينفث البخار من مرجل موضوع على عجلات . وبنتيجة الارتداد ، يتحرك المرجل فى الاتجاه المعاكس للاتجاه الذى ينفث منه البخار (شكل ٧) . والسيارات الصاروخية ، هى عبارة عن احدث الانواع المتطورة لعربة نيوتن البخارية .

ونقدم للقراء ، الذين يحبون صنع النماذج ، صورة لباخرة صغيرة من الورق (شكل ٨) ، تشبه عربة نيوتن البخارية شبها كبيرا . وتتكون هذه الباخرة من مرجل بخارى ، عبارة عن بيضة مفرغة ، يتم تسخينها بقطعة ملتهبة من القطن مبللة بالكحول ومحشورة فى كشتبان موضوع تحت البيضة المفرغة . وبخروج تيار البخار من البيضة ، تتحرك الباخرة الصغيرة فى الاتجاه المعاكس لاتجاه البخار .

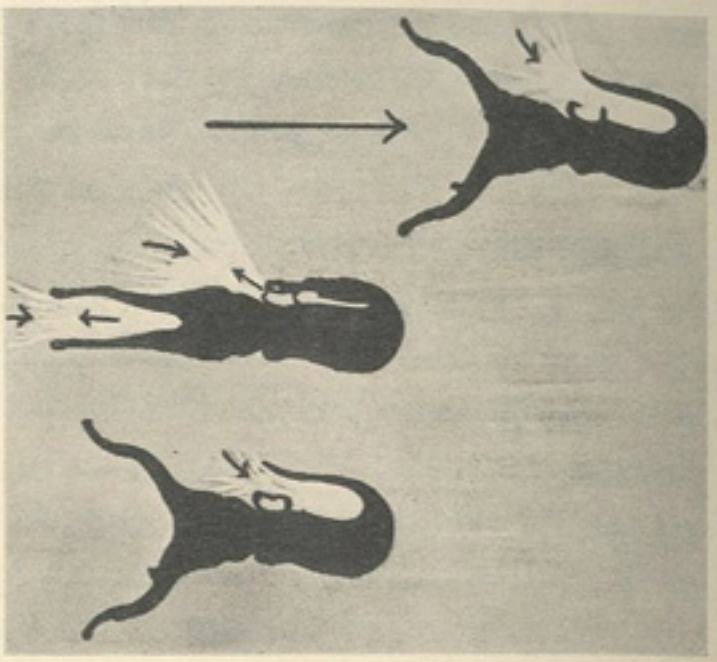


شكل ٨ : باخرة صغيرة لهو الاطفال ، مصنوعة من ورقة وقشرة بيضة . اما الوقود فهو عبارة عن كحول مصبوب فى كشتبان . ان البخار المندفع من فتحة الغلاية – قشرة البيضة – ، يجعل الباخرة الورقية تتحرك فى الاتجاه المعاكس .

كيف يسبح الحبّار ؟

سيندهش القارئ عند سماعه بوجود عدد من الكائنات الحية ، التى تصبح مسألة « رفع الجسم ذاتيا من الشعر » ، بالنسبة اليها ، طريقة عادية للسباحة فى الماء .

ان الحيوان البحرى المسمى بالحبار ، ومعظم الرخويات (الرأسيات) بصورة عامة ، تتحرك فى الماء بالطريقة التالية : تسحب الماء الى خياشيمها من خلال شق جانبى وقمع خاص فى مقدمة الجسم ، ثم تقذفه الى الخارج بقوة ، فينفث على هيئة نافورة من خلال ذلك القمع . وبهذا العمل تندفع الى الوراء – حسب قانون رد الفعل – بقوة كافية



شكل ٩ : الحركة التى يقوم بها الحبار عند سباحته فى الماء .

لجعل القسم الخلفى من الجسم يتحرك سريعا الى الامام ، فى داخل الماء . وبهذه المناسبة ، فان الحبار يستطيع توجيه فتحة القمع الى احد الجوانب او الى الوراء ، وينفث منها الماء بقوة ، ليتحرك فى الاتجاه المطلوب . وحركة قنديل البحر ، مبنية على نفس المبدأ ، حيث انه يتقلص عضلاته ، يعمل على نفث الماء من تحت جسمه ، الذى يشبه الجرس ، فيندفع بذلك فى الاتجاه المعاكس . وهناك انواع اخرى من الحيوانات البحرية ، التى تستخدم نفس الطريقة المذكورة عندما تسبح فى الماء . وهذه الوقائع لا تترك مجالا للشك فى وجود مثل هذه الطريقة للحركة .

السفر الى الكواكب بواسطة الصواريخ

هل هناك شئ اروع من مغادرة الكرة الارضية والقيام بجولة فى الفضاء كالتحليق من الارض الى القمر ، ومن كوكب الى آخر ؟ ان القصص الخيالية التى كتبت حول

هذا الموضوع كثيرة جدا ! ومن هذه القصص : قصة « ميكروميجاس » لفولتير ، وقصتا « رحلة الى القمر » و « هيكتور سيرفاداك » لجول فيرن ، وقصة « اول اناس على سطح القمر » لويلز . لقد قام هؤلاء جميعا وكثير من اتباعهم الذين اقتدوا بهم ، برحلات خيالية ممتعة جدا الى الكواكب .

ولكن، الا توجد اية امكانية لتحقيق هذا الحلم القديم ؟ وهل يستحيل فى الواقع تحقيق جميع المشاريع الموضوعة بمهارة ، بتصوراتها الرائعة القريبة من الحقيقة ، التى وصفها المؤلفون فى قصصهم الخيالية ؟ سوف نتحدث فيما بعد عن المشاريع الخيالية للسفر بين الكواكب . اما الآن ، فلنتعرف على احد المشاريع الحقيقية لمثل هذه الرحلات الكونية ، الذى وضعه لاول مرة ، العالم الروسى العظيم قسطنطين تسيولكوفسكى .

هل يمكن التحليق الى القمر على متن احدى الطائرات ؟ بالطبع لا يمكن ذلك. لان الطائرات والمناطيد ذات المحركات ، لا تستطيع التحليق الا بوجود جو من الهواء ، تدفعه بمحركاتها . اما بين الارض والقمر فلا يوجد هواء ، وبصورة عامة لا يوجد اى وسط كثيف ، ترتكز عليه « المناطيد الكونية » . وهذا يعنى اننا يجب ان نخترع مركبة ، يمكنها ان تطير وتتحكم فى طيرانها ، بدون ان ترتكز على اى شئ* .

لقد تعرفنا سابقا على قذيفة من هذا النوع — الصاروخ الورقى. فما الذى يمنعنا الآن من صنع صاروخ ضخم ، يحتوى على صالة خاصة للركاب ، وعلى مؤونة من المواد الغذائية وبالونات مملؤة بالهواء وغير ذلك من الاشياء الضرورية ؟ لنفرض ان ركاب الصاروخ يحملون معهم احتياطيا كبيرا من الوقود ، ويمكنهم توجيه الغازات المتفجرة الى اية جهة كانت . سيكون لدينا عندئذ ، مركبة فضائية حقيقية يمكن التحكم فيها ، والسفر بواسطتها عبر الفضاء الكونى ، والوصول الى القمر والى الكواكب الاخرى ... وسوف يكون باستطاعة الركاب زيادة سرعة هذه المركبة الفضائية تدريجيا، وذلك باطلاق الغازات المتفجرة . ولا بد من زيادة السرعة بالتدريج لئلا تكون الزيادة الحادة ضارة بالركاب . واذا اراد الركاب النزول على سطح احد الكواكب ، فعليهم ان يديروا

المركبة فى اتجاهه ، ثم يخففوا من سرعة المركبة بالتدريج حتى تستقر برفق على سطح ذلك الكوكب . واخيرا ، يستطيع الركاب العودة الى الارض ثانية بنفس الطريقة .

وهنا نتذكر انجازات الطيران المتواضعة ، التى شاهدناها فى الماضى القريب. اما فى الوقت الحاضر ، فقد اخترقت الطائرات اعلى طبقات الجو ، وحلقت عبر الجبال والصحارى والقارات والمحيطات .

ومن المحتمل ان يحقق السفر بين الكواكب، كثيرا من الانتصارات الباهرة ، بعد عشرين او ثلاثين سنة من الآن . وعندئذ سيحطم الانسان تلك القيود الخفية ، التى طالما شدته الى الارض ، وينطلق فى رحاب الكون ، الذى ليس له حدود على الاطلاق * .

---

* يجب الاشارة هنا الى ان هذا الكتاب قد تم تأليفه قبل البدء باطلاق الاقمار الصناعية والصواريخ المستخدمة فى غزو الفضاء بمدة طويلة .

الفصل الثانى

القوة. الشغل. الاحتكاك

مسألة حول الاوزة والسرطان النهرى والسمكة

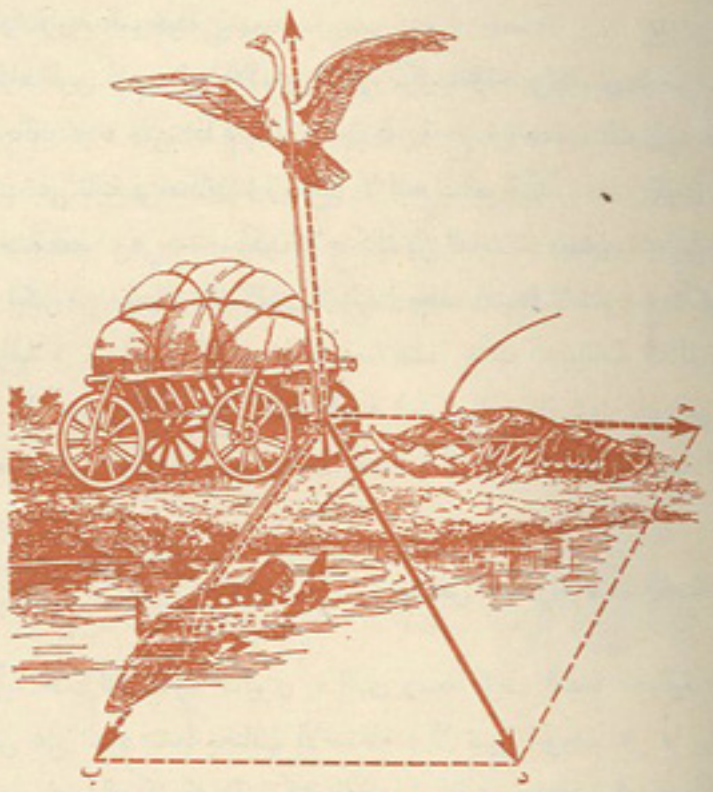
هناك قصة روسية خرافية معروفة لدى الجميع ، تتحدث عن اوزة وسرطان نهرى وسمكة ، حاولوا معا تحريك احدى عربات النقل – كارّو . ولكن لا اعتقد ان احدا من القراء ، حاول بحث تلك الخرافة من وجهة نظر علم الميكانيكا . ولو فعلنا ذلك لوجدنا ان النتيجة التى سنتوصل اليها ، لا تتفق مطلقا مع النتيجة التى استخلصها كاتب القصة الخرافية المذكورة .

ان هذه القصة تحتوى على مسألة ميكانيكية ، تتعلق بتركيب (جمع) عدة قوى ، تؤثر على العربة ، بحيث تشكل كل قوة زاوية معينة مع الاخرى . الاوزة تسحب العربة الى الاعلى ، والسرطان الى الوراء ، والسمكة الى داخل الماء .

وهذا يعنى ، كما يتضح من الشكل – ١٠ ، ان القوة الاولى – سحب الاوزة ، متجهة الى الاعلى ، والقوة الثانية – سحب السمكة (م ب) ، متجهة الى الجانب ، والقوة الثالثة – سحب السرطان (م حـ) ، متجهة الى الوراء . ويجب الاّ ننسى وجود قوة رابعة – وهى وزن العربة – متجهة عموديا الى الاسفل . وتؤكد القصة بان العربة بقيت فى محلها ولم تتحرك . وبعبارة اخرى ، ان محصلة كافة القوى المؤثرة على العربة ، تساوى صفرا .

ولكن هل هذا صحيح ؟ لنبحث ذلك ونرى . ان الاوزة التى تسحب العربة الى الاعلى ، لا تعرقل عمل السرطان والسمكة ، بل تساعدهما فى عملهما ، لان قوة سحب الاوزة ، المتجهة الى الاعلى ، تقلل من احتكاك عجلات العربة بالارض وبالمحور ،

وبذلك تخفف من وزن العربة ، حتى انها قد تعادل ذلك الوزن تماما ذلك لان وزن العربة كان خفيفا ، كما جاء فى القصة الخرافية المذكورة . واذا فرضنا ان قوة سحب الاوزة ، تعادل وزن العربة ، وذلك لتسهيل حل المسألة ، تبقى لدينا قوتان فقط ، هما قوة سحب السرطان وقوة سحب السمكة . وبالاستناد الى حوادث القصة ، نستطيع معرفة الاتجاه الذي تؤثر فيه كل من هاتين القوتين – السرطان يسحب العربة الى الوراء ، والسمكة تسحبها الى داخل الماء . وبطبيعة الحال ، نفهم من ذلك ان النهر كان يقع الى احد جوانب العربة ، وليس امامها (لان الحيوانات الثلاثة لم تحاول اغراق العربة فى النهر



شكل ١٠ : مسألة الاوزة والسمكة والسرطان النهرى ، التى تم حلها باستخدام قوانين الميكانيكا . أن محصلة القوى (مد) يجب أن تسحب العربة الى النهر .

بتاتا ، كما جاء فى القصة المذكورة) . وهذا يعنى ان هناك زاوية معينة بين اتجاه قوة السرطان ، واتجاه قوة السمكة . ولما كانت القوتان غير واقعتين على خط مستقيم واحد ، ففى هذه الحالة لا تكون محصلتهما مساوية للصفر باى حال من الاحوال .

والآن نطبق قوانين الميكانيكا ، فنرسم على كلا اتجاهى القوتين م ب و م ح . متوازى اضلاع ، يكون قطره م د ، ممثلا للمحصلة فى المقدار والاتجاه . ومن الواضح ان هذه المحصلة ، يجب ان تحرك العربة من مكانها ، خاصّة وان وزن العربة يتعادل كليا او جزئيا مع قوة سحب الاوزة . وهنا نطرح سؤالا ثانيا : ما هو اتجاه حركة العربة — الى الامام ام الى الوراء ام الى احد الجوانب ؟ ان هذا الامر يعتمد على النسبة بين القوتين ، وعلى مقدار الزاوية الموجودة بينهما .

ان القراء الذين لهم بعض الالمام بعمليتى تركيب وتحليل القوى ، سوف يدركون فى هذه الحالة ، بانه حتى اذا لم يتعادل وزن العربة مع قوة سحب الاوزة ، فان العربة لا يمكن ان تبقى ثابتة فى مكانها . ويمكن الا تتحرك العربة بتأثير هذه القوى الثلاث ، فى حالة واحدة فقط ، هى عندما يكون الاحتكاك بين العجلات والمحور او بين العجلات والطريق ، اكبر من محصلة تلك القوى المؤثرة . وهذه النتيجة لا تتفق مع تأكيد كاتب القصة الخرافية ، بان العربة كانت خفيفة جدا عندما بدأت الحيوانات الثلاثة بسحبها .

وعلى كل حال ، لم يستطع كاتب القصة المذكورة ، ان يثبت بان العربة ستبقى ثابتة فى محلها ولن تتحرك . وهذا بطبيعة الحال ، لا يؤثر على فكرة القصة الخرافية .

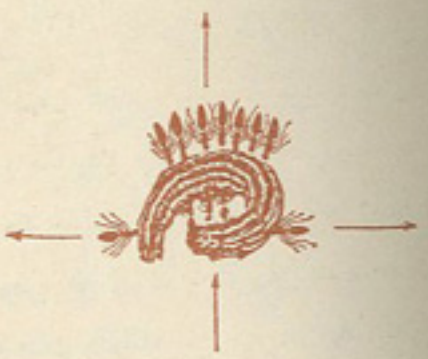
اعتراض على آراء كاتب القصة الخرافية

لقد رأينا الآن ان القانون الدنيوى ، الذى وضعه مؤلف القصة الخرافية السابقة ، والذى ينّص على انه « عندما يختلف الاصدقاء ، لا تسير امورهم على ما يرام » — لا يتفق دائما مع علم الميكانيكا. وقد تكون اتجاهات القوى مختلفة تماما ، ولكن القوى مع ذلك تعطى نتيجة معينة .

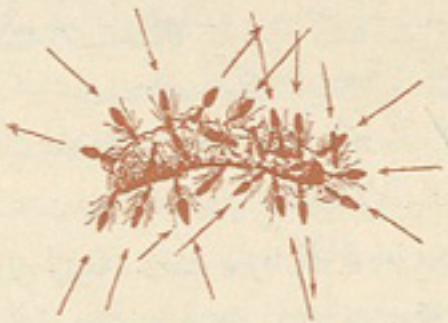
وقليل من الناس يعرف ان الحشرات الكادحة الدؤوبة — النمل ، التى مدحها كاتب القصة واعتبرها مثالا للشغيلة ، تعمل بصورة موحدة ، بالطريقة التى سخر منها كاتب القصة الخرافية بالذات . ونرى ان امور النمل تسير على ما يرام بصورة عامة . وهنا يعود الفضل مرة اخرى الى قانون تركيب القوى . واذا تتبعنا النمل اثناء عمله بانتباه ، لاقتنعنا فى الحال ، بان التعاون الموجود بينهم ، هو شئ ظاهرى فقط . اما فى الحقيقة ، فان كل نملة تعمل لنفسها ، ولا تفكر فى مساعدة نملة اخرى مطلقا .

وقد وصف احد علماء الحيوان ، العمل الذى يقوم به النمل ، كما يلى :

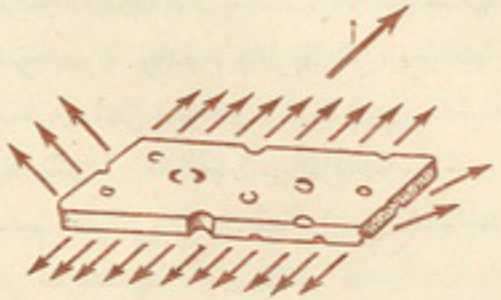
« اذا قامت مجموعة من النمل بجر غنيمة كبيرة نسبيا، على ارض مستوية، يكون العمل موزعا بين النمل بالتساوى ، حتى يبدو للمراقب فى الظاهر ، ان هناك تعاونا تاما بين الجميع . ولنفرض الان ان الغنيمة ، مثلا احدى الديدان ، علقت باحد الحواجز — بحجرة او بساق عشب ما ، واصبح جر الغنيمة الى الامام مستحيلا ، ولا بد من الاستدارة حول ذلك الحاجز . وهنا يتبيّن بوضوح ، ان كل نملة تحاول تخليص الغنيمة من الحاجز ، بطريقتها الخاصة وبدون ان تتدبر الامر مع اية نملة اخرى من مجموعتها (لاحظ الشكلين ١١ و١٢) . وسنرى ان هذه النملة تجر الغنيمة الى اليمين ، والثانية تجرها الى



شكل ١١ : الطريقة التى يجر بها النمل الاسروع .



شكل ١٢ : الطريقة التى يجر بها النمل الغنيمة . تشير الاسهم الى الاتجاهات التقريبية لقوى الجر ، الصادرة عن كل نملة من النمل على انفراد .



شكل١٣ – الطريقة التي يحاول بها النمل جر قطعة من الجبن ، الى وكرها الواقع باتجاه السهم أ .

اليسار ، والثالثة الى الامام ، والرابعة الى الوراء .. وهكذا . ثم تتحول كل نملة من مكان الى آخر ، وتمسك بالغنيمة من موضع مختلف ، وتدفعها او تسحبها على طريقتها الخاصة . فاذا حدث ان اجتمعت قوى النمل العامل ، بحيث كانت ٤ نملات تجر الغنيمة الى احدى الجهات ، و٦ نملات مثلا ، تجرها الى جهة اخرى ، فاننا سنرى في نهاية المطاف ، ان الغنيمة – الدودة – ستتحرك باتجاه النملات الست بالضبط ، بغض النظر عن مقاومة النملات الاربع » .

ونقدم الآن مثالا تعليميا آخر ، يبيّن بوضوح ، التعاون المزعوم بين النمل . يوضح الشكل – ١٣ ، قطعة مستطيلة من الجبن ، وقد امسكت بها ٢٥ نملة . تحركت قطعة الجبن ببطء ، في الاتجاه المبيّن بالسهم أ . وقد يتراءى للقارئ ، ان الصف الامامي للنمل ، يجر قطعة الجبن نحوه ، وان الصف الخلفي يدفعها الى الامام ، كما ان النمل الموجود على الجوانب ، يساعد كلا من الصفين الامامي والخلفي . ولكن الامر ليس كذلك ، ويمكن التأكد منه بسهولة : نفصل الصف الخلفي بواسطة سكين ، فنرى ان قطعة الجبن تزحف بسرعة اكبر الى الامام ، مما يؤكد بان الاحدى عشرة نملة ، كانت تجر قطعة الجبن الى الوراء لا الى الامام . وقد حاولت كل نملة ايصال قطعة الجبن الى وكرها ، وذلك بجرها الى الوراء ، وهذا يعني ان الصف الخلفي لم يكتف بعدم مساعدة الصف الامامي ، بل قام بعرقلة عمله وذلك بالقضاء على جهوده . وقد كان باستطاعة اربع نملات فقط ، جرّ قطعة الجبن المذكورة . ولكن عدم تناسق العمل ، ادى الى استخدام ٢٥ نملة لجرّ قطعة الجبن .

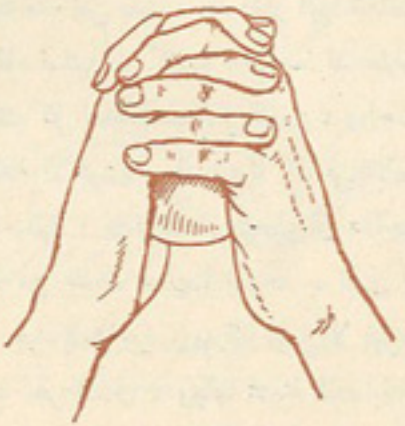
وخاصية العمل الموّحد للنمل هذه ، معروفة منذ زمن بعيد ، وقد اشار اليها الكاتب الساخر مارك توين . ويتحدث الكاتب عن التقاء نملتين ، كانت احداهما قد عثرت على ساق احد الصراصير ، فيقول : « لقد امسكت كل نملة باحد طرفي الساق ، وراحت تجره بكل قوتها في اتجاه معاكس لاتجاه النملة الاخرى . وقد شعرتا بان في الامر شيء ، لا تستطيعان ادراكه . وتحدث بينهما مهاترة ، ما تلبث ان تتحول الى مشاجرة فعلية ... ولكنهما سرعان ما تتصالحان وتبدآن من جديد بعملهما الموحد ، الذي لا جدوى منه ، وهنا تكون النملة التي اصيبت من جراء المشاجرة ، معرقلة للعمل لا غير . وتبذل النملة الاخرى كل ما في وسعها من قوة لجر الساق ، ومعها النملة المصابة ، التي تتعلق على الساق ، بدلا من التخلي عنها » . ويلفت مارك توين الانتباه بشكل ساخر ، الى ملاحظة صحيحة تماما ، وذلك عندما يقول : « ان النمل لا يعمل بصورة جيدة ، الا عندما يقوم بمراقبته عالم طبيعي غير مجرب ، يتوصل الى استنتاجات خاطئة » .

هل من السهل كسر قشرة البيضة ؟

من جملة المسائل الفلسفية ، التي حيرت احد الاشخاص العميقي التفكير – وهو كيفا موكييفيتش احد ابطال قصة الكاتب الروسي العظيم غوغول « الارواح الميتة » – المسألة التالية : « اذا فرضنا ان الفيل يولد في داخل البيضة ، فهل ستكون قشرتها في هذه الحالة سميكة جدا ؟ انني اخشى ان تكون كذلك . اما اذا كانت سميكة فلما استطعنا اختراقها حتى بقذيفة مدفع ، ولاحتجنا الى اختراع اسلحة جديدة فعالة » .

ربما كان « فيلسوف » غوغول ، سيصاب بدهشة مماثلة ، لو علم بان قشرة البيضة العادية ، بغض النظر عن كونها رقيقة ، لا تعتبر في الحقيقة شيئا رقيقا كما يبدو . ان كسر قشرة البيضة ، بالضغط على طرفيها براحتي اليد (شكل ١٤) ، ليس بالامر السهل جدا . اذ انه يحتاج الى قوة لا يستهان بها ، عند وضع البيضة بالصورة المبينة في الشكل السابق * .

* يجب الحذر عند اجراء هذه التجربة ، لتجنب احتمال انفراز القشرة في راحة اليد .



شكل ١٤ : يحتاج الشخص الى قوة كبيرة لكسر البيضة الموضوعة بين يديه بالشكل المبين أعلاه .

شكل ١٥ : السبب الذى يجعل العقد جيد المقاومة .

ان الصلابة غير الاعتيادية لقشرة البيضة ، تعتمد بصورة قاطعة على شكلها المحدب ، وتعلل بنفس الاسباب التى تعلل بها مقاومة مختلف انواع القناطر والعقود .

ويبيّن الشكل ١٥ ، عقداً حجريا صغيرا فوق احدى النوافذ . ان الحمل س (اى وزن اقسام البناء الموجودة فوق العقد) الذى يرتكز على الحجر الوسطى الاسفينى للعقد ، يضغط الى الاسفل ، بالقوة المشار اليها بالسهم أ فى الشكل السابق . ولكن الحجر لا يمكن ان يتحرك الى الاسفل ، وذلك بسبب شكله الاسفينى ، ويكتفى فى هذه الحالة بالضغط على الاحجار المجاورة له . وفى هذه الحالة تتحلل القوة أ ، حسب قانون متوازى الاضلاع ، الى قوتين (مركبتين) ، اشير اليهما بالسهمين ب و حـ . وهاتان القوتان ، تتعادلان مع مقاومة الاحجار المجاورة ، التى تكون بدورها محصورة بين الاحجار التى تجاورها . وهكذا ، لا يمكن للقوة التى تضغط على العقد من الخارج ، ان تجعله ينهار ، بينما يسهل انهيار العقد نسبيا ، بتأثير القوة المؤثرة من الداخل . وهذا مفهوم ، لان الشكل الاسفينى للا حجار ، الذى يمنعها من الهبوط ، لا يحول دون ارتفاعها بتاتا .

وقشرة البيضة هى عبارة عن عقد، ولكن من النوع المتصل الانحناء. ولا يمكن للضغط الخارجى ان يحطم ذلك العقد بسهولة ، مثلما يحطم اية مادة قصيفة (هشة) . ويمكن ان نجعل القوائم الاربع لمنضدة ثقيلة ، تستند الى اربع بيضات نيئة ، دون ان تتكسر البيضات (لكى نجعل البيضات تنتصب على الارض ، يجب تثبيت قواعدها بالجبس ، الذى يتماسك جيدا مع القشرة الكلسية) .

والآن ، يتضح لنا، لماذا لا تخاف الدجاجة المفرخة من انكسار قشرة البيضة ، عندما تجلس عليها . وفى نفس الوقت ، يستطيع الفرخ الضعيف عندما يريد الخروج من سجنه الطبيعى ، ان يخرق قشرة البيضة بمنقاره من الداخل ، بسهولة تامة . وعندما نكسر قشرة البيضة برفق ، بضربة جانبية بملعقة الشاى ، فاننا لا نتصور مدى مقاومتها للضغط المؤثر عليها فى الظروف الطبيعية . ان الطبيعة قد عملت على حماية الكائن الحى ، النامى فى داخلها ، بدرع متين .

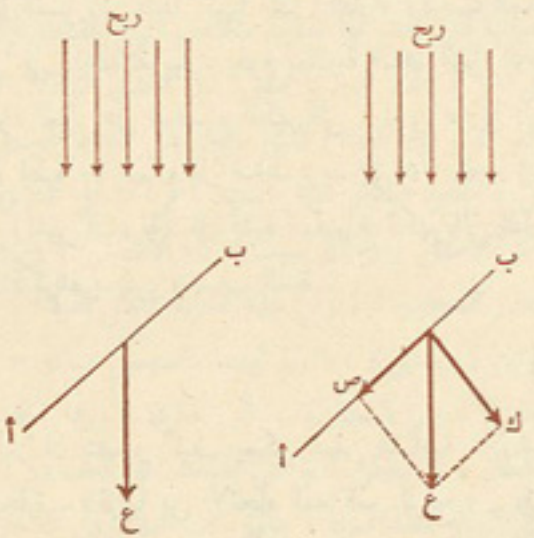
ان المتانة المدهشة للمصابيح الكهربائية، التى تبدو فى الظاهر رقيقة وقصيفة جدا، هى وليدة نفس الظروف التى تمخضت عن متانة قشرة البيضة . وتصبح متانتها اكثر مدعاة للدهشة ، اذا علمنا بان عددا كبيرا منها (الفارغة وليست المملؤة بالغاز) ، لا يحتوى على اى شئ فى داخله تقريبا ، يقوم بمقاومة ضغط الهواء الخارجى . هذا مع ان مقدار ضغط الهواء المؤثر على المصباح الكهربائى ، ليس صغيرا : يتعرض المصباح الكهربائى الذى يبلغ قطره ١٠ سم ، الى ضغط يزيد على ٧٥ كجم (وزن الانسان) ، من كلتا الجهتين . وتشير التجربة، الى قدرة المصباح الكهربائى الفارغ ، على تحمل ضغط يزيد على ما ذكرناه بمرتين ونصف المرة .

اشرعة ضد الريح

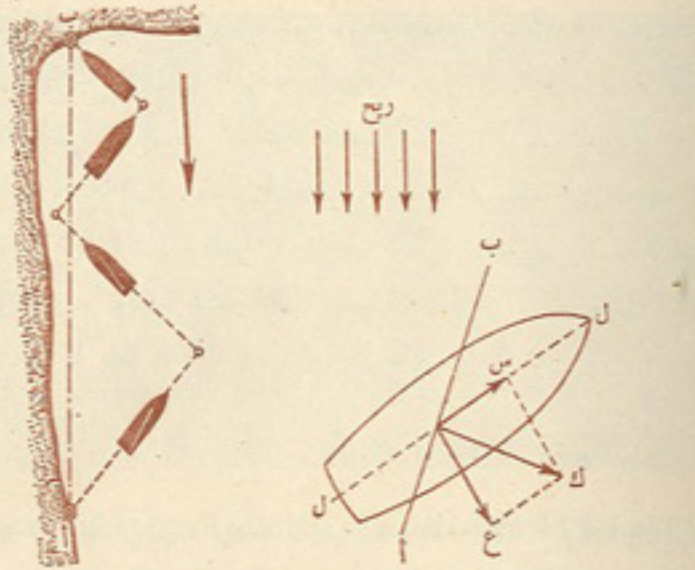
يصعب على المرء ان يتصور كيف يمكن للسفن الشراعية، ان تسير ضد الريح ، او على حد قول البحارة — « قريبا من الاتجاه المعاكس للريح » . وفى الحقيقة ، فان البحّار يقول لك، بانه لا يمكن للسفن الشراعية ان تسير مباشرة ضد الريح ، بل بصورة

منحرفة قليلا عن الاتجاه المعاكس لها . وزاوية هذا الانحراف صغيرة – ربع الزاوية القائمة تقريبا – بحيث تجعل من الصعب على القارئ ان يدرك الفرق بين الابحار فى الاتجاه المعاكس للريح مباشرة ، والابحار فى اتجاه ينحرف عن ذلك الاتجاه بزاوية قدرها ٢٢°.

ولكن ، يوجد فى الواقع فرق بين الامرين، وسنوضح الآن كيف يمكن استخدام قوة الريح ، لتسيير السفن الشراعية فى الاتجاه القريب من الاتجاه المعاكس للريح . لنبحث فى البداية كيف تؤثر الريح على الشراع بصورة عامة ، اى الى اى اتجاه تدفع الشراع عند تأثيرها عليه . ربما يعتقد القارئ بأن الريح تدفع الشراع دائما ، فى نفس الاتجاه الذى تهب فيه . ولكن الامر يختلف عن ذلك ، لانه ايّا كان اتجاه الريح ، فانها سوف تدفع الشراع فى الاتجاه العمودى على مستوى ذلك الشراع . لنفرض ان الريح تهب فى الاتجاه الذى تبينه الاسهم فى الشكل ١٦ ، وان الخط أ ب يمثل الشراع . ولما كانت الريح تؤثر على سطح الشراع بأجمعه بصورة منتظمة ، فاننا نستطيع التعويض عن ضغط الريح بالقوة ع ، المؤثرة فى مركز الشراع . نحلل هذه القوة الى مركبتين هما ،



شكل ١٦ : ان الريح تدفع الشراع فى الاتجاه العمودى عل مستواه دائما .



شكل ١٧ : كيفية تسيير القارب الشراعى فى الاتجاه المضاد للريح .

شكل ١٨ : مراحل مسير القارب الشراعى بالنسبة لهبوب الريح .

القوة ك ، العمودية على الشراع ، والقوة ص ، الممتدة على طول الشراع (شكل ١٦) . ان القوة الاخيرة لا تدفع الشراع فى اى اتجاه ، لان الاحتكاك بين الريح وقماش القنب الذى يصنع منه الشراع ضئيل للغاية . تبقى القوة ك ، التى تدفع الشراع فى الاتجاه العمودى على مستواه .

وبمعرفة ذلك ، نفهم بسهولة ، كيف يمكن للسفينة الشراعية ان تسير فى اتجاه قريب من الاتجاه المعاكس للريح . لنفرض ان الخط ل ل (شكل ١٧) يمثل خط رافدة قص السفينة الشراعية ، وان الريح تهب بحيث تشكل زاوية حادة مع هذا الخط ، فى الاتجاه المبيّن بالاسهم الموجودة اعلاه . ونفرض ان الخط أ ب ، يمثل الشراع ، الذى وضع بحيث يكون مستواه منصّفا للزاوية الموجودة بين اتجاه رافدة القص واتجاه الريح . ويبيّن الشكل ١٧ ، كيفية تحليل القوى . نمثل ضغط الريح المؤثر على الشراع ، بالقوة ك ، التى تكون كما نعلم ، عمودية على الشراع . نحلل هذه القوة الى مركبتين هما ،

القوة ع العمودية على رافدة القص ، والقوة س المتجهة الى الامام على امتداد خط رافدة القص . وبما ان حركة السفينة الشراعية باتجاه القوة س ، تواجه مقاومة الماء الشديدة (تكون رافدة القص فى السفن الشراعية ، عميقة جدا) ، فان القوة ع تصبح تقريبا متعادلة تماما مع مقاومة الماء . وتبقى القوة س وحدها ، وهى كما نرى متجهة الى الامام . وبالتالى ، فانها تحرك السفينة الشراعية بزاوية حادة ، كما لو كانت تدفعها لملاقاة الريح * . وعادة ، تحدث هذه الحركة بصورة متعرجة ، كما يبيّن الشكل ١٨ . وتسمى هذه الحركة بلغة البحارة « بمسايرة الريح » .

هل كان باستطاعة ارخميدس رفع الارض ؟

« لو وجدت نقطة ارتكاز ، لرفعت الارض ! » — هذا ما قاله العالم العبقرى ارخميدس ، الذى عاش فى العصور القديمة ، والذى يعود اليه الفضل فى الاهتداء الى قانون العتلة . ويقال بان ارخميدس كتب ذات مرة الى قريبه وصديقه هيرون قيصر سيراكوز ، يخبره بانه يستطيع استخدام العتلة لتحريك اى ثقل كان . وقد استطاع بحججه القوية ، ان يذهب بعيدا ، الى حد القول بانه « لو وجدت هناك ارض ثانية ، لانتقلت اليها وحركت ارضنا من مكانها » .

وقد كان ارخميدس يعرف بانه من الممكن رفع اى ثقل كان ، بقوة ضعيفة للغاية ، اذا استخدمنا العتلة . وكل ما يجب عمله ، هو التأثير بهذه القوة ، على ذراع العتلة الطويل جدا ، وجعل الذراع القصير يؤثر على الثقل . ولهذا السبب فقد فكر ارخميدس ، بانه عندما يضغط بيديه على ذراع العتلة الطويل للغاية ، يتمكن بذلك من رفع ثقل هائل جدا ، تساوى كتلته كتلة الكرة الارضية ** .

---

* يمكن ان نثبت بان قيمة القوة س ، تصل الى اعلى حدودها ، عندما يكون مستوى الشراع منصفا للزاوية الموجودة بين اتجاهى رافدة القص والريح .

** لايضاح المسألة ، سنقصد بعبارة « رفع الكرة الارضية » ، معنى آخر هو ان نرفع على سطح الارض ثقلا تساوى كتلته كتلة الكرة الارضية .

شكل ١٩ : « ارخميدس يرفع الارض بعتلته » صورة مستنسخة من كتاب فى الميكانيكا ، الفه فاربنيون عام ١٧٨٧ .

ولكن لو كان العالم الميكانيكى العظيم ارخميدس، يعلم بوزن الكرة الارضية الهائل، لكان من المحتمل ان يمتنع عن التصريح الذى تبجح به . ولنفرض الآن ان ارخميدس وجد كلا من « الارض الثانية » ونقطة الارتكاز ، اللتين بحث عنهما . ثم نفرض بعد ذلك ، انه تمكن من صنع عتلة بالطول اللازم . والآن هل يعرف القارئ ، ما هى الفترة الزمنية التى كان ارخميدس سيرفع خلالها ذلك الثقل ، الذى تساوى كتلته كتلة الكرة الارضية ، ولو الى ارتفاع سنتمتر واحد ؟ لقد كان سيحتاج الى ما لا يقل عن ثلاثين الف بليون سنة !!

ان الفلكيين يعرفون مقدار كتلة الارض، ويعرفون ان الجسم الذى تساوى كتلته كتلة الارض ، كان سيزن فوق سطح الارض عددا من الاطنان يساوى :

٦٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ طن

اذا كان باستطاعة الانسان ان يرفع ثقلا قدره ٦٠ كجم مباشرة، فانه لاجل ان يرفع الارض ، يجب ان يضغط بيديه على ذراع العتلة الطويل للغاية ، الذى يكون اطول من الذراع القصير بعدد من المرات يساوى :

١٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ مرة !

ويمكن للقارئ ان يعرف بحساب بسيط، انه فى الوقت الذى يكون فيه طرف الذراع القصير ، قد ارتفع بمقدار ١ سم ، يكون الطرف الثانى قد رسم فى الفضاء الكونى قوسا هائلا يبلغ طوله :

١٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ كم

لقد كان يتحتم على يد ارخميدس، التى تمسك بطرف العتلة ، ان تقطع مثل هذا الطريق الذى لا يمكن تصور طوله ، لكى تستطيع رفع الارض الى ارتفاع ١ سم فقط ! ما هو الوقت اللازم للقيام بهذا العمل ؟ اذا اعتبرنا ان ارخميدس كان قادرا على رفع ثقل قدره ٦٠ كجم ، الى ارتفاع ١ م فى ثانية واحدة (وهذا الشغل يساوى قدرة حصان واحد تقريبا) ، فانه لاجل ان يرفع الارض الى ارتفاع ١ سم ، كان سيحتاج الى زمن قدره :

١٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ ثانية

او الى ثلاثين الف بليون سنة ! اى لم يكن باستطاعة ارخميدس، حتى لو ضغط على طرف العتلة طوال سنى حياته الطويلة ، ان يرفع الكرة الارضية ولا قيد شعرة واحدة .

ولما استطاع هذا المخترع العظيم مهما استخدم من حيل، ان يقلل من تلك الفترة الزمنية بمقدار يذكر . وتنّص « القاعدة الذهبية للميكانيا » ، بان الربح الميكانيكى، الناتج عن استخدام اية آلة ، لا بد وان يصاحبة فقدان فى مقدار الازاحة ، اى فقدان فى الوقت ، وحتى لو كان باستطاعة ارخميدس ان يحرك يده باعظم سرعة معروفة فى

الطبيعة – وهى سرعة الضوء ، التى تبلغ ٣٠٠٠٠٠ كم/ثانية ، فانه حتى فى هذه الحالة ، ما كان بمقدوره ان يرفع الارض الى اكثر من ١ سم ، بعد عمل متواصل لحقبة طويلة من الزمن ، تقدر بعشرة ملايين سنة .

بطل جول فيرن وصيغة اويلر

يتحدث جول فيرن فى احدى قصصه الخيالية عن رجل قوى يدعى ماتيفو، كان يتصف بما يلى : « له رأس ضخم يتناسب مع قامته العملاقة، وصدر يشبه منفاخ الحداد ، ورجلان تشبه كل منهما جذع الشجرة الجيد ، ويدان شبيهتان بمرفاعين . اما قبضتاه فكانتا مثل مطرقتين حديديتين ... »

وقد جاء فى احدى القصص الخيالية التى تتحدث عن الاعمال الخارقة لهذا البطل القوى ، انه تمكن ذات مرة من ايقاف السفينة الكبيرة « تراباكولو » ومنعها من الحركة بقوة يديه الجبارتين . واليكم ما جاء فى تلك القصة عن هذا العمل الخارق :

« لقد كانت السفينة محررة من جميع المساند الجانبية ، وهى معدة لا تزالها الى الماء . ولم يبق سوى قصّ حبل الارساء لتبدأ السفينة بعد ذلك بالانزلاق على الماء . وقد تابع المتفرجون هذه العملية باهتمام بالغ . وفى هذه اللحظة ظهر بالقرب من الشاطئ ، يخت للنزهة . ولكى يدخل اليخت الى الميناء ، كان عليه ان يمر من امام الترسانة ، التى اعدت فيها السفينة للانزال . وحالما اعطى اليخت اشارة ، اضطر العمال الى تأجيل انزال السفينة « تراباكولو » ، الى ان ينتهى مرور اليخت فى القنال ، ذلك لتجنب جميع الطوارئ الممكن حدوثها لانه لو حدث ان اصطدمت السفينة باليخت ، لغرق الاخير فى الحال – لان الاصطدام سيتم بصورة عمودية ، بين سفينتين ، احداهما واقفة والاخرى تتحرك بسرعة كبيرة . وتوقف العمال عن العمل ، وصوّبت جميع الانظار نحو السفينة الرشيقة ، التى كانت اشرعتها البيضاء تلمع كالذهب تحت اشعة الشمس المائلة ولما اقترب اليخت من الترسانة واصبح امامها تماما ، تسمر جميع الناس فى اماكنهم . وانطلقت فجأة صيحة رهيبة ، اذ اهتزت السفينة « تراباكولو » واخذت تنزلق ،

فى نفس اللحظة التى اصبحت فيها ميمنة اليخت مقابل السفينة تماما .واصبح الاصطدام بينهما وشيكا ، ولم يكن هناك متسع من الوقت ، او اية امكانية لتلافى الاصطدام . وانزلقت « تراباكولو » بسرعة الى الاسفل ، وتصاعد الدخان الابيض الناجم عن الاحتكاك امام مقدمتها ، فى الوقت الذى انغمرت فيه مؤخرتها فى ماء الخليج (كانت مؤخرة السفينة عند الانزال متجهة نحو الماء) .

وفجأة ، يظهر رجل ، ويمسك بحبل الارساء المتدلى عند مقدمة السفينة ، ويحاول ايقافها بانحنائه نحو الارض . وفى دقيقة واحدة اخذ يلف حبل الارساء على ماسورة حديدية مثبتة فى الارض ، ودون ان يبالى بالخطر المحيق به ، امسك الحبل بيديه بقوة خارقة ، لمدة عشر ثوان . وكانت هذه الثوانى العشر ، كافية لتلافى الكارثة ، ونزلت السفينة الى الماء وكان اصطدامها باليخت خفيفا جدا، واستمرت بعد ذلك فى سيرها الى الامام . وهكذا انقذ اليخت من الغرق . اما الرجل الذى قام بهذا العمل ، ولم يهرع احد لمساعدته – لان الحادثة مرت بسرعة ولم تكن متوقعة – فكان يدعى ماتيفو » . لقد كان جول فيرن سيصاب بدهشة بالغة ، اذا قيل له حينئذ ، بان الانسان لم يكن مطلقا بحاجة الى قوة خارقة للقيام بذلك العمل الباهر ، كقوة ماتيفو العملاق ، التى تشبه « قوة النمر » .

ويتضح من علم الميكانيكا ، بانه عند انزلاق الحبل الملفوف على ركيزة اسطوانية ، تصل قوة الاحتكاك الى قيمة كبيرة . وكلما زاد عدد لفات الحبل، زاد الاحتكاك ايضا . وينص قانون زيادة الاحتكاك ، على انه بزيادة عدد اللفات بالتوالى الحسابى ، يزداد الاحتكاك بالتوالى الهندسى . ولهذا السبب ، حتى الطفل الصغير يستطيع ان يعادل بقوته الضعيفة ، قوة كبيرة ، عندما يمسك بالطرف الحر لحبل ملفوف على عمود ثابت ، اذا كان عدد اللفات يتراوح بين ٣ و٤ مثلا .

وبهذه الطريقة ، حتى الفتيان يستطيعون ، ايقاف البواخر التى تقترب من ارصفة الملاحة النهرية ، وهى محملة بمئات الركاب . ولا يعود الفضل فى ذلك الى قوة عضلاتهم الخارقة ، ولكن الى الاحتكاك الموجود بين الحبل والوتد .

وقد وضع العالم الرياضى الشهير اويلر – الذى عاش فى القرن الثامن عشر – ، صيغة تعبر عن العلاقة بين قوة الاحتكاك وعدد لفات الحبل حول الوتد . ونقدم فيما يلى صيغة اويلر ، لاولئك الذين لا تخيفهم لغة المعادلات الجبرية الجافة :

$$ق = ق' هـ^{ك\alpha}$$

حيث ق – القوة التى نحاول التغلب عليها بالجهد العضلى ، ق' – الجهد العضلى هـ – اساس اللوغاريتمات الطبيعية ، ويساوى ٢٫٧١٨ ، ك – معامل الاحتكاك بين الحبل والوتد ، α – زاوية اللف ، اى نسبة طول القوس الذى يشغله الحبل ، الى نصف قطر ذلك القوس .

والآن نطبق هذه الصيغة ، على تلك الحادثة ، التى وصفها جول فيرن فى قصته الخيالية عن ماتيفو . ان النتيجة التى سنحصل عليها ، مدهشة للغاية .

ان القوة ق فى هذه الحالة ، تمثل قوة سحب السفينة المتزلقة الى الماء . ووزن السفينة كما جاء فى القصة ، يساوى ٥٠ طنا . ولنفرض ان ميل المنزلق يساوى $\frac{١}{١٠}$، وفى هذه الحالة يكون الوزن المؤثر على الحبل عشر الوزن الكلى للسفينة ، لا الوزن الكلى باجمعه . اى ٥ اطنان ، او ٥٠٠٠ كجم . وسنعتبر ان قيمة ك – معامل الاحتكاك بين الحبل والماسورة الحديدية – تساوى $\frac{١}{٣}$. ويمكن بسهولة ، تعيين مقدار الزاوية α ، اذا اعتبرنا ان ماتيفو قام بلف الحبل حول الماسورة الحديدية ، ثلاث مرات فقط . عندئذ يكون لدينا :

$$\alpha = \frac{٢ \times ٣ \text{ ط نق}}{\text{نق}} = ٦ \text{ ط}$$

وبعد تعويض هذه القيم فى صيغة اويلر الملاكورة اعلاه ، نحصل على المعادلة التالية :

$$٥٠٠٠ = ق'(٢٫٧٢)^{\frac{١}{٣} \times ٦ \text{ ط}} = ق'(٢٫٧٢)^{٢ \text{ ط}}$$

وباستخدام اللوغاريتمات ، يمكننا ايجاد قيمة المجهول قَ (اى مقدار القوة العضلية اللازمة) :

لو ٥٠٠٠ = لو قَ + ٢ ط لو ٢,٧٢

ومنها ينتج ان :

قَ = ٩,٣ كجم .

وهكذا ، فان العملاق لم يكن بحاجة الى اكثر من شد الحبل بقوة ١٠ كجم فقط ، للقيام بذلك العمل الباهر !

وعلى القارئ ، الا يظن بان هذا الرقم – ١٠ كجم – صحيح من الناحية النظرية فقط واننا نحتاج فى الواقع الى قوة اكبر من ذلك بكثير . ان العكس هو الصحيح ، لان النتيجة التى توصلنا اليها نظريا ، مبالغ فيها بعض الشئ : عندما يكون الحبل مصنوعا من القنب ، والوتد من الخشب ، تزداد قيمة معامل الاحتكاك ك ، ويقل مقدار الجهد العضلى اللازم ، الى ان يصبح ضئيلا جدا . وبمجرد ان يكون الحبل قويا ، ويمكنه تحمل الشد يستطيع عندئذ حتى الطفل الصغير ان يلف الحبل ثلاث او اربع لفات ، ويقوم بعمل باهر ، لا يضاهى عمل ماتيفو فحسب ، بل يفوقه عظمة .

على اى شىء تعتمد متانة العقد ؟

غالبا ما نقوم فى حياتنا اليومية ، باستخلاص الفوائد من صيغة اويلر ، دون ان ننتبه الى ذلك . واخيرا ما هى العقدة ، ان لم تكن قطعة حبل ملفوفة حول عمود صغير ، يحل محله فى هذه الحالة ، قسم آخر من نفس قطعة الحبل بالذات ؟ ! ان متانة كافة انواع العقد – العادية ، والتى يستخدمها البحارة وغيرها – تعتمد بصورة خاصة على الاحتكاك ، الذى يزداد كثيرا فى هذه الحالة ، بسبب التفاف الرباط حول نفسه ، كما يلتف الحبل حول الوتد (الماسورة) . وليس من الصعب التحقق من ذلك ، بتتبع

انثناءات الحبل (الرباط) فى العقدة . وكلما ازداد عدد الانثناءات ، وعدد مرات التفاف الحبل حول نفسه ، تزداد بذلك « زاوية اللف » ، وبالتالى ، تصبح العقدة اكثر متانة .

ويستخدم الخياط بدون تعمّد ، نفس القاعدة المذكورة عندما يقوم بخياطة الازرار . فهو يلف الخيط عدة مرات حول قطعة القماش المحصورة بالقطبة – الغرزة – ثم يقطعه ، فاذا كان الخيط قويا ، فان الزر سيدوم طويلا ولا ينفصل . وهنا نستخدم قاعدة معروفة لدينا وهى : بزيادة عدد لفات الخيط بالتوالى الحسابى ، تزداد متانة الخياطة بالتوالى الهندسى . واذا لم يكن الاحتكاك موجودا ، لما استطعنا استخدام الازرار ، لان وزن الخيوط فى هذه الحالة ، يؤدى الى انفكاكها والى انفصال الازرار .

لولا وجود الاحتكاك !

لقد رأينا كيفية ظهور الاحتكاك فى الظروف المحيطة بنا ، باشكال مختلفة وبصورة فجائية فى بعض الاحيان . وللاحتكاك دور محسوس جدا فى بعض الحالات ، مع اننا نشك حتى بوجوده فيها . ولو فرضنا بان الاحتكاك اختفى من العالم فجأة ، لتغير حدوث كثير من الظواهر الطبيعية ، تغيرا تاما .

ويصف الفيزيائى الفرنسى هيلوم ، دور الاحتكاك وصفا جيدا بقوله : « اعتقد ان كل من سار على الغطاء الجليدى ، الذى يتكون على الارض شتاء ، يتذكر الجهد الكبيرة التى بذلها ليتجنب السقوط ، ويتذكر كذلك الحركات المضحكة الكثيرة ، التى قام بها للمحافظة على توازنه ! وهذا يجعلنا نعترف بان للارض التى نسير عليها ، خاصية مهمة ، يعود اليها الفضل فى تمكننا من المحافظة على توازننا ، بدون ان نبذل جهودا خاصة . ونفكر بنفس المسألة ، عندما نسير بدراجتنا العادية على طريق زلق ، او عندما نرى حصانا يتزلق على الاسفلت ثم يسقط . وبدراسة مثل هذه الظواهر ، نتوصل الى معرفة تلك النتائج التى يؤدى اليها الاحتكاك . ويحاول المهندسون بقدر امكانهم ، التخلص من الاحتكاك الذى ينشأ فى المكنات . انهم حسنا يفعلون . وفى علم الميكانيكا التطبيقية ، يعتبر الاحتكاك شيئا غير مرغوب فيه للغاية ، وهذا صحيح – ولكن فى مجال خاص

وضيّق . اما فى بقية الحالات الاخرى ، فان الاحتكاك يلعب دورا حيويا ، حيث يمكننا من المشى والجلوس والعمل ، دون ان نخشى من سقوط الكتب والمحبرة على الارض ، او من زحف المنضدة مالم تحشر فى الزاوية ، او من انفلات القلم من بين الاصابع .

والاحتكاك هو ظاهرة واسعة الانتشار جدا ، بحيث لا نستطيع الاستغناء عنه ، الا فى حالات استثنائية نادرة : انه يهرع لمساعدتنا من تلقاء نفسه .

والاحتكاك يساعد على الاتزان المستقر . ان النجارين يقومون بتسوية الارضية الخشبية للغرفة ، لكى تقف المناضد والكراسى فى الاماكن التى توضع فيها . والاوانى والاطباق والاقداح ، الموضوعة على المنضدة ، تبقى ثابتة فى اماكنها دون ان نهتم بامرها ، الا اذا كانت معرضة للاهتزاز مثلا ، عند وجودها على متن الباخرة .

لنفرض ان باستطاعتنا التخلص من الاحتكاك نهائيا . عندئذ سنرى بان كافة الاجسام – اكانت كتلا حجرية كبيرة ، او حبّات رمل ناعمة – لا تستقر على بعضها مطلقا . ان كل الاجسام ستنزلق وتتدحرج ، الى ان تصبح فى مستوى واحد. ولولا وجود الاحتكاك ، لكانت الارض عبارة عن كرة ملساء ، تشبه قطرة الماء » .

ويمكننا ان نضيف الى ذلك ، بانه لولا وجود الاحتكاك ، لانفلتت المسامير من الجدران ، ولما كان باستطاعتنا ان نمسك اى شئ بايدينا ، ولما سكنت الاعاصير مطلقا ، ولما خفتت الاصوات ، بل كانت ستسمع مثل الصدى الازلى ، الذى ينعكس مثلا ، على جدران الغرفة ، دون ان يضعف .

والغطاء الجليدى المتكون على الارض ، يجعلنا نقتنع دائما بالاهمية العظيمة للاحتكاك. فعندما نسير فجأة على ذلك الغطاء الجليدى ، نجد انفسنا ضعفاء ، وفى خوف دائم من السقوط على الارض .

ونقدم للقراء فيما يلى ، مقتطفات من انباء الصحف الصادرة فى شهر كانون الاول عام ١٩٢٧ :

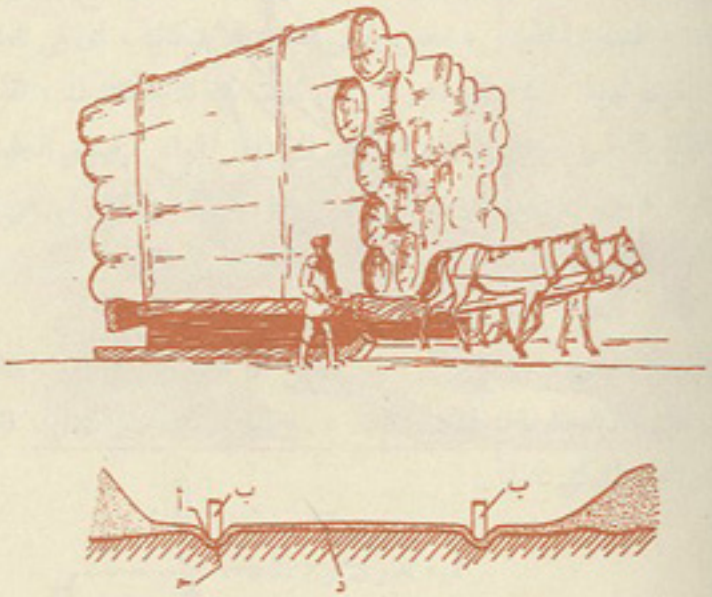
« لندن ، ٢١ كانون الاول – اصبحت حركة مرور السابلة والسيارات والترامواية

صعبة جدا ، وذلك بسبب تكون غطاء جليدى صلب فى الشوارع والطرق. وقد نقل حوالى ١٤٠٠ شخص الى المستشفيات ، بسبب اصابتهم برضوض فى الايدى والارجل وغيرها » .

« لقد دمرت ثلاث سيارات ، تدميرا كاملا بعد انفجار خزانات وقودها ، اثر اصطدامها بترامين بالقرب من هايد بارك » .

« باريس ٢١ كانون الاول – لقد ادى تكون غطاء جليدى على الارض ، الى وقوع عدد كبير من الحوادث المؤلمة فى مدينة باريس وضواحيها ... » .

ولكن هذا الاحتكاك الضئيل ، الموجود على سطح الجليد ، يمكن الاستفادة منه بنجاح للاغراض التكنيكية . وما الزحافات العادية – الزلاقات – الا مثال على ذلك .



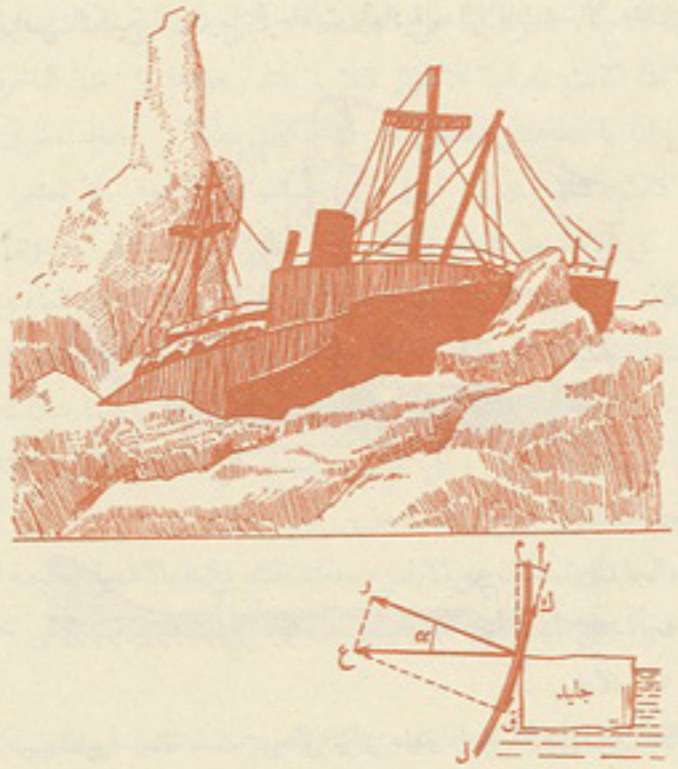
شكل ٢٠ : الرسم العلوى – زحافة محملة تسير على طريق جليدى ؛ والحصانان يجران حملا يبلغ وزنه ٧٠ طنا .

الرسم السفلى – الطريق الجليدى : أ – مسلك الزحافة ؛ ب – المزلقة ؛ حـ – جليد مترابط ؛ د – القاعدة الأرضية للطريق .

واحسن الامثلة التى تؤكد ما ذكرناه ، هى الطرق الجليدية ، المعدّة لنقل الاخشاب من اماكن قطعها الى محطات السكك الحديدية ، او الى محطات التعويم النهرية . وعلى مثل هذه الطرق (شكل ٢٠) ، التى لها سكك جليدية ملساء ، يكون باستطاعة حصانين جرّ زحافة محملة باخشاب يبلغ وزنها ٧٠ طنا .

السبب الفيزيائى لكارثة «تشيلوسكين»

يجب علينا الا نستخلص مما ذكرناه الآن ، نتيجة عاجلة ، فنقول بان الاحتكاك الذى ينشأ على سطح الجليد ، ضئيل جدا فى جميع الاحوال . لان هذا الاحتكاك ،



شكل ٢١ : الباخرة « تشيليوسكين » محصورة بين الكتل الجليدية . الرسم السفلى – القوى المؤثرة على جانب الباخرة م ل عند ضغط الجليد عليه .

كثيرا ما يكون كبيرا ، حتى عندما تكون درجة الحرارة قريبة من الصفر . ونظرا لتأمين عمل كاسحات الجليد ، فقد درس بدقة ، الاحتكاك الذى ينشأ بين جليد البحار القطبية والصفائح الفولاذية لهيكل الباخرة . وقد ظهر ان هذا الاحتكاك ، كبير الى حد غير متوقع ، ولا يقل عن الاحتكاك الناشئ بين قطعتين من الحديد : ان معامل الاحتكاك بين الصفائح الفولاذية الجديدة لهيكل الباخرة وبين الجليد يساوى ٠ر٢ .

ولكى ندرك اهمية هذا الرقم بالنسبة لكاسحات الجليد ، ندرس الشكل ٢١ ، الذى يوضح اتجاه القوى المؤثرة على جانب السفينة م ل ، عند ضغط الجليد عليه . ان قوة ضغط الجليد ع ، تحلل الى مركبتين : احداهما عمودية على جانب السفينة ، وهى ر ، والثانية مماسة له ، وهى ق . والزاوية الموجودة بين القوتين ع ور ، تساوى زاوية ميل الجانب عن الخط العمودى ، وهى زاوية α . اما قوة احتكاك الجليد مع جانب السفينة ، وهى القوة ك ، فتساوى القوة ر ، مضروبة فى معامل الاحتكاك ، اى فى العدد ٠ر٢ . وهكذا ، يكون لدينا : ك = ٠ر٢ × ر . واذا كانت قوة الاحتكاك ك ، اقل من القوة ق ، فان القوة الاخيرة تسحب الجليد الضاغط الى داخل الماء ، فيتزلق الجليد بمحاذاة جانب السفينة ، دون ان يصيبها باى ضرر . اما اذا كانت القوة ك اكبر من القوة ق ، فان الاحتكاك يعرقل انزلاق الكتل الجليدية ، بحيث يمكن للجليد عند استمرا ر ضغطه ، ان يسحق جانب السفينة بثقله ويخرقه .

ففى اية حالة اذن تكون ك < ق ؟ من السهل ان نجد ان: ق = ر × ظا α، ومنها نتوصل الى المتباينة المطلوبة : ك < ر × ظا α . وبما ان ك = ٠ر٢ × ر ، فان المتباينة ك < ق ، تأخذ الشكل التالى :

$$٠,٢ \times ر < ر \times \text{ظا}\ \alpha$$

او

$$\text{ظا}\ \alpha > ٠,٢$$

ونجد من الجداول الخاصة ، ان الزاوية التى يساوى ظلها ٠ر٢ ، تقدر بـ ١١° .
وهذا يعنى ان ك < ق ، عندما تكون زاوية α > ١١° . وبهذا نستطيع تعيين ميل جوانب السفن ، الذى يؤمن سلامة اختراق السفينة للمناطق الجليدية ، وهذا الميل يجب الا يقل عن ١١° .

نعود الآن الى مسألة غرق الباخرة « تشيلوسكين » . ان هذه الباخرة التى لم تكن من كاسحات الجليد ، اجتازت الممر البحرى الشمالى كله بنجاح ولكنها انحصرت فى الجليد فى مضيق بيرينج .

ودفع الجليد الباخرة بعيدا نحو الشمال ، ثم حطمها فى شهر شباط عام ١٩٣٤ . ويتذكر الجميع فترة بقاء بحارة « تشيلوسكين » فوق الجليد العائم ، التى دامت شهرين ، وكيف تم انقاذهم من قبل الطيارين الابطال ، الذين كانوا اول من حصلوا على لقب « بطل الاتحاد السوفييتى » . ونقدم الى القراء فيما يلى ، وصفا لتلك الكارثة :

« قال رئيس البعثة شميدت فى اذاعة له بالراديو : ان المعدن القوى لهيكل الباخرة لم يتحطم فى الحال . وكنا نرى كيف كانت الكتل الجليدية تضغط على جانب الباخرة ، وكيف كانت الالواح المعدنية للهيكل تبرز بتقوس الى الخارج . واستمر ضغط الجليد بصورة بطيئة ، ولكنها لم تكن لتقاوم . وانفجرت الالواح المعدنية المتقوسة ، من مواضع خطوط الالتحام – الدرز ، وتطايرت قطع البرشام مصحوبة بفرقعة عالية . وفى لحظة واحدة ، كان الجانب الايسر للباخرة قد انشق ، ابتداء من مقدمة الباخرة حتى مؤخرتها ... » .

وبعد كل ما ذكرناه بخصوص هذه الكارثة، يجب على القارئ ان يعرف السبب الفيزيائى ، الذى ادى الى وقوعها .

ونخرج من ذلك بنتيجة عملية ، وهى: عند بناء السفن – البواخر – المعدة للملاحة فى المناطق الجليدية ، يجب ان يكون ميل جوانبها مناسبا ، بحيث لا يقل عن ١١° فى كافة الحالات .

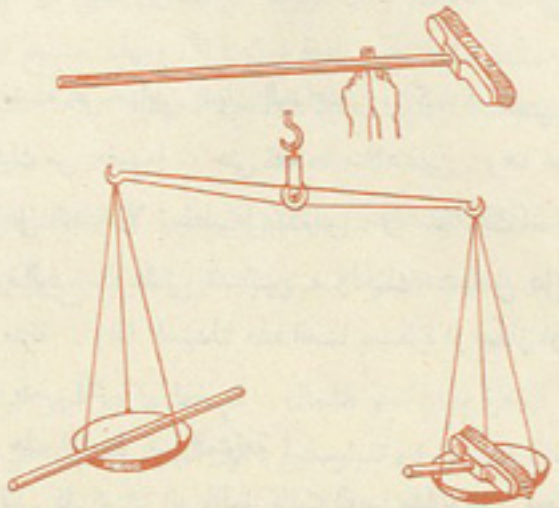
عصا ذاتية الاتزان

ضع عصا ملساء على سبابتى يديك المتباعدتين، كما هو مبين فى الشكل ٢٢ . والآن قرب سبابتيك من بعضهما ، حتى تصبحا متلاصقتين . وهنا سترى شيئا غريبا . اذ تحافظ العصا على اتزانها ولا تسقط على الارض . وباستطاعتك ان تعيد التجربة عدة مرات ، مع تغيير الوضع الابتدائى للسبابتين ، ولكنك ستحصل على نفس النتيجة ، حيث تبقى العصا متزنة . واذا استبدلنا هذه العصا بمسطرة او عكاز او مكنسة او عصا البليارد ، لحدث نفس الشئ .

ما هو سر هذه النتيجة غير المتوقعة ؟

من الواضح قبل كل شئ، انه طالما كانت العصا متوازنة وهى محمولة على السبابتين المتلاصقتين ، فلا بد وان تكونا واقعتين تحت مركز ثقل العصا مباشرة (يبقى الجسم فى حالة توازن ، اذا كان الخط العمودى النازل من مركز ثقله ، يمر بمساحة قاعدته) . وعند ابتعاد السبابتين عن بعضهما ، فان السبابة الواقعة بالقرب من مركز ثقل العصا ، تتحمل ثقلا اكبر مما تتحمله السبابة البعيدة عنه . وبزيادة الضغط ، يزداد الاحتكاك . لذا ، فان السبابة القريبة من مركز الثقل ، تكون اكثر احتكاكا بالعصا من السبابة البعيدة عنه . ولهذا السبب ، فان السبابة القريبة من مركز الثقل ، لا تنزلق تحت العصا ، انما تتحرك دائما السبابة البعيدة عن تلك النقطة فقط وحالما تصبح السبابة المتحركة ، اقرب الى مركز الثقل من السبابة الاخرى ، يتم تبادل الادوار بين السبابتين ، ويتكرر حدوث هذا

شكل ٢٢ : اجراء التجربة باستخدام المسطرة . الرسم العلوى – نهاية التجربة .



شكل ٢٣ : اجراء نفس التجربة السابقة باستخدام المكنسة . لماذا لا تتزن كفتا الميزان ؟

التبادل عدة مرات ، الى ان تتلاصق السبابتان . ولما كانت السبابة التى تتحرك دائما ، هى السبابة البعيدة عن مركز الثقل بالذات ، يكون من الطبيعى فى نهاية العملية ، ان تلتقى السبابتان تحت مركز ثقل العصا .

وقبل ان تترك هذه التجربة، اعدها مرة اخرى باستخدام المكنسة، كما هو مبين فى الشكل ٢٣ ، الى الاعلى .

والآن اطرح على نفسك السؤال التالى : اذا قطعنا المكنسة من موضع استنادها الى السبابتين ، ووضعنا كلا القسمين فى كفتى ميزان (شكل ٢٣ ، الى الاسفل) ، فاى الكفتين سترجح ــ الكفة التى وضعت فيها عصا المكنسة ، ام الكفة التى وضعت فيها فرشة المكنسة ؟

وقد يفكر البعض بأنه طالما كان قسما المكنسة متوازنين على السبابتين، فلا بد وان يتوازنا عند وضعهما فى كفتى الميزان . ولكن فى الحقيقة ، تكون الكفة الراجحة ، هى الكفة التى وضعت فيها فرشة المكنسة . وليس من الصعب معرفة السبب ، اذا تذكرنا بانه عند توازن المكنسة على السبابتين ، كانت القوتان الناتجتان عن وزنى القسمين

المذكورين ، تؤثران على ذراعى العتلة ، غير المتساويين فى الطول . اما عند وضع القسمين فى كفتى الميزان ، فان القوتين المذكورتين اصبحتا تؤثران على طرفى عتلة متساوية الذراعين .

وقد اوصيت بصنع مجموعة من العصى، تقع مراكز ثقلها فى مواضع مختلفة ، وذلك لعرضها فى «جناح العلوم المسلية» الذى اقيم فى حديقة الثقافة فى لينينجراد . وكان بالامكان فكّ كل عصا الى قسمين غير متساويين عادة ، من الموضع الذى يقع فيه مركز الثقل بالضبط . وعندما كان زوار الجناح المذكور ، يضعون تلك الاقسام المختلفة فى الميزان ، كانوا يندهشون عندما يرون بامّ اعينهم ، ان القسم القصير من العصا ، اثقل من القسم الطويل .

الفصل الثالث

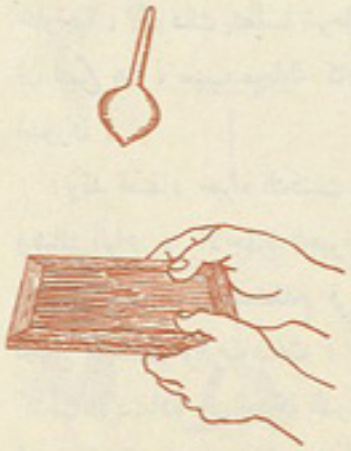
الحركة الدورانية

لماذا لا تسقط الدوامة عند دورانها ؟

من بين الا ف الاشخاص الذين زاولوا فى طفولتهم لعبة الدوامة ، لا يوجد الا عدد قليل يمكنه الاجابة على السؤال المذكور ، بصورة صحيحة . كيف يمكننا فى الحقيقة ان نفسر عدم سقوط الدوامة الدائرة ، الموضوعة على الارض بصورة عمودية او حتى مائلة ، بالرغم مما يتوقعه الجميع ؟ ما هى القوة التى تجعل الدوامة تحافظ على هذه الوضعية ، التى تبدو فى الظاهر حرجة ؟ هل ان هذه الدوامة الدائرة ، لا تتأثر بالجاذبية الارضية ؟ ان الفعل المتبادل للقوى ، يلعب هنا دورا مدهشا للغاية .

ان النظرية الخاصة بدوران الدوامة ، ليست بسيطة ، ولذا سوف لا نتعمق فى شرحها ، بل سنشير فقط ، الى السبب الرئيسى ، الذى يرجع اليه الفضل فى عدم سقوط الدوامة الدائرة . ويبيّن الشكل ٢٤ ، دوامة تدور فى اتجاه السهمين الواضحين . لنمعن النظر فى القسم أ من قرص الدوامة ، وفى القسم ب ، المقابل له . ان القسم أ يحاول الحركة مبتعدا عن القارئ ، بينما يتحرك القسم ب فى اتجاه القارئ . والآن ، لنتتبّع حركة هذين القسمين ، عندما نجعل محور الدوامة يميل نحونا . عندما نقوم بذلك ، فاننا بهذه الدفعة الخفيفة ، نجعل القسم أ يتحرك الى الاعلى، والقسم ب الى الاسفل ، وتكون الدفعة قد اثرت على القسمين المذكورين بصورة عمودية على حركتهما الذاتية . وبما ان السرعة المحيطية لاقسام القرص عند تدوير الدوامة بسرعة ، تصبح كبيرة جدا ، فان السرعة القليلة التى اكتسبتها الدوامة نتيجة للدفعة تضاف الى السرعة المحيطية الكبيرة للنقطة ، وبذلك تكون المحصلة الناتجة ، قريبة جدا من السرعة المحيطية —

شكل ٢٤ : لماذا لا تسقط الدوامة ؟



شكل ٢٥ : ان الدوامة الدوارة ، المرمية الى الاعلى ، تحافظ على الاتجاه الابتدائى لمحورها .

حيث لا تتغير حركة الدوامة تقريبا . ويتضح من ذلك ، سبب مقاومة الدوامة ، للقوة التى تحاول ان تطرحها على الارض . وكلما كانت كتلة الدوامة كبيرة وسرعتها عالية ، كلما كانت مقاومتها للانطراح اشد .

ان حقيقة هذا التفسير ، تتعلق بقانون القصور الذاتى مباشرة . ان كل نقطة من نقاط الدوامة ، تتحرك على محيط دائرى ، فى مستوى عمودى على محور الدوران . وحسب قانون القصور الذاتى ، فان النقطة ، تحاول فى كل لحظة ، الخروج من مدارها الدائرى ، الى الخط المستقيم ، المماس له . ولكن بما ان كل مماس يقع فى نفس المستوى ، الذى يقع فيه المدار الدائرى ، فان كل نقطة ستحاول الحركة بحيث تبقى دائما فى المستوى العمودى على محور الدوران .

ومن هنا ، ينتج ان كافة مستويات الدوامة ، العمودية على محور الدوران ، ستحاول المحافظة على اوضاعها فى الفراغ . ولهذا ، فان العمود المشترك على تلك المستويات ، اى محور الدوران بالذات ، سيحاول هو الآخر المحافظة على اتجاهه .

وسوف لا نبحث هنا كافة حركات الدوامة ، التى تحدث عندما تؤثر عليها قوة

خارجية . لان ذلك يتطلب شرحا وافيا جدا ، ربما يكون مملا بالنسبة للقارئ . لقد اردت ان ابيّن هنا ، سبب محاولة كافة الاجسام الدائرة ، المحافظة على الوضعية الثابتة لمحور الدوران .

وقد استفاد خبراء التكنيك الحديث ، من هذه الخاصية ، فائدة واسعة النطاق . وهناك انواع من الاجهزة الجيروسكوبية ، المبنية على اساس حركة الدوامة — كالبوصلة والموازن وغيرهما — تستخدم فى البواخر والطائرات الحديثة . ان الحركة الدورانية ، تجعل القذائف والرصاصات ، ثابتة على خط معين اثناء انطلاقها فى الجو ، ويمكن كذلك الاستفادة من الحركة الدورانية لضمان استقرار انطلاق القذائف الكونية — الاقمار الصناعية والصواريخ . هذه بعض الفوائد ، التى امكن استخلاصها من الدوامة ، التى لا تزيد فى الظاهر ، عن كونها لعبة للاطفال .

اللعب بخفة اليد

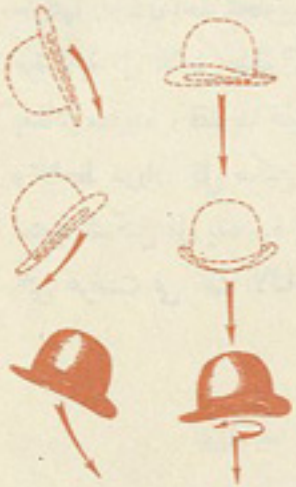
ان الكثير من الملاعيب المدهشة المختلفة ، التى يقدمها الحاوى على خشبة المسرح ، مبنى على خاصية محافظة الاجسام الدائرة على اتجاه محور دورانها . والآن ، اقدم للقراء

شكل ٢٦ : كيفية طيران قطعة النقود المرمية الى الاعلى مع دورانها فى نفس الوقت

شكل ٢٧ : ان قطعة النقود المرمية الى الاعلى بدون دوران ، تسقط الى الاسفل كيفما اتفق .

نبذة مقتطفة من الكتاب الشيق ، الذى وضعه العالم الفيزيائى الانكليزى البروفيسور جون بيرى ، وعنوانه « الدوامة » .

« قمت ذات مرة بعرض بعض تجاربى الخاصة بالحركة الدورانية ، امام الجماهير التى كانت تحتسى القهوة وتدخن التبغ فى قاعة رائعة للموسيقى ، هى قاعة « فكتوريا » فى لندن . وقد بذلت قصارى جهدى لاثارة اهتمام المستمعين ، وقلت بانه اذا اردنا ان نرمى قرصا مسطحا ، بحيث نستطيع تعيين مكان سقوطه سلفا ، فيجب ان نجعل القرص يدور اثناء حركته . ونقوم بنفس العمل بالضبط ، اذا اردنا ان نرمى قبّعة الى احد الاشخاص ، بحيث يستطيع ان يتلقفها بعصاه . ويمكن الاعتماد دائما على المقاومة ، التى يبديها الجسم الدائر ، ضد تغيير اتجاه محور دورانه . وبعد ذلك اوضحت للمستمعين ، بانه عندما تكون سبطانة المدفع صقيلة من الداخل ، لا يمكن ان نتوقع اصابة الهدف بدقة بتاتا . ونتيجة لذلك ، تستحدث فى الوقت الحاضر ، اخاديد حلزونية على الجدران الداخلية لسبطانة المدفع ، لكى تدخل فيها نتوءات القنبلة او القذيفة ، بحيث تكتسب كل منهما حركة دورانية ، عندما تمر فى السبطانة اثناء انطلاقها . وبفضل ذلك ، تخرج القذيفة من فوهة المدفع وقد اكتسبت حركة دورانية معينة بدقة . كان هذا كل ما استطعت ان اقدمه خلال تلك المحاضرة ، لاننى لست حاذقا فى رمى القبعات او الاقراص . ولكن بعد ان انتهيت من محاضرتى ، ظهر حاويان على خشبة المسرح وعرضا العابهما امام الحاضرين . ولم ار فى حياتى وسيلة عملية لايضاح القوانين التى شرحتها فى محاضرتى ، احسن من الوسيلة التى لجأ اليها الحاويان ، بعرض ملاعيبهما . لقد كانا يتبادلان فيما بينهما ، رمى القبعات والاطواق والصحون والمظلات ، التى كانت جميعها تدور اثناء



شكل ٢٨ : يصبح من الاسهل على الشخص ان يتلقى القبعة المرمية الى الاعلى ، اذا قام بتدويرها اثناء رميها .

حركتها . وكان احد الحاويين يقذف عددا من السكاكين فى الهواء ، ثم يتلقفها ويقذفها مرة ثانية الى الاعلى بدقة كبيرة . اما الجماهير التى استمعت الى محاضرتى قبل ذلك بدقائق معدودة ، فقد بدا عليها شعور الرضا والانشراح ، عندما كانت تتابع العاب الحاوى ، وتلاحظ دوران كل سكين يقذفها من يده الى الهواء ، بطريقة تجعله يعرف باية وضعية ، ستعود السكين الى يده مرة ثانية . وقد اصابتنى الدهشة عندئذ ، لان كافة الملاعيب ، التى عرضت فى تلك الاثناء ، كانت بمثابة وسائل ايضاح للقانون المذكور اعلاه » .

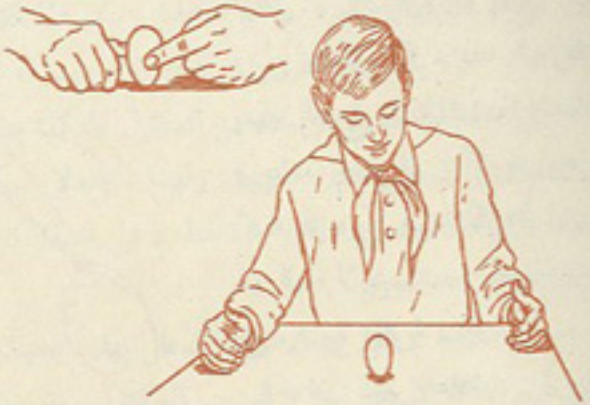
حل جديد لمسألة كولومبس

لقد حل كولومبس ببساطة ، مسألته الشهيرة وهى : ان يجعل البيضة تقف منتصبة على احد طرفيها ، وذلك عندما كسر قشرتها فى ذلك الموضع * .

وهذا الحل فى الحقيقة غير صحيح . وذلك لان كولومبس عندما كسر قشرة البيضة ، غيّر بذلك شكلها ، اى ان المسألة لم تعد متعلقة بالبيضة ، ولكن بجسم آخر . لان لشكل البيضة اهمية جوهرية فى هذه المسألة . وبتغيير شكل البيضة ، نكون قد استبدلناها بجسم آخر .

ونقول بهذه المناسبة ، انه يمكن حل المسألة السابقة ، بدون ان نغيّر شكل البيضة مطلقا ، اذا استخدمنا خاصيّة الدوامة . وكل ما نحتاجه للقيام بذلك ، هو تدوير البيضة حول محورها الطويل — عندئذ ستقف البيضة منتصبة على طرفها العريض ، او حتى على طرفها الحاد ، دون ان تنقلب على الارض . ويبيّن الشكل ٢٩ كيفية القيام

* وبهذه المناسبة ، تجدر الاشارة الى ان قصة كولومبس والبيضة ، ليس لها اساس تاريخى . ان الشائعات وحدها ، هى التى نسبت هذه المسألة الى البحار الشهير كولومبس ، مع انها تعود الى رجل آخر عاش قبله بزمن طويل ، وكان القصد منها يختلف تماما عن قصد كولومبس — وذلك الرجل هو المعمارى الايطالى برونيلشى (١٣٧٧ – ١٤٤٦) ، الذى بنى قبة كاتدرائية فلورنسا ، وقال : « ان قبتى ستبقى ثابتة فى محلها بامان ، كما تقف هذه البيضة بثبات على احد طرفيها » .



شكل ٢٩ : حل مسألة كولمبوس : ان البيضة تدور وهى منتصبة على احد طرفيها .

بهذه العملية ، وذلك بتدوير البيضة باصابع اليد . وعندما نرفع ايدينا ، نرى ان البيضة تستمر فى دورانها وهى منتصبة على طرفها ، لفترة معينة من الزمن . وبهذا نكون قد توصلنا الى حل المسألة .

ولاجراء هذه التجربة ، يجب استخدام بيضة مسلوقة حتما . وهذا التحديد لا يتعارض مع ظروف مسألة كولومبس . لانه عندما قام بتلك العملية ، كان قد تناول بيضة موضوعة على مائدة الطعام ، الامر الذى يرجح انها كانت مسلوقة ايضا .

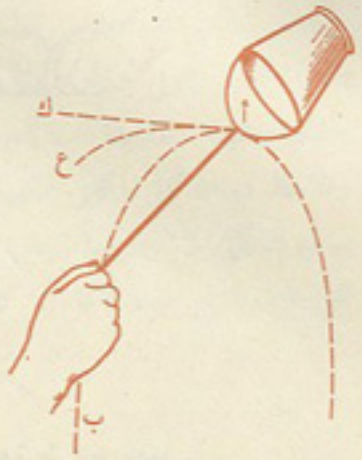
ومن الصعب جدا ان نجعل البيضة النيئة تدور وهى منتصبة على طرفها ، لان السوائل الموجودة فى داخلها ، تعمل فى هذه الحالة ، على فرملة الحركة الدورانية . وهذا اساس الطريقة ، التى نستطيع بواسطتها تمييز البيضة المسلوقة من البيضة النيئة ، وهى الطريقة التى تعرفها كثيرات من ربات البيوت .

محو الجاذبية

قبل الفى سنة ، كتب العالم الاغريقى ارسطو طاليس ، ما يلى : « ان الماء لا ينسكب من اناء فى حالة دوران ، حتى عندما نجعل فوهته الى الاسفل ، وقاعدته الى

الاعلى ، لان الدوران يمنع انسكاب الماء » .

ويبيّن الشكل ٣٠ ، هذه التجربة المقنعة ، التى يعرفها الجميع بلا شك . اذا اخذنا سطلا فيه ماء ، وربطناه بحبل ثم بدأنا بتدويره بسرعة كبيرة ، كما هو مبيّن فى الشكل السابق ذكره ، فسنرى ان الماء لا ينسكب ، حتى عندما يصبح السطل فى وضعية مقلوبة تماما .



شكل ٣٠ : لماذا لا ينسكب الماء من السطل الدوار .

ان الناس عادة ، يعزون حدوث هذه الظاهرة ، الى « القوة الطاردة المركزية » ، التى يقصدون بها تلك القوة الوهمية ، التى يظنون انها تؤثر على الجسم ، وتساعده فى محاولته للابتعاد عن مركز الدوران . ان هذه القوة لا وجود لها ، وما المحاولة المشار اليها هنا ، الا عملية ظهور القصور الذاتى ، وكل حركة تنتج عن القصور الذاتى ، لا تحتاج الى قوة لادامتها . وفى علم الفيزياء ، لا يقصد بالقوة الطاردة المركزية ، الا تلك القوة الحقيقية ، التى يسحب بها الجسم الدائر ، الحبل المربوط به ، او يضغط بها على مداره المنحنى . وهذه القوة لا تؤثر على الجسم الدائر ، بل تؤثر على العائق الذى يمنعه من الحركة على خط مستقيم — اى انها تؤثر على الحبل او على السكة الحديدية عند اقسامها المنحنية .. وغير ذلك .

لنعد الى تجربة تدوير سطل الماء ، ولنحاول بحث سبب هذه الظاهرة ، دون اللجوء بتاتا الى مفهوم « القوة الطاردة المركزية » ، ذى المعنيين . والآن ، نطرح على انفسنا السؤال التالى : اذا احدثنا ثقبا فى جدار السطل ، فالى اية جهة سيتدفق الماء ؟ لو فرضنا ان قوة الجاذبية غير موجودة ، لتدفق الماء — بالقصور الذاتى — فى اتجاه الخط أك ، المماس للمحيط أب (شكل ٣٠) . ولكن قوة الجاذبية تجعله ينحنى ويصبح على شكل قوس (القطع المكافئ أع) .

واذا كانت السرعة المحيطية كبيرة بما فيه الكفاية ، فان هذا القوس سيقع خارج المحيط أب . ان تيار الماء يبيّن لنا الطريق ، الذى كان سيسلكه الماء اثناء دوران السطل ، فيما اذا لم يضغط عليه السطل ويمنعه من التدفق . وهكذا يتضح لنا بان الماء لا يحاول البتة ان يتحرك الى الاسفل بصورة عمودية . ولهذا ، فانه لا ينسكب من السطل . وكان من المحتمل انسكاب الماء ، فى حالة واحدة فقط ، هى عندما تكون فوهة السطل ، متجهة فى نفس اتجاه حركته الدورانية .

والآن ، لنحسب السرعة ، التى يجب تدوير السطل بها ، بحيث لا ينسكب منه الماء . ويجب فى هذه الحالة الا يقل تسارع الجذب المركزى ، عن تسارع الجاذبية : عندئذ سوف يخرج الطريق الذى يحاول الماء ان يسلكه ، عن نطاق المحيط ، الذى يرسمه السطل بدورانه ، وسوف لا يتخلف الماء عن السطل فى اية نقطة كانت . ان صيغة حساب تسارع الجذب المركزى ج ، تكون كما يلى :

$$ج = \frac{س^{٢}}{نق}$$

حيث س — السرعة المحيطية ، نق — نصف قطر المدار الدائرى . ولما كان تسارع الجاذبية على سطح الارض هو ح = ٩٫٨ م/ثا^{٢} ، اذن نحصل على المتباينة التالية :

$$\frac{س^{٢}}{نق} \geq ٩٫٨$$

واذا فرضنا ان نق = ٧٠ سم ، نجد ان :

$$\frac{س^{٢}}{٠٫٧} \geq ٩٫٨$$

اى ان س $\geq \sqrt{٠٫٧ \times ٩٫٨}$ اذن س $\geq$ ٢٫٦ م/ثا

ولاجل الحصول على مثل هذه السرعة المحيطية ، يجب ان ندوّر السطل بيدنا ، دورة ونصف فى كل ثانية تقريبا ، وهذا امر يمكن القيام به بسهولة ، وسوف لا نلاقى اية صعوبة عند اجراء هذه التجربة .

ان قابلية السوائل للضغط على جدران الاناء ، الذى تدور فى داخله حول محور افقى ، تستخدم فى التكنيك الحديث للقيام بعملية الصب بالطرد المركزى . والامر الذى له اهمية جوهرية فى هذه الحالة ، هو ترسب السائل المتغاير التركيب ، على شكل طبقات حسب الوزن النوعى ، بحيث تقع المركبات الثقيلة جدا، على مسافة بعيدة من محور الدوران . اما المركبات الخفيفة ، فتكون قريبة من المحور . ونتيجة لذلك ، فان جميع الغازات الموجودة فى داخل المعدن المصهور ، والتى تخلق ما يسمى بـ « الفجوات الغازية » فى السبيكة ، تخرج من المعدن الى قناة الصب المركزية المجوفة . وتكون القطع المصنوعة بهذه الطريقة ، متينة البنيان وخالية من الفجوات الغازية . كما ان الصب بالطرد المركزى ، ارخص من الصب العادى بالضغط ، ولا يحتاج الى اجهزة معقدة .

القارىء فى دور غاليليو

يستطيع هواة الحركات العنيفة ان يجدوا متعة من نوع خاص جدا ، فيما يسمى بـ « ارجوحة الشيطان » . اننى شخصيا لم اجرب ركوب هذه الارجوحة . لذلك ساقدم هنا وصفا لها ، مقتبسا من مجموعة العاب اللهو العلمية لفيدو :

« ان الارجوحة معلقة فى عارضة افقية قوية ، ممتدة فى فضاء الغرفة ، على ارتفاع معيّن من ارضيتها . وعندما يجلس الجميع فى محلاتهم ، يقوم العامل بقفل باب الدخول ، ويرفع اللوح الخشبى الموصل الى الباب ، ثم يعلن للحاضرين بانه سيأخذهم الآن الى رحلة جوية قصيرة ، ويبدأ بعد ذلك بأرجحة الارجوحة برفق . وبعد ان ينتهى من ذلك ، يجلس فى مؤخرة الارجوحة ، مثلما يجلس الخادم فى مؤخرة العربة ، او يخرج من القاعة نهائيا .

وفى هذه الاثناء ، تزداد قوة التأرجح ، وترتفع الارجوحة اكثر فاكثر ، حتى تصل الى مستوى العارضة ، ثم تتعداه مرتفعة الى الاعلى ، الى ان تتخذ فى نهاية الامر ، مدارا دائريا كاملا — تدور حول العارضة . وتزداد سرعة الدوران اكثر فاكثر بشكل

محسوس ، ويتملك المتأرجحين — مع ان قسما كبيرا منهم يعرف ذلك سلفا — شعور بالتأرجح والحركة السريعة ، يجعلهم يتصورون بانهم يسبحون فى الفضاء ورؤوسهم الى اسفل ؛ حتى انهم يتشبثون بمقاعدهم بصورة لا ارادية ، وذلك خوفا من السقوط .

شكل ٣١ : الرسم التخطيطى لتركيب « ارجوحة الشيطان » .

وبعد ذلك تخفف سرعة التأرجح ، بحيث لا ترتفع الارجوحة بعد ذلك الى مستوى العارضة ، وبعد عدة ثوان ، تتوقف الارجوحة نهائيا .

اما فى حقيقة الامر ، فقد كانت الارجوحة ساكنة طوال الفترة ، التى استغرقتها التجربة ، وكانت الغرفة بالذات ، هى التى تدور حول الجالسين فى الارجوحة ، بواسطة الية بسيطة جدا ، تجعل الغرفة تدور حول محور افقى . وكان الاثاث مثبتا فى ارضية القاعة او جدرانها . اما المصباح الذى بدا قابلا للتحرك وكانه لا بد ان يسقط من المنضدة فى حالة دوران الغرفة ، فانه فى الواقع ملحوم بسطح المنضدة . والعامل ، الذى بدا فى الظاهر وكأنه يؤرجح الارجوحة بدفعات خفيفة ، لم يقم بأكثر من تهيأة عقول الجالسين فى الارجوحة ، لتقبل التأرجحات الخفيفة للقاعة ، وذلك بتظاهره بدفع الارجوحة . وقد كان كل شىء معد بطريقة تساعد على خداع الجمهور بنجاح تام » .

ان سر هذه الخدعة ، بسيط جدا كما رأينا . ومع ذلك ، فلو اتيحت للقارىء — بعد ان عرف السر — فرصة ركوب « ارجوحة الشيطان » ، فانه لابد وان يصدق تلك الخدعة ، لانها مقنعة جدا .

ولو جلست فى الارجوحة المذكورة ، مع اناس لم يطلعوا على سرها ، لاصبحت عندئذ غاليليو زمانك — ولكن بصورة عكسية. ان غاليليو كان يؤكد ان الشمس والكواكب

ثابتة ، واننا ندور حولها بأنفسنا ، خلافا لما يظهر لنا ، اما انت ، فستؤكد لمن حولك ، بأنهم ثابتون فى اماكنهم ، وان الغرفة برمتها تدور من حولهم . وفى هذه الحالة ، ربما كنت ستتعرض لنفس المصير المحزن ، الذى تعرض اليه غاليليو ، ولنظر الناس اليك كما ينظرون الى الشخص الذى يتجادل حول الاشياء البديهية .

جدال مع القارىء

هل تعتقد انك تستطيع اثبات رأيك بسهولة كما تتصور ؟ لنر ذلك ! تصور انك تجلس فى « ارجوحة الشيطان » بالفعل ، وتريد اقناع الجالسين بجوارك ، بانهم على ضلال مما يشعرون . انني ادعو القارئ الى الجدال معى حول هذا الموضوع . لنجلس معا فى « ارجوحة الشيطان » ، ونتنظر اللحظة ، التى تكون فيها الارجوحة قد بدأت كما يبدو ، بالدوران التام حول مدارها الدائرى ، ثم نبدأ فى جدالنا ، لنتبيّن ما الذى يدور : الارجوحة ام الغرفة برمتها ؟ ارجو من القارئ ان يتذكر ، باننا يجب الا نغادر الارجوحة اثناء جدالنا ، وسنأخذ معنا كل الحاجيات الضرورية سلفا . والآن لنبدأ فى جدالنا :

القارئ – كيف يمكننا الاّ نصدق باننا لا نتحرك ، وبان الغرفة هى التى تدور من حولنا ! واذا كانت الارجوحة تنقلب رأسا على عقب بالفعل ، لما تعلقنا فى الهواء وروؤسنا الى اسفل ، بل كنا سنسقط من الارجوحة . ولكننا كما ترى لا نسقط . اى ان الغرفة هى التى تدور ، وليست الارجوحة .

أنا – ولكن الا تتذكر بان الماء لا ينسكب من السطل ، الذى يدور بسرعة ، بالرغم من انقلاب السطل رأسا على عقب (صفحة ٦٢) وكذلك ، فان سائق الدراجة العادية ، لا يسقط عندما يدور بدراجته حول « انشوطة الشيطان » – راجع البحث المقبل على الصفحة ٧٣ – مع انه يركب الدراجة ورأسه الى اسفل .

القارئ – اذا كان الامر كذلك ، لنحسب اذن مقدار تسارع الجذب المركزى ، ونرى فيما اذا كان كافيا لمنعنا من السقوط من الارجوحة، ام لا. وبمعرفة المسافة التى

تفصلنا عن محور الدوران ، ومعرفة عدد الدورات فى الثانية ، نستطيع بسهولة ، ان نعيّن بموجب الصيغة ...

انا – لا تتعب نفسك فى الحساب . لقد اخبرنى منظموا « ارجوحة الشيطان » بان عدد الدورات سيكون كافيا تماما ، لتوضيح هذه الظاهرة ، من وجهة نظرى انا . وهكذا ، فان الحساب لن يقرر نتيجة هذا الجدال .

القارئ – ولكننى لم افقد الامل فى اقناعك . اترى كيف ان الماء لا ينسكب من هذا القدح الى الارض .. ! اعتقد انك ستعود مرة ثانية الى مسألة دوران سطل الماء . حسنا ، يوجد فى يدى الآن شاقول ، وهو كما ترى متجه الى اسفل دائما – فاذا كنا ندور مع الارجوحة وكانت الغرفة ثابتة ، فلماذا لا يتجه الشاقول الى جانب تارة ، وتارة الى اعلى ، بل يتجه الى اسفل فقط ؟

انا – انك مخطئ فى هذا . لاننا اذا كنا ندور بسرعة كافية ، فان الشاقول يجب ان يبتعد عن المحور دائما ، باتجاه نصف قطر الدوران ، اى الى اسفل كما نرى .

نهاية الجدال

والآن ليسمح لى القارئ ، بتقديم نصيحة له ، تجعله ينتصر على غريمه فى هذا الجدال . يجب ان يأخذ القارئ معه ميزانا زنبركيا ، وهو فى طريقه الى « ارجوحة الشيطان » ، ويضع فى كفة هذا الميزان سنجة يبلغ وزنها ، مثلا ١ كجم ، ويتتبع حركة المؤشر . سوف يرى بان المؤشر سيقف دائما عند نفس الرقم ، الذى يقابل وزن السنجة ، اى ١ كجم . وهذا دليل على عدم حركة الارجوحة .

ولو كنا فى حقيقة الامر ندور مع الميزان الزنبركى حول المحور ، لأثرت على السنجة – بالاضافة الى قوة الجاذبية – قوة الطرد المركزى ، التى كانت ستزيد من وزن السنجة فى نقاط المدار السفلى ، وتقلل من وزنها فى النقاط العليا . وكنا سنلاحظ حتما ، بان السنجة ستصبح متغيرة الوزن ، فتارة تصبح اثقل مما هى عليه ، وتارة لا تزن اى شئ . وهذا يدل على ان الغرفة هى التى تدور ، ولسنا نحن .

«الكرة المسحورة»

اراد احد رجال الاعمال فى امريكا ، ان يرفه عن زوار معرضه ، فعمد الى صنع ارجوحة دوّارة على هيئة غرفة كروية . ان الناس الموجودين فى داخل هذه الغرفة ، يحسون بشعور غير طبيعى ، كالشعور الذى لا يمكن ان نحس به ، الا فى الاحلام او فى عالم القصص الخيالية .

لنتذكر فى بادئ الامر ، ما هو الشعور الذى يتملك الشخص الواقف على منصة دائرية سريعة الدوران .

ان الحركة الدورانية تحاول طرد الشخص الى الخارج ، وكلما ابتعد الشخص عن المركز ، طرد الى الخارج بقوة اكبر . اما اذا اغمض الشخص عينيه ، فسيشعر بانه لا يقف على ارضية افقية ، بل على ارضية مائلة (منحدرة) ، تجعله يحافظ على توازنه بصعوبة . ويتضح لنا الامر ، عندما نتطرق الى بحث القوى ، التى تؤثر على جسم الانسان

شكل ٣٢ : بماذا يشعر الشخص الواقف على حافة المنصة الدوارة .

فى هذه الحالة (شكل ٣٢) . ان الدوران يؤثر على الجسم ويطرده الى الخارج . اما الجاذبية فتسحبه الى الاسفل . واذا جمعنا هاتين القوتين — بموجب قاعدة متوازى اضلاع القوى — فسنرى ان محصلتهما تتجه الى الاسفل بصورة مائلة . وبازدياد سرعة دوران المنصة ، تزداد قيمة المحصلة ويخف ميلها .

لنتصور الآن ان حافة المنصة المذكورة، منحنية الى الاعلى، وان احد الاشخاص يقف على هذا الجزء المنحنى المائل (شكل ٣٣) . وعندما تكون المنصة ساكنة ، لا يستطيع ذلك الشخص الوقوف فى محله ، لانه سينزحف منحدرا الى الاسفل ، او بالاحرى

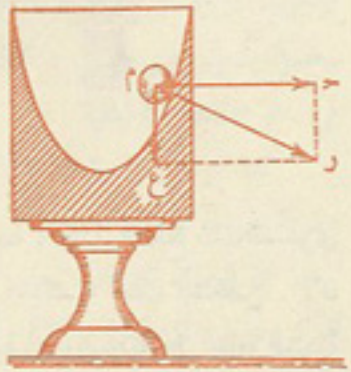
شكل ٣٣ : ان الشخص يقف بثبات على الحافة المائلة للمنصة الدوارة .

سيسقط من محله . ولكن الامر يختلف عندما تدور المنصة : عندئذ يصبح ذلك المستوى المائل — عند سرعة دوران معينة — بمثابة مستوى افقى بالنسبة لذلك الشخص . لان محصلة كلتا القوتين ، المؤثرتين عليه ، ستكون مائلة ايضا، وعمودية على حافة المنصة المائلة * . فاذا جعلنا حافة المنصة الدوارة مائلة ، بحيث يكون سطحها — عند سرعة معينة — فى كافة نقاطه ، عموديا على المحصلة ، فان الشخص الواقف فى اية نقطة من تلك الحافة المائلة ، سيشعر وكأنه واقف على سطح افقى . وقد وجد بواسطة الحسابات الرياضية ، بان هذا السطح هو عبارة عن سطح جسم هندسى خاص ، يسمى بمجسم القطع المكافئ . ويمكن الحصول عليه ، اذا اخذنا قدحا مملؤا الى منتصفه بالماء ، وجعلناه يدور بسرعة حول محور عمودى . عندئذ سيرتفع الماء الموجود عند جدران القدح الى الاعلى ، بينما ينخفض الماء الموجود فى المركز الى الاسفل ، وهنا يأخذ سطح الماء شكل مجسم القطع المكافئ .

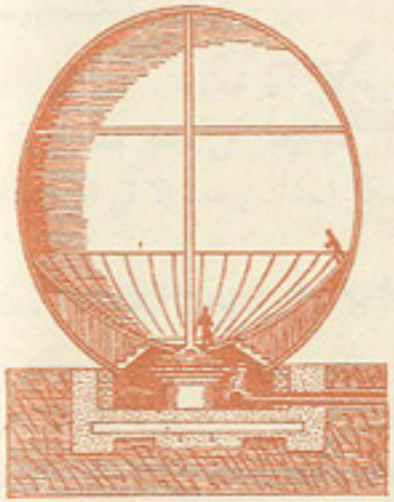
واذا وضعنا فى القدح ، بدل الماء ، شمعا مذابا ، واستمرينا فى التدوير الى ان يبرد الشمع ، فان سطح الشمع المنجمد ، يكون على هيئة مجسم القطع المكافئ بالضبط . وعند سرعة دوران معينة ، يصبح هذا السطح ، بالنسبة للاجسام الثقيلة ، شبيها بالسطح

---

* ان هذا ، بالمناسبة ، يوضح لنا لماذا توضع السكة الخارجية، عند الاقسام المنحنية من طرق السكك الحديدية ، اعلى من السكة الداخلية ، وكذلك يوضح لماذا تكون الطرق الخاصة بسباق الدراجات العادية والنارية ، مائلة الى الداخل ، ولماذا يستطيع المتسابقون المحترفون ، قيادة دراجاتهم على سطح دائرى مائل .



شكل ٣٤ : اذا دورنا هذا الكأس بسرعة كافية ، فسوف لن تتدحرج الكرية (الكرة الصغيرة) الى قعره .



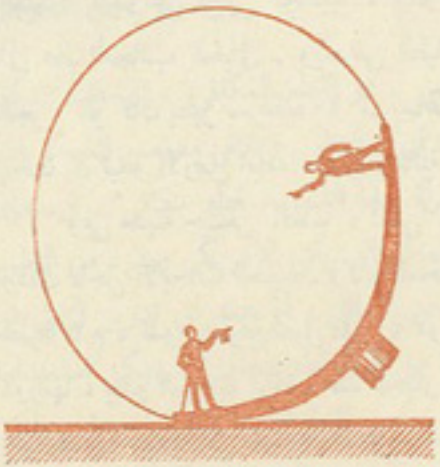
شكل ٣٥: الكرة السحرية (مقطع عرضى).

الافقى، ولا تتدحرج الكرية الموضوعة فى اية نقطة من نقاطه، بل تبقى فى ذلك المستوى (شكل ٣٤) .

والآن ، سوف يسهل علينا فهم تركيب «الكرة المسحورة» . ان قعر هذه الكرة (شكل ٣٥) ، يتألف من منصة دوارة كبيرة الحجم ، مقعرة على هيئة مجسم القطع المكافئ . ومع ان الدوران يتم بصورة سلسة للغاية ، بواسطة آلية مخفية تحت المنصة ، الا ان كافة الاشخاص الواقفين عليها ، كانوا سيتعرضون الى الاصابة بالدوار (الدوخة) ، لو لم تدر معهم كافة الاشياء الموجودة فى ذلك المكان . ولكى لا تتاح للمراقب امكانية اكتشاف الحركة الدورانية ، توضع المنصة الدوارة داخل كرة كبيرة الحجم ، ذات جدران غير شفافة ، تدور بنفس سرعة دوران المنصة .

هذا هو تركيب الارجوحة الدوارة ، التى يطلق عليها اسم «الكرة المسحورة» . والآن ، ما هو الشعور ، الذى يتملك الشخص الواقف على المنصة الموجودة فى داخل الكرة ؟

شكل ٣٦: ما هى الوضعية الحقيقية للشخصين الواقفين فى داخل الكرة السحرية ؟



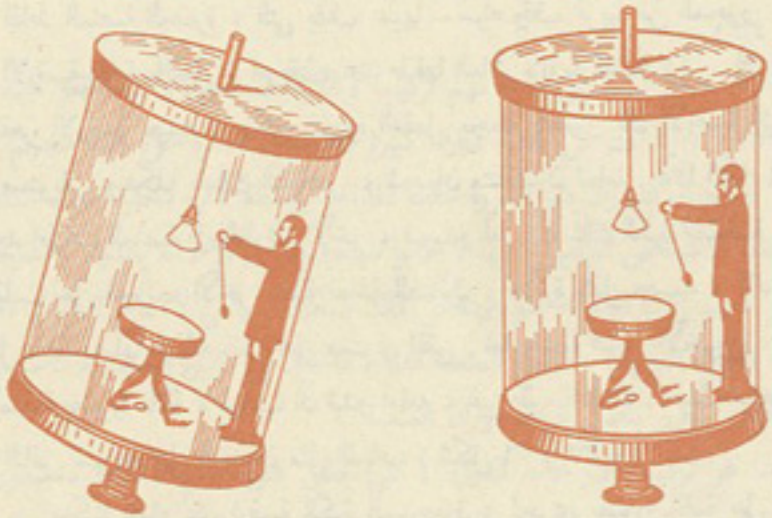
شكل ٣٧: ما الذى يتراءى لكل منهما فى هذه الحالة ؟

عندما تدور المنصة ، تصبح الارضية التى يقف عليها ذلك الشخص ، افقية فى كافة نقاط المنصة المقعرة ، التى يقف عليها — سواء وقف قريبا من المحور ، حيث تكون الارضية افقية بالفعل ، ام وقف عند طرفها المائل بزاوية قدرها ٤٥° . ان الشخص يرى تقعر الارضية بعينيه ، ولكن شعوره العضلى يجعله يتصور بان الارضية التى يقف عليها مستوية . وهكذا يتملك الشخص ، شعوران متناقضان تماما . فاذا انتقل الشخص من احد اطراف المنصة الى الطرف الآخر ، فسيبدو له كأنّ تلك الكرة الضخمة برمتها ، قد انقلبت على الجانب الآخر بخفة فقاعة الصابون ، متأثرة بثقل جسمه ، لانه سيشعر فى كل نقطة يصلها ، بانه يقف على مستوى افقى . اما وضعية الناس الآخرين ، الواقفين على المنصة بصورة مائلة ، فيجب ان تبدو امامه ، غير طبيعية للغاية . حيث سيتصور بان هؤلاء الناس يسيرون على الجدران مثل الذباب (شكل ٣٦ و ٣٧) .

ولو سكبنا الماء على ارضية الكرة المسحورة ، لجرى بصورة افقية على سطحها المائل ، ولظهر للناس بان الماء ينتصب امامهم مثل الجدار المائل . ان الافكار

المتكونة لدينا عن قوانين الجاذبية ، تبدو متغيرة فى هذه الكرة المدهشة ، التى تنقلنا الى عالم العجائب الخيالى . ويتعرض الطيار لنفس الشعور ، عندما يدور بطائرته فى الجو . فلو كان يطير بسرعة ٢٠٠ كم/ساعة على خط منحن ، يبلغ نصف قطره ٥٠٠ م ، يجب ان تبدو الارض امامه منتصبة ومائلة بزاوية قدرها ١٦° .

وفى مدينة جيتنغن بالمانيا ، انشئ فيما مضى ، مختبر دوار مماثل لهذه الكرة ، وذلك لاجل الابحاث العلمية . وكان المختبر (شكل ٣٨) ، يتألف من غرفة اسطوانية قطرها ٣ م ، تدور بسرعة تصل الى ٥٠ دورة/ثانية . وبما ان ارضية الغرفة مستوية ، فعند دورانها ، يبدو للمراقب الواقف عند الجدار ، كما لو كانت الغرفة قد انقلبت الى الوراء ، وهو نصف ممدد على جدارها المائل (شكل ٣٩) . وفى المستقبل ، عندما تجوب الفضاء الكونى مختبرات على هيئة اقمار صناعية طويلة الاجل ، سيتم اكسابها حركة دورانية ، الامر الذى يساعد فى الحصول على جاذبية صناعية . ان تصاميم مثل هذه الاقمار الصناعية ، فى طريقها الى التنفيذ فى الوقت الحاضر .



شكل ٣٨ : المختبر الدوار – الوضعية الحقيقية . شكل ٣٩ : الوضعية الظاهرية لنفس المختبر الدوار .

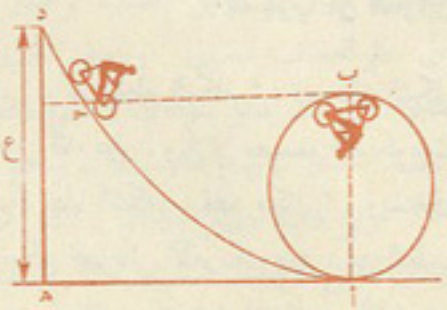
تلسكوب من السوائل

ان احسن شكل لمرآة التلسكوب العاكس ، هو القطع المكافئ ، اى ذلك الشكل الذى يأخذه سطح السائل بالذات ، عند وجوده فى اناء دوار . ويلاقى مصممو التلسكوبات صعوبات ومشاكل كثيرة فى سبيل جعل المرآة بهذا الشكل – قطع مكافئ . ويستغرق صنع مرآة التلسكوب ، سنوات كاملة . وقد تمكن الفيزيائى الامريكى وود ، من التغلب على هذه الصعوبات ، بصنع مرآة تلسكوبية من السوائل . اذ عمد الى تدوير الزئبق فى اناء عريض ، وحصل بذلك على سطح مثالى على هيئة قطع مكافئ ، يمكن استخدامه بدلا من المرآة التلسكوبية ، ذلك لان الزئبق يعكس اشعة الضوء بصورة جيدة . ولكن العيب فى هذا التلسكوب ، هو ان اقل رجة خفيفة ، تؤدى الى تغضن سطح المرآة السائل ، وتشوه الصورة . وبغض النظر عن بساطة فكرة تلسكوب وود ، فانه لم يستخدم فى الاغراض العملية لحد الآن . حتى ان المخترع بالذات ، وجميع علماء الفيزياء المعاصرين له ، لم ينظروا الى هذا الجهاز المبتكر ، نظرة جدية .

«انشوطة الشيطان»

ربما يكون القارئ قد شاهد فى السيرك ، لعبة راكب الدراجة ، الذى يسير بدراجته على طريق يشبه الانشوطة ، حيث يبدأ سيره من الاسفل الى الاعلى ويرسم مدارا دائريا كاملا ، هذا بغض النظر عن سيره بصورة مقلوبة ، فى القسم العلوى من الطريق الانشوطى .

يجهز على المسرح طريق خشبى على هيئة انشوطة ذات لفة واحدة او عدة لفات ، كما هو مبيّن فى الشكل ٤٠. ينحدر الراكب بدراجته على القسم المائل من الانشوطة ، ثم ينطلق بسرعة الى الاعلى ، حيث يوجد القسم الدائرى من الطريق ، ويدور دورة كاملة ، ورأسه الى اسفل تماما ، ثم يعود الى الارض بنجاح . (لقد ابتكرت « انشوطة الشيطان » فى عام ١٩٠٢ ، فى آن واحد من قبل ممثلين من ممثلى السيرك ، هما ديافولو – جونسون – وميفيستو – نوازيت) .



شكل ٤٠. انشوطة الشيطان. ويبدو فى الزاوية السفلى الى اليسار الرسم التخطيطى لتصميم الانشوطة .

ان لعبة الدراجة المحيّرة ، تبدو للمشاهدين وكأنها قمة الفن الاكروباتى (البهلوانى) ويتساءل المشاهدون الحيارى بذهول : ما هى القوة الخفية، التى تمنع راكب الدراجة المغامر من السقوط ، عندما يكون رأسه الى اسفل ؟

ان المرتابين، على استعداد للشك فى هذه الخدعة الماكرة، فى الوقت الذى لايوجد فيها اى شئ خارق للطبيعة . ويمكن تفسير هذه الخدعة تماما ، بموجب قوانين الميكانيكا . ولو دحرجنا كرة البلياردعلى هذا الطريق ، لدارت عليه بنجاح ، كما يدور راكب الدراجة بالضبط . وتحتوى غرف الفيزياء الخاصة فى المدارس ، على نماذج مصغرة لانشوطة الشيطان .

وكانت بحوزة مبتكر ومنفذ هذه اللعبة « ميفيستو » ، كرة ثقيلة ، لاختبار تحملية الانشوطة المذكورة . كان وزنها يساوى وزن الدراجة مع راكبها . وكانت الكرة تدحرج على طريق الانشوطة ، فاذا دارت عليه بنجاح ، قام الممثل بعد ذلك بركوب دراجته والسير بها على ذلك الطريق الانشوطى بنفسه .

والآن ، لا بد وان يكون القارئ قد عرف بان سبب هذه الظاهرة العجيبة ، هو نفس السبب ، الذى فسرنا به تجربة سطل الماء الدوار ، المعروفة لدى الجميع (صفحة ٦٢) . ولعبور منطقة الخطر الواقعة فى القسم العلوى للانشوطة ، بنجاح تام ، يجب ان تكون سرعة الدراجة كبيرة بما فيه الكفاية . وهذه السرعة تحدد بالارتفاع ، الذى يبدأ منه الراكب بتحريك دراجته . اما السرعة الصغرى المسموح بها ، فتعتمد على نصف قطر الانشوطة . ونفهم من ذلك ان اللعبة لا تكون ناجحة بصورة دائمية ، اذ لا بد لذلك من دقة حساب الارتفاع ، الذى يبدأ منه راكب الدراجة بالتحرك ، والا لانتهت اللعبة بكارثة .

توجد بعض الصيغ « الجافة » ، التى تخيف عددا من هواة الفيزياء . ولكن عندما يرفض هؤلاء الناس ، التعرف على الناحية الرياضية للظواهر الفيزيائية ، فانهم يحرمون انفسهم متعة التكهن بمجرى الحوادث وتحديد شروطها . وفى حالتنا هذه مثلا ، نستطيع الاكتفاء بصيغتين او ثلاث صيغ ، لكى نحدد بدقة الشروط ، التى تضمن لنا النجاح عندما نقوم بلعبة مدهشة ، مثل ركوب الدراجة فى « انشوطة الشيطان » .

والآن نبدأ فى الحساب .

لنشر الى المقادير التى ستدخل فى الحساب ، بالرموز التالية :

ع – الارتفاع الذى سيتدحرج منه راكب الدراجة ،

ص – ذلك الجزء من الارتفاع ، الذى يقع فوق النقطة العليا للانشوطة ، ويتضح من الشكل ٤٠ ، ان ص = ع – أب ،

نق – نصف قطر لفة الانشوطة ،

ك – الكتلة الاجمالية للدراجة وراكبها ، ويمكن الرمز الى وزنهما بالحرفين ك ج ،

ج – تسارع الجاذبية الارضية ، والمعروف انه يساوى ٩٫٨ م/ثا٢ ،

س – سرعة الدراجة ، عند وصولها الى اعلى نقطة فى الانشوطة .

وباستطاعتنا وضع معادلتين ، تحتويان على جميع المقادير المذكورة اعلاه :

اولا – نعرف من قوانين الميكانيكا ، ان سرعة الدراجة عند وصولها الى نقطة حـ ، الواقعة على الطريق المائل ، فى مستوى النقطة ب (هذه الوضعية مبينة فى اسفل الشكل ٤٠) ، تساوى سرعة الدراجة نفسها عند وصولها الى النقطة العليا للانشوطة ، وهى نقطة ب . ويعبّر عن السرعة الاولى بالصيغة التالية * : س = $\sqrt{٢ ج ص}$ ، أو س٢ = ٢ ج ص . وبالتالى ، فان سرعة الدراجة فى نقطة ب ، تساوى : س = $\sqrt{٢ ج ص}$ ، أو

* فى هذه الحالة تهمل طاقة الاطارات الدوارة لعجلات الدراجة ، لانها لا تؤثر على نتيجة الحساب الا قليلا جدا .

$س^{٢} = ٢ ج ص$. ثانيا – لكى نحول دون سقوط راكب الدراجة عند وصوله الى نقطة ب ، يجب ان يكون تسارع الجذب المركزى ، اكبر من تسارع الجاذبية ، اى يجب ان يكون لدينا : $\frac{س^{٢}}{نق} > ج$، او $س^{٢} > ج نق$. ولكننا نعرف ان $س^{٢} = ٢ج ص$ ؛ اذن

$٢ ج ص > ج نق$ ، او $ص > \frac{نق}{٢}$. وهكذا، عرفنا بان القيام بهذه اللعبة المحيرة، بنجاح تام ، يتطلب انشاء « انشوطة الشيطان » ، بحيث تكون قمة القسم الماثل من الطريق ، اعلى من قمة الانشوطة باكثر من $\frac{١}{٢}$ نصف قطرها . ان زاوية ميل الطريق لا تلعب دورا فى هذه الحالة . والشىء المهم هنا ، ان تكون نقطة بداية حركة الدراجة ، اعلى من قمة الانشوطة باكثر من $\frac{١}{٤}$ قطرها . ان هذا الحساب لا يأخذ تأثير قوة الاحتكاك فى الدراجة ، فى الاعتبار . وتعتبر السرعتان فى كل من النقطتين حـ و ب ، متساويتين . لذا لا يجب ان يكون الطريق طويلا جدا ، والمنحدر قليل الميل .

وعندما يكون المنحدر قليل الميل ، تصبح سرعة الدراجة عند وصولها الى نقطة ب ، اقل من سرعتها فى نقطة حـ ، وذلك نتيجة لتأثير الاحتكاك .

واذا كان قطر الانشوطة مثلا ، ١٦ م ، يجب على راكب الدراجة ان يبدأ بالانحدار من ارتفاع لا يقل عن ٢٠ م . اما اذا لم يكن هذا الشرط متوفرا ، فلن يستطيع راكب الدراجة ، مهما تفنن ، ان يقوم بدورة كاملة فى « انشوطة الشيطان » ، لانه سوف يسقط الى الاسفل قبل ان يصل الى قمة الانشوطة .

ويجب ان نلاحظ ، بان الراكب عند القيام بهذه اللعبة ، لا يحرك السلسلة ، بل يترك الدراجة لتأثير قوة الجاذبية . انه لا يستطيع الاسراع او الابطاء من حركة الدراجة ، و لا يجب عليه ان يفعل ذلك . ان كل ما يجب عليه عمله ، هو المحافظة على سيره فى وسط الطريق الخشبى ، لان اقل انحراف ، يعرض الراكب الى الخروج عن ذلك الطريق والسقوط على الارض .

ان سرعة الدوران فى الانشوطة كبيرة جدا ، فعندما يبلغ قطر الانشوطة ١٦ م ، تستغرق الدورة حول الانشوطة ٣ ثوان . وسرعة الدوران هذه ، تعادل سرعة قدرها ٦٠ كم/ساعة ! ان التحكم فى الدراجة المنطلقة بمثل هذه السرعة ، يعتبر بطبيعة الحال عملا صعبا . ولكننا لا نحتاج الى القيام بهذا العمل ، حيث يمكن الاعتماد بثقة تامة على قوانين الميكانيكا . وهناك كراس وضعه احد راكبى الدراجات المحترفين ، نجد فيه حديثا بهذا الخصوص ، حيث يقول المؤلف : « ان لعبة الدراجة هذه ، لا تشكل خطرا بحد ذاتها ، اذا كان الحساب مضبوطا وكان تصميم الجهاز جيدا وقويا . ان خطر اللعبة يكمن فى راكب الدراجة نفسه . فاذا ارتجفت يده ، او ساوره القلق وفقد الثقة بنفسه ، او اصيب بالدوار فجأة ، عندئذ يمكن ان نتوقع كل شىء » .

ان لعبة « الانشوطة الخاملة » المعروفة ، وغيرها من الحركات البهلوانية فى الجو ، مبنية على نفس القاعدة السابقة . والاشياء التى تلعب الدور الرئيسى فى لعبة « الانشوطة الخاملة » ، هى تسارع تحليق الطيار فى رسم الاقواس فى الجو ، ومهارة الطيار وخبرته فى قيادة الطائرة .

نقص فى الوزن

اعلن احد الظرفاء ذات مرة ، انه يعرف طريقة لغبن الزبائن فى وزن المشتريات ، بدون ان يلجأ الى اية حيلة . وسر هذه الطريقة يتلخص فى شراء الحاجيات من البلدان الواقعة على خط الاستواء ، وبيعها فى البلدان القريبة من القطبين الشمالى او الجنوبى . والمعروف منذ قديم الزمان ، ان وزن الاشياء عند خط الاستواء ، اقل من وزنها عند القطبين . ان الشىء الذى يزن ١ كجم عند خط الاستواء ، يزداد وزنه بمقدار ٥ جم ، بعد نقله الى القطب . ولكن يجب فى هذه الحالة الا نستخدم ميزانا عاديا ، بل ميزانا زنبركيا مدرجا ، مصنوعا عند خط الاستواء ، والا فلن نحصل على اية فائدة ، لان وزن الشىء سيزيد ، ويزيد معه وزن السنجة بنفس المقدار .

ولا اعتقد بان التجارة بهذه الطريقة ، يمكن ان تغنى احدا من الناس ، ولكن ذلك الظريف كان محقا فى الواقع . ان قوة الجاذبية تزداد فى الواقع ، كلما ابتعدنا عن خط الاستواء . وسبب ذلك ، هو ان الجسم الموجود عند خط الاستواء ، يرسم عند دوران الارض ، دوائر واسعة جدا ، وكذلك لان الكرة الارضية منتفخة عند خط الاستواء .

ان السبب الرئيسى لنقصان الوزن ، يعود الى دوران الارض ، الامر الذى يجعل وزن الجسم عند خط الاستواء، يقل عن وزنه عند القطبين بمقدار $\frac{1}{290}$. ويكون الفرق فى الوزن عند نقل الجسم من خط عرض الى آخر ، ضئيلا جدا بالنسبة للاجسام الخفيفة . اما بالنسبة للاجسام الثقيلة جدا ، فيصبح ذلك الفرق جديرا بالاعتبار . واظن ان القارئ لا يعرف بان القاطرة البخارية ، التى تزن ٦٠ طنا فى موسكو ، يزداد وزنها بمقدار ٦٠ كجم عند وصولها الى مدينة ارخانجلسك الواقعة فى شمال الاتحاد السوفييتى ، ويقل وزنها بمقدار ٦٠ كجم عند وصولها الى مدينة اوديسا ، الواقعة فى الجنوب .

وقد مرت فترة من الزمن ، كان يشحن فيها كل عام ٣٠٠٠٠٠ طن من الفحم الحجرى ، من جزيرة شبيتزبيرجن الى الموانئ الجنوبية البعيدة . فاذا فرضنا ان هذه الكمية شحنت الى احد الموانئ الواقعة عند خط الاستواء ، لوجدنا ان وزنها سينقص بمقدار ١٢٠٠ طن ، لو اعدنا وزنها بميزان زنبركى منقول من تلك الجزيرة الى هذا الميناء .

والبارجة التى تزن ٢٠٠٠٠ طن فى ميناء ارخانجلسك ، يقل وزنها بمقدار ٨٠ طنا ، عند وصولها الى المياه الاستوائية ، ولكن هذا النقصان لا يكون ملموسا ، وذلك لنقصان وزن الاجسام الباقية تبعا لذلك ، وبضمنها مياه المحيط * بطبيعة الحال .

ولو دارت الكرة الارضية حول محورها ، اسرع مما تدور فى الوقت الحاضر ، مثلا لو لم يدم اليوم الواحد ٢٤ ساعة ، بل دام ، ٤ ساعات فقط ، لكان الفرق فى وزن

---

* ولهذا السبب يكون حجم الماء ، الذى تزيحه الباخرة فى البحار الاستوائية ، مساويا لحجم الماء الذى تزيحه فى البحار القطبية ، بالرغم من انها تصبح اخف وزنا فى البحار الاستوائية. ولكن الماء المزاح يصبح اخف وزنا ايضا ، بنفس المقدار .

الاجسام عند خط الاستواء وعند القطبين ، اكبر مما هو عليه الآن بكثير . وعندما يدوم اليوم الواحد ٤ ساعات فقط ، نرى مثلا ، ان السنجة التى تزن ١ كجم عند القطبين ، لا تزن اكثر من ٨٧٥ جم عند خط الاستواء . وهذه تقريبا ، نفس ظروف الجاذبية ، التى نجدها على كوكب زحل ، حيث يزيد وزن الاجسام الواقعة بالقرب من خط استواء الكوكب المذكور بمقدار $\frac{1}{6}$ ، بعد نقلها الى احد قطبيه .

وبما ان تسارع الجذب المركزى ، يتناسب طرديا مع مربع السرعة ، فيصبح من السهل حساب السرعة ، التى يجب ان تدور بها الارض عند خط الاستواء ، لكى يزيد ذلك التسارع بمقدار ٢٩٠ مرة ، اى لكى يتعادل مع قوة الجاذبية . ويتم ذلك اذا اصبحت الارض تدور بسرعة ، تزيد على سرعتها الحالية بمقدار ١٧ مرة (١٧×١٧= =٢٩٠ تقريبا) . وفى مثل هذه الحالة ، تتوقف الاجسام عن الضغط على مساندها (مرتكزاتها) . وبعبارة اخرى ، لو كانت الارض تدور حول محورها ، اسرع مما تدور الآن بمقدار ١٧ مرة ، لما كان للاجسام اى وزن عند خط الاستواء ! وكان نفس الشئ سيحدث على كوكب زحل ، لو زادت سرعة دورانه بمقدار ٢٫٥ مرة ، عما هى عليه الآن .

الفصل الرابع

الجاذبية الارضية

هل ان قوة الجاذبية كبيرة جدا ؟

قال العالم الفلكي الفرنسي الشهير اراغو : « لو لم نلاحظ سقوط الاجسام في كل دقيقة ، لاعتبرنا ذلك ظاهرة مدهشة للغاية » . ان العادة وحدها ، هي التي تجعلنا نشعر بان جذب الارض لكافة الاجسام الموجودة عليها ، هو ظاهرة عادية . ولكن عندما يقال لنا بان الاجسام تجذب بعضها البعض ايضا ، لا نميل الى تصديق هذا القول ، لاننا لا نلاحظ شيئا من هذا القبيل في حياتنا اليومية المعتادة .

وبالفعل ، لماذا لا نشعر بوجود قانون الجاذبية العامة ، بصورة دائمة في الظروف العادية ؟ ولماذا لا نرى كيف تتجاذب كل من المناضد والبطيخات والناس ، مع بعضها البعض ؟ السبب هو ان قوة تجاذب الاجسام الصغيرة مع بعضها البعض ، ضئيلة جدا .

ونقدم الآن مثالا توضيحيا : اذا وقف رجلان على مسافة مترين من بعضهما ، فانهما سيجذبان بعضهما البعض ، ولكن قوة هذا التجاذب ضئيلة جدا ، بحيث تقل عن $\frac{1}{100}$ مليجرام . وهذا يعني ان الرجلين يجذبان بعضهما البعض ، بنفس القوة ، التي تضغط بها سنجة وزنها $\frac{1}{100000}$ جم ، على كفة الميزان .

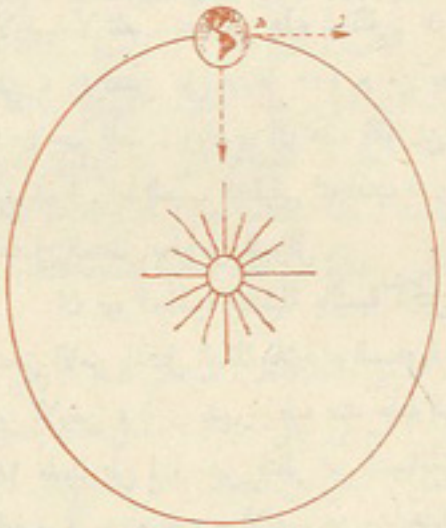
ولكن هذا الوزن الضئيل جدا ، يؤثر على الموازين الشديدة الحساسية ، التي تستخدم في المختبرات العلمية . والمفهوم ان مثل هذه القوة ، لا تستطيع تحريكنا من اماكننا ، لان احتكاك اقدامنا بالارض، يحول دون ذلك . ولكي يتم تحريكنا ، مثلا على ارضية خشبية (قوة احتكاك الاقدام بالارضية تساوى ٣٠٪ من وزن الجسم) ،

يجب استخدام قوة لا تقل عن ٢٠ كجم. ومن المضحك ان نقارن هذه القوة، مع قوة الجاذبية الضئيلة، التي لا تتجاوز $\frac{1}{100}$ مليجرام. و المليجرام يساوى $\frac{1}{1000}$ جم = $\frac{1}{1000000}$ كجم؛ اى ان قوة ٠٫١ مليجرام، تمثل نصف جزء من مليار جزء من القوة اللازمة لتحريكنا من اماكننا!

اذن هل يكون من المدهش حقا ، اذا لم نلاحظ اية اشارة تدل على وجود التجاذب المتبادل بين الاجسام الموجودة على سطح الارض ؟

ان الامر يختلف تماما في حالة عدم وجود الاحتكاك ؛ حيث لا شيء يمنع حتى اضعف قوى الجاذبية ، من التأثير على الاجسام وتقريبها من بعضها . ولكن عند قوة جاذبية قدرها ٠٫١ مليجرام ، يجب ان تكون سرعة تقارب الاجسام ، ضئيلة للغاية . وتدل الحسابات على انه عند عدم وجود الاحتكاك ، فان الشخصين ، اللذين تفصلهما عن بعض مسافة قدرها مترين ، يقتربان من بعضهما بمقدار ٣ سم ، خلال الساعة الاولى ، وبمقدار ٩ سم خلال الساعة الثانية ، وبمقدار ١٥ سم خلال الساعة الثالثة . ويستمر تسارع الحركة ، ولكن اقتراب الشخصين حتى التلاصق ، لايتم الا بعد مرور خمس ساعات فقط .

ويمكن اكتشاف جاذبية الاجسام الموجودة على سطح الارض ، في تلك الحالات ، التي لا تكون فيها قوة الاحتكاك عقبة في هذا السبيل، اى في حالة الاجسام الساكنة .ان الثقل المعلق في خيط، يقع تحت تأثير قوة الجاذبية الارضية . ولهذا يكون الخيط عموديا على الارض ، ولكن اذا وجد بالقرب من هذا الثقل، جسم ثقيل جدا يجذبه



شكل ٤١: ان جاذبية الشمس تحنى مسار الكرة الارضية هـ. ونتيجة لتأثير القصور الذاتي تحاول الكرة الارضية الانطلاق في مدارها على المماس هـ ر.

نحوه ، فان الخيط ينحرف قليلا عن وضعه العمودى ، ويأخذ اتجاه محصلة الجاذبية الارضية وجاذبية الجسم الثقيل بالنسبة للثقل المعلق . وكان اول من لاحظ هذه الظاهرة (عام ١٧٧٥) ، العالم ماسكيلان ، وذلك قرب احد الجبال الكبيرة فى أسكتلندة ؛ حيث قارن الاتجاه العمودى للخيط مع الاتجاه المؤدى الى القطب السماوى ، من كلتا جهتى ذلك الجبل بالذات . وقد امكن بواسطة التجارب الدقيقة ، التى تناولت جاذبية الاجسام الموجودة على الارض ، قياس قوة التجاذب بصورة دقيقة ، وذلك باستخدام موازين خاصة التركيب .

ان قوة التجاذب بين الاجسام الصغيرة ، ضئيلة جدا . وعند زيادة الكتل ، تزداد القوة زيادة طردية مع حاصل ضرب الكتل . ولكن الكثيرين من الناس ، يميلون الى المبالغة فى تقدير هذه القوة . وقد حاول احد العلماء — وهو فى الحقيقة ليس فيزيائيا ، بل من علماء الحيوان — اقناعى بان التجاذب المتبادل ، الذى يحدث كثيرا بين البواخر ، يعود الى قوة الجاذبية الارضية ! ويمكن بحساب بسيط ، ان نثبت بان قوة الجاذبية الارضية لا تلعب دورا فى هذه الحالة : ان البارجتين ، اللتين تزن كل منهما ٢٥٠٠٠ طن ، والواقعتين على مسافة ١٠٠ م من بعضهما ، تتجاذبان مع بعضهما بقوة قدرها ٤٠٠ جم فقط . وواضح ان هذه القوة لن تستطيع تحريك البارجتين فى الماء ، ولو قيد شعرة . اما السبب الحقيقى لتجاذب البارجتين المحيّر ، فسوف نأتى على شرحه فى الفصل المتعلق بخواص السوائل .

ان قوة الجاذبية الضئيلة بالنسبة للكتل الصغيرة ، تصبح محسوسة جدا ، عندما يتعلق الامر بالكتل الهائلة للاجرام السماوية . حتى ان نبتون ، وهو الكوكب البعيد جدا عن الارض ، الذى يدور ببطء عند حافة المنظومة الشمسية ، يجذب الارض بقوة قدرها ١٨ مليون طن ! وبغض النظر عن المسافة الشاسعة ، التى تفصلنا عن الشمس ، فان الفضل فى عدم خروج الارض عن مدارها الثابت ، يعود الى قوة الجاذبية وحدها ، واذا حدث ان انعدمت قوة جاذبية الشمس ، لسبب من الاسباب ، لانطلقت الارض على الخط المماسى لمدارها ، مندفعة نحو اعماق الفضاء الكونى اللامتناهى .

حبل فولاذى من الارض الى الشمس

لنتصور ان قوة جاذبية الشمس الخارقة، قد انعدمت لسبب من الاسباب ، وان الارض ستلاقى مصيرها المحزن ، باندفاعها الازلى فى متاهات الفضاء الكونى ، الباردة المعتمة . ولنتصور كذلك بأن المهندسين قرروا استبدال حبال الجاذبية غير المرئية ، بحبال مادية ، اى ارادوا ببساطة ان يربطوا الارض مع الشمس بحبال فولاذية متينة لتمنع الارض من الخروج عن مدارها الثابت حول الشمس . وليس هناك اقوى من الفولاذ ، الذى يتحمل قوة شد تساوى ١٠٠ كجم/مم ٢. لنفرض ان لدينا عمودا فولاذيا ضخما ، يبلغ قطره ٥ م . ان مساحة مقطع هذا العمود تساوى ٢٠٠٠٠٠٠٠ مم ٢؛ وبالتالى ، فان مثل هذا العمود ، لا ينقطع الا بتأثير قوة قدرها ٢٠٠٠٠٠٠ طن . ولنفرض كذلك ، بان هذا العمود يمتد من الارض الى الشمس بالذات ، ويربط بين هذين الكوكبين . هل يعرف القارئ ، كم كان سيبلغ عدد الاعمدة الجبارة المماثلة ، التى نحتاجها لمنع الارض من الخروج عن مدارها ؟ كنا سنحتاج فى هذه الحالة ، الى مليون مليون عمود ! ولكى نستطيع ان نتصور بوضوح ، هذه الغابة من الاعمدة الفولاذية ، المغروسة بكثافة فى كافة القارات والمحيطات ؛ يجب ان نعلم بانه عند توزيع هذه الاعمدة بصورة منتظمة ، على نصف الكرة الارضية المقابل للشمس ، نجد ان المسافة التى تفصل بين عمود وآخر ، لا تزيد الا قليلا عن قطر العمود بالذات . فاذا استطعنا تصور القوة اللازمة لقطع كافة الاعمدة الفولاذية المذكورة ، لامكننا تكوين فكرة عن القوة الخفية الخارقة للتجاذب المتبادل بين الارض والشمس .

وهذه القوة الهائلة برمتها ، لا تستخدم الا لغرض واحد فقط ، هو حتى مسار الارض ، وذلك بجعلها تنحرف عن المماس ، بمقدار ٣ مم فى كل ثانية . وبفضل ذلك يتحول مسار الكرة الارضية ، الى مدار اهليلجى مقفل . اليس من المدهش ان نحتاج الى مثل هذه القوة الجبارة ، لكى نزحزح الارض بمقدار ٣ مم فقط ، فى كل ثانية ! ان هذا يبين لنا مدى عظمة كتلة الارض ، بحيث تستطيع مثل هذه القوة الجبارة ، ان تزحزحها لمسافة لا تزيد على ٣ مم .

هل يمكن التخلص من قوة الجاذبية ؟

لقد تصورنا الآن ، كيف ستكون عليه الحالة ، عند انعدام الجاذبية المتبادلة بين الشمس والارض ، وقلنا بان الارض اذا تخلصت من قيود الجاذبية الخفية ، فانها ستنطلق فى رحاب الفضاء الكونى اللامتناهى . والآن نتنقل بخيالنا الى وضعية اخرى : ما هى الاشياء التى نتوقع حدوثها لكافة المواد الموجودة على سطح الارض ، فى حالة انعدام الجاذبية ؟ فى هذه الحالة سوف لا يربط هذه المواد بالارض ، اى شئ ، وسوف تنطلق بعيدا فى رحاب الفضاء الكونى ، عند تعرضها لاية دفعة صغيرة . حتى انها لن تحتاج الى اية دفعة ، لان دوران الارض ، سيؤدى عندئذ الى انطلاق كافة المواد غير الوثيقة الاتصال بالارض ، نحو الفضاء الكونى .

وقد اختار الكاتب الانكليزى ويلز ، هذا النوع من الافكار ، ليكون مادة لقصة خيالية ، تحدثنا عن رحلة الى القمر . ويشير الكاتب الحاذق ، فى هذه القصة المعنونة « الناس الاوائل على سطح القمر » ، الى طريقة فريدة للسفر من كوكب الى آخر . ان بطل قصة ويلز ، هو عالم استطاع اختراع سبيكة معينة ، لها خاصية رائعة ، هى اللا انفاذية بالنسبة لقوة الجاذبية . فاذا وضعنا طبقة من هذه السبيكة ، تحت احد الاجسام ، فانه يتخلص من جاذبية الارض ، ولا يتأثر الا بجاذبية الاجسام الاخرى فقط . وقد اطلق ويلز على هذه السبيكة اسم « كيفوريت » ؛ وهو مشتق من اسم مخترعها كيفور .

ويقول ويلز فى قصته : « نعرف ان الجاذبية الارضية ، تنفذ الى جميع الاجسام . ويمكننا ان نحجب اشعة الضوء عن الاجسام ، بوضع حواجز معينة ؛ كما يمكننا باستخدام الصفائح المعدنية ، ان نمنع وصول الموجات الكهربائية للتلغراف اللاسلكى الى الاجسام ؛ ولكننا لا نستطيع باى حاجز كان ، ان نحول دون تأثر الاجسام بجاذبية الشمس ، او بقوة الجاذبية الارضية . اما لماذا لا توجد فى الطبيعة حواجز تمنع نفاذ الجاذبية ، فهو سؤال تصعب الاجابة عليه . ولكن كيفور لم يقتنع بوجود سبب ، يحول دون وجود مادة تمنع نفاذ الجاذبية ، ووجد فى نفسه القدرة على خلق مثل هذه المادة » .

وبامكان كل من يتمتع ولو بشئ من سعة الخيال ، ان يتصور بسهولة ، مدى الامكانيات الخارقة للعادة ، التى تتيحها لنا هذه المادة . فاذا كان ينبغى مثلا ، رفع ثقل ما ، مهما كان كبيرا ، يكفى للقيام بذلك ان نضع تحته صفيحة من تلك المادة ، وسنرى اننا نستطيع رفعه حتى بقشة . وبامتلاك هذه المادة (السبيكة) المدهشة ، تمكن ابطال قصة ويلز من صنع سفينة فضائية ، انطلقت بهم فى رحلة جريئة الى القمر . وكان تركيب تلك السفينة بسيطا جدا . انها لم تكن تحتوى على محركات لانها تتحرك بتأثير قوة جاذبية الكواكب .

واليكم وصف تلك السفينة الخيالية : « تصوروا قذيفة كروية كبيرة الى درجة كافية ، بحيث تتسع لركوب شخصين مع امتعتهما . ولهذه القذيفة غلافان — داخلى مصنوع من زجاج سميك ، وخارجى مصنوع من الفولاذ . وباستطاعة الراكبين ان يأخذا معهما كميات احتياطية من الهواء المكثف والمأكولات المعلبة ، مع اجهزة لتقطير الماء وغير ذلك . وستكون الكرة الفولاذية برمتها ، مطلية من الخارج بطبقة من « الكيفوريت » . اما الكرة الزجاجية الداخلية ، فتكون مؤلفة من قطعة واحدة مصمتة ، تحتوى على فتحة واحدة فقط . وسوف تكون الكرة الفولاذية ، مؤلفة من اجزاء مستقلة ، بحيث يمكن طىّ كل جزء منها مثل الستارة . ويمكن عمل ذلك بسهولة ، باستخدام زنبركات خاصة ؛ وسوف يكون باستطاعة الركاب ، اسدال وطىّ الستائر ، بواسطة التيار الكهربائى ، المار بالاسلاك البلاتينية ، المثبتة فى الغطاء الزجاجى . والان ، لنترك هذه التفاصيل التكنيكية ، لان المسألة الاساسية التى تهمنا ، هى ان الغلاف الخارجى للقذيفة ، سيكون باجمعه مؤلفا من نوافذ ومن ستائر مصنوعة من مادة الكيفوريت . وعندما تكون الستائر كلها ، مسدلة باحكام ، لا يمكن للضوء أو لاى نوع من انواع الطاقة الاشعاعية بصورة عامة ، او لقوة الجاذبية النفاذ الى داخل القذيفة الكروية . ولكن اذا كانت احدى الستائر مفتوحة ، عندئذ سيكون باستطاعة اى جسم ثقيل ، يقع بالصدفة على مسافة بعيدة امام هذه النافذة ، ان يجذب القذيفة نحوه . وهكذا يمكن عمليا ، القيام برحلة فى الفضاء الكونى الى الجهة التى نريدها ، حيث ستجذب القذيفة فى كل مرة ، من قبل كوكب معين » .

كيف طار ابطال ويلز الى القمر

لقد وصف ويلز لحظة انطلاق السفينة الفضائية ، وصفا ممتعا . ان طبقة الكيفوريت الرقيقة ، التى تغطى السطح الخارجى للسفينة ، تجعلها عديمة الوزن تماما . ويعرف القارئ ، بان الجسم العديم الوزن ، لا يمكن ان يستقر بسكون على قاع المحيط الهوائى ؛ ويجب ان يحدث له ، نفس الشئ الذى يحدث لقطعة من الفلين عند وضعها على قاع البحيرة، اذ تطفو بسرعة الى الاعلى نحو سطح الماء. وبنفس الكيفية، تحاول السفينة العديمة الوزن – التى يعمل القصور الذاتى لدوران الارض على دفعها ، بالاضافة الى العوامل السابقة – التحليق الى الاعلى ، حتى تصل الى اقصى حدود المحيط الجوى ، ثم تنطلق بعد ذلك لا تمام رحلتها فى رحاب الفضاء الكونى . وهكذا تم تحليق ابطال القصة ، بنفس الطريقة المذكورة . وعندما وصلت بهم السفينة الى الفضاء الكونى ، اخذوا يفتحون بعض الستائر ثم يسدلونها ويفتحون غيرها ، معرضين باطن السفينة مرة لجاذبية الشمس ، واخرى لجاذبية الارض أو لجاذبية القمر ، وهكذا حتى وصلوا الى سطح التابع الارضى – القمر . وبعد ذلك ، عاد احد الركاب الى الارض ، على متن نفس السفينة .

وسوف لا اقوم الآن بتحليل افكار ويلز ، من حيث اهميتها العملية ، لاننى قد ناقشت ذلك فى موضع آخر من هذا الكتاب * ، واوضحت بانها باطلة اساسا . اما الآن ، فسوف نوافق على آراء ويلز لفترة وجيزة ، ونتتبّع ابطاله فى رحلتهم القمر .

نصف ساعة على القمر

لنرى ما هو شعور ابطال قصة ويلز ، عندما وجدوا انفسهم فى عالم آخر ، تقل قوة جاذبيته عن قوة جاذبية الارض . واليكم هذه الصفحات الطريفة من قصة ويلز « الناس الاوائل على سطح القمر » . والمتحدث هنا ، هو احد رجال الارض ، الذين وصلوا توّا الى القمر : « بدأت بفتح نافذة سقف السفينة ، واخذت بعد ذلك اطل برأسى

* رحلة بين الكواكب .

من تلك النافذة وانا جالس على ركبتىّ . ورأيت على بعد ثلاثة اقدام منى ، ثلوج القمر التى لم يطأها أحد بتاتا . وجلس كيفور على حافة النافذة وقد التفح ببطانية واخذ يمد رجليه بحذر . وبعد ان اصبحت قدماه على ارتفاع نصف قدم من التربة ، تردد برهة ، ثم ما لبث ان هبط على تربة القمر .

اما انا ، فقد اخذت اتتبعه بالنظر من خلال الغلاف الزجاجى للسفينة . وبعد ان خطا عدة خطوات الى الامام ، توقف دقيقة نظر خلالها الى ما يحيط به ، ثم اتخذ قرارا وقفز الى الامام .

وقد شوه الزجاج منظر حركته ، ولكن بدا لى ، أن قفزته كانت فى الحقيقة كبيرة جدا . وقد اصبح كيفور بعدها ، يبعد عنى بمسافة تتراوح بين ٦ – ١٠ م . ثم وقف على صخرة ما ، واخذ يوجه الى بعض الاشارات ، ويحتمل ان يكون قد نادانى – ولكن صوته لم يصلنى ... ! وكيف استطاع كيفور القيام بهذه القفزة ؟ ولما تملكتنى الحيرة ، اخرجت جسمى من النافذة ، وهبطت الى الاسفل ايضا ، ووجدت نفسى على حافة حفرة غطتها الثلوج . وعندما خطوت الى الامام ، وجدت اننى قد قفزت .

وشعرت باننى اطير ، وسرعان ما وجدت نفسى بالقرب من الصخرة ، التى انتظرنى عليها كيفور . وقد تملكتنى رعشة رهيبة ، وانا اتشبث بتلك الصخرة .

وانحنى كيفور وهو ينادينى بصوت عال ، ويطلب منى ان اكون حذرا . اننى نسيت بان الجاذبية على سطح القمر ، اقل بست مرات من الجاذبية الارضية . والامر الواقع بالذات ، هو الذى جعلنى اتذكر ذلك .

وبعد ان ضبطت حركاتى ، صعدت الى قمة الصخرة بحذر ، ومشيت مثلما يمشى المصاب بالروماتيزم ، حتى وصلت الى القمة المشمسة واصبحت بقرب كيفور . وكانت السفينة مستقرة على كثيب ثلجىّ ، آخذ فى الذوبان ، على بعد ثلاثين قدما من البقعة التى نقف عليها .

وقلت لكيفور وانا التفت اليه :

– انظر !

ولكن كيفور كان قد اختفى .

ووقفت برهة بعد ان اذهلتنى المفاجأة ، ثم اردت ان القى نظرة الى ما وراء حافة الصخرة ، فخطوت الى الامام بسرعة ، ونسيت تماما باننى موجود على سطح القمر . ان الجهد الذى بذلته ، كان سيدفعنى الى الامام لمسافة متر واحد فقط ، فى حالة وجودى على سطح الكرة الارضية . اما على سطح القمر ، فقد دفعنى الى الامام ، لمسافة ستة امتار ، وبذلك وجدت نفسى وراء حافة الصخرة ، بمسافة خمسة امتار .

وقد شعرت بالتحليق فى الفضاء ، مثلما يشعر النائم ، عندما يرى فى حلمه انه يسقط فى الهاوية . عند سقوط الانسان على سطح الارض ، فانه يقطع مسافة قدرها ٥ م فى الثانية الاولى من سقوطه ، اما على سطح القمر فانه يقطع مسافة قدرها ٨٠ سم فقط . ولهذا السبب ، هبطت الى الاسفل برفق ، من ارتفاع قدره ٩ م . وقد تهيأ لى بان هبوطى استغرق مدة طويلة ، مع انه لم يدم اكثر من ثلاث ثوان . لقد سبحت فى الهواء وهبطت الى الاسفل برفق ، مثل الزغابة ؛ ولكنى غطت حتى ركبتى فى الكثيب الثلجى ، الموجود فى اسفل الوادى الصخرى .

وصرخت مناديا صديقى وانا انظر حولى :

– كيفور !

ولكننى لم اجد اى اثر له ، فكررت ندائى بصوت عال :

– كيفور !

وفجأة رأيته ؛ كان يضحك وهو يشير الىّ بحركات من يديه ، بينما كان واقفا على صخرة جرداء تبعد عنى مسافة عشرين مترا . ولم استطع سماع صوته ، ولكننى فهمت اشاراته ؛ فقد طلب منى ان اقفز نحوه .

اما انا فقد ترددت فى القيام بذلك ، حيث ظهر لى بان المسافة التى تفصلنى عنه ، كبيرة جدا . ولكننى سرعان ما ادركت بانه طالما كان فى وسع كيفور ، القيام بمثل هذه القفزة ، فسوف استطيع بدورى ان افعل ذلك ايضا . وقفزت بكل قوتى ، منطلقا مثل السهم فى الهواء ، حتى ظننت باننى لن اهبط الى الاسفل ابدا . وقد كان هذا

طيرانا خياليا ، مريعا كما فى الاحلام ، ولكنه فى نفس الوقت ، ممتع الى درجة مدهشة . وقد ظهر بان القفزة كانت قوية جدا ، بحيث جعلتنى اطير فوق رأس صديقى كيفور » .

الرماية على سطح القمر

ان المشهد التالى ، المقتبس من رواية المخترع السوفييتى النابغ قسطنطين تسيولكوفسكى « على سطح القمر » ، يساعدنا على استجلاء شروط الحركة ، تحت تأثير قوة الجاذبية . ان جو الارض ، يعرقل حركة الاجسام فيه ، وبذلك يخفى عنا قوانين السقوط البسيطة ، لانه يجعلها اكثر تعقيدا ، باضافة شروط زائدة اليها .

اما على سطح القمر ، فلا وجود للهواء اطلاقا . وكان من الممكن اتخاذ القمر بمثابة مختبر رائع لدراسة سقوط الاجسام ، لو استطعنا الوصول اليه ، وقمنا باجراء الابحاث العلمية على سطحه .

والآن ، نعود الى مشهد الرواية المذكورة ، ونوضح بان الحديث يجرى بين رجلين على سطح القمر ، يريدان استقصاء حركة الرصاصة ، المنطلقة من البندقية .

« – هل سيشتعل البارود هنا ؟

– ان المواد المتفجرة ، يجب ان تكون اقوى مفعولا فى الفراغ ، مما هى عليه فى الهواء ، وذلك لان الهواء يعرقل تمددها . اما فيما يتعلق بالاكسيجين ، فان المواد المتفجرة لا تحتاج اليه ، لان كل الكمية اللازمة منه ، موجودة فى تركيب هذه المواد بالذات .

– لنضع البندقية بصورة عمودية ، لكى نتمكن من العثور على الرصاصة بالقرب منا ، بعد انطلاقها من البندقية .

وهنا تندلع شرارة من نار ، ويسمع صوت خافت * ، وتحدث هزة خفيفة فى التربة .

---

* لان الصوت ينتقل فى هذه الحالة ، خلال التربة وجسم الانسان ، وليس خلال الهواء ، الذى ليس له وجود على القمر .

ـ اين الحشوة ؟ يجب ان تسقط هنا بالقرب منا .

ـ ان الحشوة طارت مع الرصاصة ، ولا يحتمل ان تنفصل عنها الا بصعوبة ، وذلك لان جو الارض وحده ، هو الذى يعرقل لحاقها بالرصاصة ؛ اما هنا فحتى الزغب يهبط الى الاسفل ويستطلق الى الاعلى ، بنفس قوة هبوط وانطلاق الحجر . خذ زغابة ـ ريشة ـ نائتة من مخدة ما ، وسوف آخذ انا كرة من حديد الزهر . وسترى ان باستطاعتك ان ترمى احد الاهداف البعيدة ، بهذه الزغابة ، وتصيبه بسهولة ، كما اصيبه انا بهذه الكرة . واستطيع عندما تكون الجاذبية قليلة ، ان ارمى الكرة الى مسافة ٤٠٠ م ، وتستطيع بدورك رمى الزغابة الى نفس المسافة ايضا . وفى الحقيقة ، لن تقتل احدا ما ، حتى انك عندما ترميها لن تشعر بانك ترمى شيئا من يدك . والآن لنرم قذائفنا بكل ما لدينا من قوة ـ وقتى لا تختلف كثيرا عن قوتك ـ على هدف واحد ، وليكن مثلا ، ذلك الحجر الجرانيتى الاحمر ...

ان الزغابة سبقت الكرة الحديدية قليلا ، كما لو كانت متأثرة بعاصفة قوية .

ـ ما هذا ؟ لقد مضت ثلاث دقائق على اطلاق الرصاصة ، ومع ذلك لم تسقط لحد الان !

ـ لننتظر دقيقتين اخريين ؛ ربما تعود الرصاصة الينا بعد ذلك .

وبعد مضى دقيقتين بالفعل ، شعرنا بهزة خفيفة فى التربة ، ورأينا الحشوة تسقط على مقربة منا .

ـ لقد استغرق طيران الرصاصة زمنا طويلا ! ما هو الارتفاع الذى وصلت اليه ؟

ـ انها وصلت الى ارتفاع سبعين كيلومترا . وهذا الارتفاع يعود الى قلّة الجاذبية ، والى انعدام مقاومة الهواء » .

والآن لنتحقق من هذا الكلام . اذا اعتبرنا ان سرعة الرصاصة فى لحظة انطلاقها من سبطانة البندقية ، بلغت ٥٠٠ م/ثا ، وهو رقم متواضع (لان سرعة انطلاق الرصاصة من البنادق الحديثة تزيد على ذلك بمرة ونصف) ، فانها سترتفع فوق سطح الارض ، فى حالة انعدام المحيط الجوى ، الى مسافة تساوى :

$$ع = \frac{س^{٢}}{٢ج} = \frac{٥٠٠^{٢}}{١٠ \times ٢} = ١٢٥٠٠ \text{ م} ،$$

اى الى مسافة ١٢ر٥ كم. اما على سطح القمر ، حيث تكون قوة الجاذبية أضعف من ذلك بست مرات ، فنعوض عن ج بالرقم $\frac{١٠}{٦}$. وبذلك يكون الارتفاع الذى تصل اليه الرصاصة ، مساويا للمقدار :

$$١٢٥٠٠ \times ٦ = ٧٥ \text{ كم} .$$

بئر ليس لها قرار

اننا لا نعلم حتى الان ، الا شيئا قليلا جدا مما يحدث فى بواطن الارض العميقة . ويتصور بعض الناس ان هناك كتلة منصهرة ، تقع على عمق مائة كيلومتر من قشرة الارض الصلبة ؛ ويرى الاخرون بان الكرة الارضية برمتها ، هى كتلة صلبة حتى المركز . ومن الصعوبة تأكيد هذه الاراء بصورة قاطعة ، لان أعمق بئر لا تمتد فى باطن الارض الى أكثر من ٧ر٥ كم ، وأعمق منجم استطاع الانسان ان يتوغل فيه ، يقع على عمق ٣٣٠٠ م من سطح الارض * ، اما نصف قطر الكرة الارضية فيساوى ٦٤٠٠ كم . ولو كان بوسعنا حفر بئر تخترق الكرة الارضية بصورة نافذة ، وتقطعها بامتداد قطرها ، لامكننا عندئذ اعطاء رأى قاطع حول الموضوع . والتكنيك الحديث ، أبعد ما يكون عن امكانية تحقيق مثل هذه الاعمال فى الوقت الحاضر ـ مع ان مجموع أطوال كافة الابار المحفورة فى باطن الارض ، يزيد على طول قطر الكرة الارضية .

وقد كان كل من العالم الرياضى موبيرتوى والفيلسوف فولتير (فى القرن الثامن عشر) ، يحلم بحفر نفق نافذ خلال الكرة الارضية . وبعد ذلك بزمن ، عاودت الفلكى الفرنسى فلاماريون نفس الفكرة ، ولكن بصورة أكثر تواضعا ؛ ونقدم للقراء هنا ، الرسم الذى عرضه فلاماريون مع مقالته المكرسة لهذا الموضوع (شكل ٤٢) .

وبالطبع لم يحدث أى شئ من هذا القبيل لحد الان ؛ ولكننا سنفترض وجود مثل هذه البئر ، التى ليس لها قرار ، لنتمكن من دراسة احدى المسائل الطريفة .

---

* ان فتحة هذا المنجم ، وهو منجم الذهب الموجود فى منطقة بوكسبورج (ترانسفال ـ جنوب افريقيا) ، تقع على ارتفاع ١٦٠٠ م عن سطح البحر ؛ اى ان عمق المنجم يساوى ١٧٠٠ م تحت سطح البحر .

شكل ٤٢ : هل يمكننا ان نحفر فى هذا الموضع بئرا تخترق الكرة الارضية على امتداد قطرها ؟

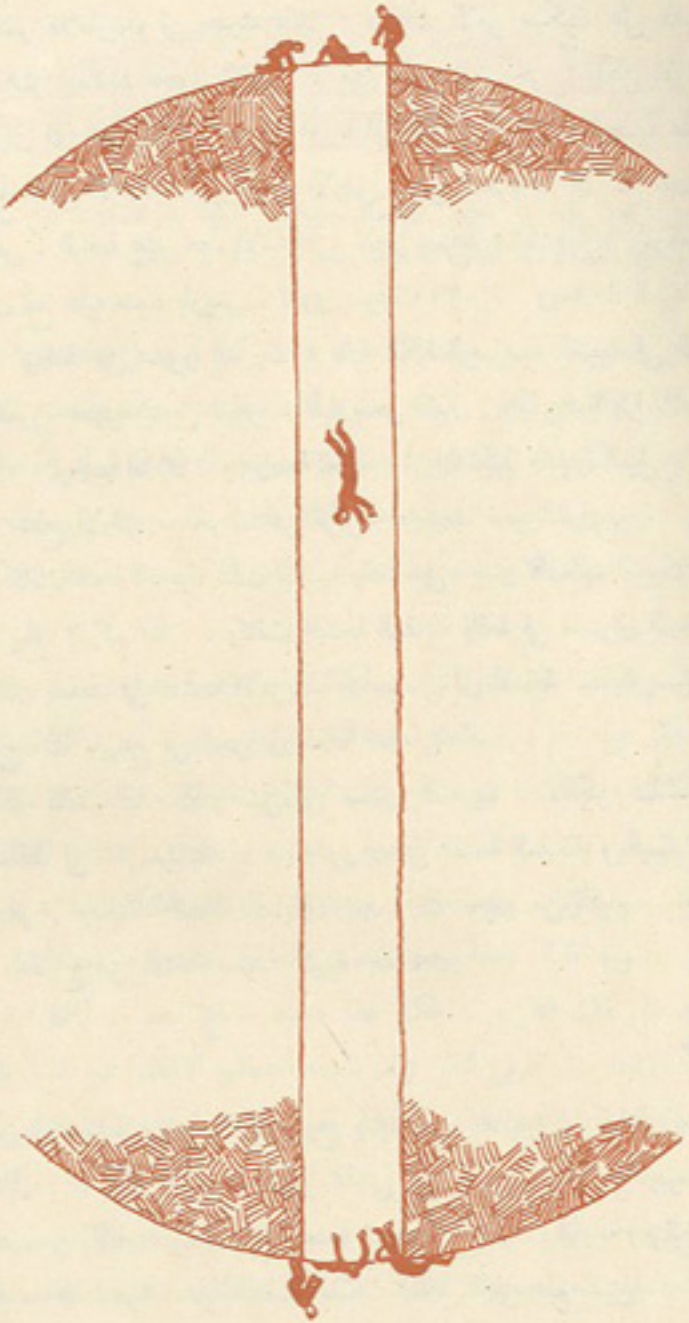
والآن لنسأل القارئ : ما هى الاشياء التى تتوقع ان تحدث لك ، فى حالة سقوطك فى مثل هذه البئر التى ليس لها قرار ؟ (سوف نتجاهل مقاومة الهواء ، موقتا) . وهنا لا يمكنك ان تصطدم بالقاع وتتهشم ، لان البئر ليس لها قاع — اين ستستقر اذن ؟

هل ستستقر فى مركز الارض ؟ بالطبع لا ، ذلك لانه عند وصولك الى المركز ، تكون سرعة سقوط جسمك قد بلغت حدا كبيرا جدا (٨ كم/ثا) ، الامر الذى يجعل وقوفك فى تلك النقطة ، شيئا مستحيلا . وهكذا سوف تستمر فى سقوطك الى الاسفل ، مع تخفيف سرعة السقوط تدريجيا ، الى ان تصل الى مستوى حافات فتحة البئر المقابلة . وهنا يجب عليك ان تتشبث قويا بحافة البئر ، والا سقطت فيها مرة ثانية وعدت ادراجك الى الفتحة الاولى . واذا لم تستطع فى هذه المرة ايضا ان تتشبث بشئ ما ، فسوف تعاود السقوط ثانية ، وتبقى على هذه الحالة من الذهاب والاياب ، الى ما لانهاية . وهذا هو نفس الشئ الذى توكده قوانين الميكانيكا ، القائلة بان الجسم فى هذه الحالة (عند اهمال مقاومة الهواء فى داخل البئر) يجب ان يتأرجح بين الفتحتين باستمرار * .

ما هى المدة التى كانت ستستغرقها عملية السقوط ذهابا وايابا ؟ كانت هذه العملية ستستغرق ٨٤ دقيقة و ٢٤ ثانية ، اى ساعة ونصف تقريبا .

---

* اما عند وجود مقاومة الهواء ، فان التارجح سيهدأ بالتدريج ، وينتهى الامر بتوقف الجسم فى مركز الارض .



شكل ٤٣ :اذا سقط الانسان فى بئر تخترق الكرة الارضية وتمر مركزها من فسوف يتأرجح فى داخل البئر من طرف الى آخر بلا توقف ، وسوف يستغرق ٨٤ دقيقة لقطع المسافة بين طرفى البئر فى كل مرة .

ويستمر فلاماريون فى حديثه قائلا : « كان الامر سيكون على هذه الحالة ، لو حفرت البئر بامتداد محور الارض ، من قطب الى آخر . ولكن اذا نقلنا فتحة البئر الاولى الى اى خط عرض اخر فى اوربا او اسيا او افريقيا ، فيجب علينا فى هذه الحالة ان نأخذ فى الاعتبار تأثير دوران الارض . ومن المعروف ان كل نقطة من نقاط سطح الارض ، الواقعة عند خط الاستواء ، تدور بسرعة ٤٦٥ م/ثا ، والواقعة على خط العرض الذى تقع عليه مدينة باريس ، تدور بسرعة ٣٠٠ م/ثا . وبما ان السرعة المحيطية تزداد كلما ابتعدنا عن محور الدوران ، فان الكرة الرصاصية المرمية فى البئر مثلا ، لا تسقط بصورة عمودية ، بل تنحرف قليلا نحو الشرق . واذا حفرنا بئرا بلا قاع ، عند خط الاستواء ، فيجب اما ان تكون واسعة للغاية ، او ان تكون شديدة الميل ، لان الجسم الساقط من سطح الارض سينحرف عن مركزها ، متبعدا نحو الشرق .

واذا كانت فتحة الدخول لتلك البئر ، واقعة على احدى هضاب امريكا الجنوبية ، على ارتفاع يبلغ ٢ كم مثلا ، وكانت الفتحة المقابلة واقعة فى مستوى المحيط ، فان الشخص الذى يسقط فى الفتحة الامريكية ، سيصل الى الفتحة المقابلة بسرعة كبيرة ، تجعله يخرج منها ويرتفع فى الجو الى مسافة قدرها ٢ كم .

اما اذا كانت الفتحتان واقعتين فى مستوى المحيط ، لأمكن عندئذ ان نمسك الشخص الساقط فى البئر من يده ، عند خروجه من الفتحة المقابلة ، حيث تكون سرعته مساوية للصفر . وبالنسبة للحالة السابقة، يجب ان نحذر من القيام بمسك يد ذلك المسافر ، الخارج من الفتحة بسرعة كبيرة جدا » .

طريق وهمى

صدر ذات مرة فى مدينة بتربورج (لينينجراد حاليا) ، كراس يحمل العنوان الغريب التالى : « سكة حديدية للتسيير الذاتى بين مدينتى بتربورج وموسكو — رواية خيالية تتألف من ثلاثة فصول ، لم تنته بعد » . وقد اقترح مؤلف الرواية رودنيخ ، مشروعا طريفا ، نقدمه هنا ليتعرف عليه هواة التناقضات الظاهرية فى علم الفيزياء .

شكل ٤٤ : اذا حفرنا نفقا بين مدينتى لينينجراد وموسكو ، لرأينا بان القطارات التى تسير فى داخله ذهابا وايابا ستتحرك بتأثير وزنها الذاتى ، دونما حاجة الى قاطرات لسحبها .

يتلخص المشروع « فى مد نفق طوله ٦٠٠ كم ، يصل عاصمتى روسيا بخط مستقيم تماما ، يمتد فى باطن الارض . وبهذا الشكل ، سوف يستطيع الانسان لاول مرة فى التاريخ ، ان يسافر على طريق مستقيم ، ويتجنب الطرق الملتوية ، التى يسلكها حتى الآن » . (يريد المؤلف ان يقول بان كافة الطرق الموجودة على سطح الارض ، مقوسة تبعا لتقوس سطح الارض ، بينما سيكون النفق المقترح ، مستقيما تماما — حيث يمر بالوتر) .

ولو أمكن حفر مثل هذا النفق ، لكانت له خاصية مدهشة ، لا يتصف بمثلها اى طريق آخر فى العالم . وتتلخص هذه الخاصية فى حتمية سير كافة أنواع العربات سيرا ذاتيا (بدون محركات) فى داخل ذلك النفق . ان نفق لينينجراد — موسكو ، يشبه تماما تلك البئر التى اخترقت الكرة الارضية برمتها ، مع فارق واحد هو انه لا يمر بقطر الارض ، بل يمر بالوتر . وفى الحقيقة ، عندما ننظر الى الشكل ٤٤ ، يبدو لنا كأن النفق محفور بصورة أفقية، وهذا يجعلنا نتصور بان قوة الجاذبية سوف لا تؤثر على القطار ولا تدحرجه على ذلك الطريق . ولكن هذا مجرد خداع بصر ، لاننا اذا قمنا ذهنيا بمد أنصاف الاقطار الى طرفى النفق (ان اتجاه أنصاف الاقطار هو نفس اتجاه الخط الرأسى) ، لأدركنا عندئذ بان النفق لم يحفر بصورة عمودية على الخط الرأسى ، اى انه ليس افقيا ، ولكنه مائل .

وفى مثل هذه البئر المائلة ، يجب ان يرجح الجسم الى الامام والى الخلف ، متأثرا بقوة الجاذبية ، مع محاولته الدائمة للالتصاق بالقاع . واذا مددنا فى داخل النفق

سكة حديدية ، فان العربات سوف تندحرج ذاتيا على تلك السكة ، حيث سيلعب وزن العربات ، دور القاطرة الساحبة . وفى بداية الامر ، سيتحرك القطار بصورة بطيئة جدا . ومع مرور كل ثانية ، تزداد سرعة القطار الذاتى الحركة ، حتى تصل بعد مدة قصيرة ، الى حد لا يتصوره العقل ، بحيث تصبح مقاومة الهواء لحركة القطار محسوسة . ولكننا سوف لا نفكر الان (مؤقتا) ، بهذه العقبة المزعجة ، التى تحول دون تحقيق الكثير من المشاريع المغرية ، وسوف نقوم بمتابعة سير القطار . عندما يمر هذا القطار المندفع فى منتصف النفق ، تكون سرعته قد وصلت الى حد كبير للغاية — اكبر من سرعة انطلاق قذيفة المدفع بعدد كبير من المرات — بحيث يمكنه باندفاعه هذا ، الوصول الى الطرف الاخر للنفق تقريبا . ولولا وجود الاحتكاك ، لما ذكرنا هنا كلمة « تقريبا » ، ولوصل القطار من لينينجراد الى موسكو باندفاعه الذاتى ، دون ان يحتاج الى قاطرة . ويشير الحساب الى ان الوقت الذى سيستغرقه القطار المذكور فى قطع النفق من طرف الى آخر ، هو نفس الوقت الذى كان سيستغرقه سقوط الشخص الى مركز الارض ، خلال نفق محفور يمر بقطرها ويصل بين قطبيها ، اى ٤٢ دقيقة و١٢ ثانية . ومن الغريب جدا ، ان هذا الوقت لا يعتمد على طول النفق ؛ فان الانتقال خلال نفق موسكو — لينينجراد ، او نفق موسكو — فلاديفستوك ، او نفق موسكو — ملبورن ، كان سيستغرق نفس الوقت المذكور * .

وكان نفس الشىء الذى حدث للقطار ، سيحدث لكل من الترولى وعربة النقل والسيارة ، وغيرها من وسائل النقل الاخرى . والحق يقال ، ان هذا الطريق الوهمى ، يعمل بوضعيته الثابتة ، على تسيير كافة وسائل النقل من احد طرفيه الى الطرف الاخر ، بسرعة لا يمكن تصورها !

---

* ويمكننا ان نذكر هنا حقيقة اخرى لا تقل طرافة عن ذلك ، وهى تتعلق بالبشر التى ليس لها قرار : ان الوقت الذى يستغرقه السقوط ذهابا وايابا ، لا يعتمد على حجم الكوكب ، بل يعتمد على كثافته فقط .

انظر الى الشكل ٤٥ ، الذى يمثل ثلاث طرق لحفر ومد الانفاق ، ثم عيّن النفق الذى تعتقد بأنه محفور بصورة أفقية !

انه ليس النفق العلوى ولا السفلى ، بل هو النفق الاوسط ، المار بالقوس ، الذى يشكل فى كافة نقاطه زوايا قائمة مع اتجاهات الخطوط الرأسية (او انصاف أقطار الكرة الارضية) . وهذا هو النفق الافقى بالذات — لان تقوسه يطابق تقوس سطح الارض تماما .

وعادة ، تحفر الانفاق الطويلة ، بالطريقة المبينة فى أعلى الشكل ٤٥ ، على هيئة خطوط مستقيمة ، بحيث تكون نقاط النفق الطرفية — أطرافه — مماسة لسطح الارض . وهذا النفق يرتفع فى البداية الى الاعلى قليلا ، ثم ينزل بعد ذلك الى الاسفل . ولا يركد الماء فى مثل هذا النفق ، بل يجرى ذاتيا الى الاسفل نحو الاطراف .

واذا حفر النفق بصورة أفقية تماما ، لأصبح النفق الطويل مقوسا ، ولما تمت عملية تصريف الماء بصورة تلقائية ، وذلك لان الماء سيكون فى حالة توازن فى كل نقطة من نقاط ذلك النفق . وعندما يزيد طول النفق على ١٥ كم (ان طول نفق سيمبلون مثلا ، يبلغ ٢٠ كم) ، لا يستطيع الشخص الواقف عند احد طرفيه رؤية الطرف الثانى . ان هذا الشخص سيرى سقف النفق من الداخل فقط ، وذلك لان النقطة المركزية لمثل هذا النفق ، أعلى من نقاطه الطرفية بمقدار ٤ م .

شكل ٤٥ : ثلاث طرق لحفر الانفاق التى تخترق الجبال .

وأخيرا ، اذا حفرنا نفقا على هيئة خط مستقيم ، يصل بين نقطتيه النهائيتين ، فسيكون لطرفيه ميل خفيف الى الاسفل ، نحو المركز . وسوف لا تتم عملية تصريف الماء

فى هذه الحالة ، بل سيحدث العكس ، اذ سيتجمع الماء فى أكثر أقسام النفق انخفاضا ، وهو المركز . الا ان الشخص الواقف عند احد طرفى هذا النفق ، سيتمكن من رؤية الطرف الثانى . والرسوم المبينة فى الشكل السابق ، توضح حقيقة ما ذكرناه (ينتج من حديثنا هذا ان جميع الخطوط الافقية تكون فى الواقع منحنية ، ولا وجود للخطوط الافقية المستقيمة . اما الخطوط العمودية ، فانها على العكس من ذلك ، يجب ان تكون مستقيمة فقط) .

الفصل الخامس | السفر فى داخل قذيفة المدفع

فى ختام حديثنا عن قوانين الحركة وقوة الجاذبية نأتى الى بحث تلك الرحلة الخيالية الى القمر ، التى وصفها جول فيرن وصفا ممتعا فى روايتيه المعنونتين « من الارض الى القمر » و « حول القمر » . اذا كان القارئ مطلعا على هاتين الروايتين ، فلا بد وان يتذكر بالطبع ، ان اعضاء نادى المدفع فى بالتيمور ، قرروا بعد انتهاء الحرب الاهلية فى امريكا الشمالية ، ان يصنعوا مدفعا عملاقا ، ويطلقوا بواسطته قذيفة مجوفة الى القمر ، بعد جلوس الركاب فى داخلها .

اليست هذه فكرة خيالية ؟ قبل كل شى ، هل يمكننا ان نكسب الجسم ، سرعة كافية ، تجعله يغادر سطح الارض ولا يعود اليه ثانية ؟

جبل نيوتن

ويتحدث حول هذا الموضوع ، العالم العبقرى الشهير نيوتن ، مكتشف قانون الجاذبية العام ، فى مجموعة ابحاثه المعنونة (المبادئ الرياضية لعلم الفيزياء) ، فيقول :

« ان الحجر المرمى فى الهواء ، لا يسقط الى الارض بخط مستقيم ، ولكنه ينحرف عن ذلك متأثرا بقوة الجاذبية ، ويرسم بسقوطه خطا منحنيا . واذا رمينا الحجر بسرعة كبيرة ، فانه سيصل الى مسافة ابعد ؛ ويمكن فى هذه الحالة ان يرسم قوسا يبلغ طوله ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ ميل ، واخيرا يخرج عن نطاق الارض ولا يعود اليها ثانية . لنفرض ان أ ع ب (شكل ٤٦) ، تمثل سطح الارض ، وان م — المركز . اما الاقواس

شكل ٤٦ : كيفية سقوط الاحجار المرمية من قمة الجبل بسرعة هائلة فى الاتجاه الافقى .

حـ د ، حـ ل ، حـ ع و حـ هـ فتمثل الاقواس التى يرسمها الجسم المقذوف فى اتجاه افقى ، من قمة احد الجبال العالية جدا ، بسرعة متزايدة . وسوف نهمل مقاومة الهواء فى هذه الحالة ، اى سنفرض ان الهواء غير موجود مطلقا . وعندما تكون السرعة الابتدائية قليلة نسبيا ، يرسم الجسم الساقط ، القوس حـ د ، وعند سرعة اكبر — القوس حـ ل ، وعند سرع اكبر من ذلك — القوسين حـ ع وحـ هـ . وعند وصول السرعة الى حد معين ، يدور الجسم حول الكرة الارضية برمتها ، ويعود ثانية الى قمة الجبل ، التى قذف منها . وبما ان سرعة الجسم عند عودته الى نقطة انطلاقه الاولى ، سوف لا تقل عن السرعة التى قذف بها فى البداية ، فان الجسم سيستمر فى حركته على نفس المدار » .

واذا فرضنا وجود مدفع على قمة هذا الجبل الخيالى ، فان القذيفة التى ستطلق منه بسرعة معينة ، لن تسقط على الارض مطلقا ، بل ستبقى مستمرة فى دورانها حول الكرة الارضية ، بلا توقف .

وباجراء بعض العمليات الحسابية البسيطة * ، نرى ان الظاهرة المذكورة ، تحدث عندما تصل سرعة الجسم الى ٨ كم/ثا تقريبا . وبعبارة اخرى ، فان القذيفة المنطلقة من المدفع بسرعة قدرها ٨ كم/ثا ، تخرج من نطاق الارض نهائيا ، وتدور حولها مثل قمر اصطناعى . كما ان سرعة دورانها ستزيد بسبع عشرة مرة ، على سرعة دوران اية نقطة على خط الاستواء ، وستدور حول الارض دورة واحدة فى كل ساعة واربع وعشرين دقيقة .

---

* راجع الفصل الثانى من « الفيزياء المسلية » — الكتاب الاول .

اما اذا اطلقت القذيفة بسرعة تزيد على السرعة المذكورة هنا ، فسوف لا يكون مدارها حول الارض دائريا ، بل سيكون اهليلجيا ممطوطا نوعا ما ، بعد ان تبتعد عن سطح الارض بمسافة شاسعة . وعند سرعة ابتدائية اكبر من السرعة السابقة ، تنفصل القذيفة نهائيا عن الكرة الارضية ، وتسبح فى الفضاء الكونى الخارجى . وتحدث هذه الظاهرة عندما تصل السرعة الابتدائية للقذيفة الى ١١ كم/ثا تقريبا . (ان القذائف التى نقصدها فى هذه الاحاديث ، هى القذائف التى تتحرك فى الفراغ لا فى الهواء) .

ولنرى الآن ، هل يمكن القيام برحلة الى القمر ، بالوسائل التى اقترحها جول فيرن ، ام لا . ان القذيفة المنطلقة من احدث المدافع ، تكتسب فى الثانية الاولى من انطلاقها ، سرعة لا تزيد على ٢ كم/ثا . وهذه السرعة تقل عن السرعة التى يحتاجها الجسم للتحليق الى القمر بخمس مرات . وقد فكر ابطال قصص جول فيرن ، بانهم اذا صنعوا مدفعا عملاقا ، وعبأوه بشحنة كبيرة من المواد المتفجرة ، فسيكون باستطاعتهم اطلاق القذيفة بسرعة كافية للوصول الى القمر .

المدفع الخيالى

وهكذا عكف اعضاء نادى المدفع فى بالتيمور ، على صنع مدفع عملاق ، طوله ٢٥٠ م ، وثبتوه فى الارض بصورة عمودية . وصنعوا طبقا لذلك ، قذيفة هائلة تحتوى فى داخلها على حجرة للركاب . وقد بلغ وزن هذه القذيفة ٨ اطنان . ثم عبأوا المدفع بشحنة من المواد المتفجرة ، بلغ وزنها ١٦٠ طنا . ونتيجة للانفجار — كما يقول مؤلف الرواية — تكتسب القذيفة سرعة قدرها ١٦ كم/ثا ، ولكن احتكاكها بالهواء يخفض السرعة المذكورة الى ١١ كم/ثا . وهكذا ، بوصول هذه القذيفة الى الفضاء الخارجى ، تصبح سرعتها كافية للتحليق الى القمر .

هذا هو المشروع الذى يقدمه لنا جول فيرن . والآن ما هى وجهة نظر الفيزياء ، حول هذا الموضوع ؟

ان مشروع جول فيرن قابل للانتقاد ، ولكن ليس من الناحية التى تتبادر عادة الى ذهن القارئ . اولا — يمكن ان نثبت بان المدافع التى تستخدم البارود ، لن تطلق

القذيفة بسرعة تزيد على ٣ كم/ثا ، مهما كلف الامر . وثانيا – ان جول فيرن لم يأخذ في الاعتبار مقاومة الهواء ، التي تصبح عند هذه السرعة الهائلة ، كبيرة جدا بحيث تغيّر مسار القذيفة تغييرا تاما .

وبالاضافة الى ذلك ثمة عدد من الاعتراضات المهمة على مشروع التحليق الى القمر في داخل قذيفة المدفع .

ان المحاذير الاساسية تنجم في هذه الحالة ، عن المصير الذي سيلاقيه الركاب انفسهم . ويجب الا يفكر القارئ، بان الركاب سيتعرضون للخطر اثناء رحلتهم من الارض الى القمر . فاذا تمكنوا من البقاء على قيد الحياة ، حتى اللحظة التي تلي انطلاق القذيفة من فوهة المدفع ، فانهم سوف لا يتعرضون بعد ذلك لاي خطر اثناء الرحلة . ان السرعة الهائلة ، التي سيندفع بها الركاب في الفضاء الكوني وهم في داخل القذيفة ، سوف لا تشكل اي خطر بالنسبة لهم، كما لا تشكل سرعة دوران الارض حول الشمس – وهي اكبر من سرعة القذيفة – اي خطر بالنسبة لسكان الكرة الارضية .

القبعة الثقيلة

ان اخطر لحظة بالنسبة لركاب القذيفة المذكورة ، تتمثل في تلك الاجزاء المئوية القليلة من الثانية ، التي يستغرقها مرور القذيفة في سبطانة المدفع . وسبب ذلك ، هو ان سرعة القذيفة يجب ان تزداد في تلك الفترة الزمنية الضئيلة ، من الصفر الى ١٦ كم/ثا . وليس عبثا ان تخبرنا القصة بان الركاب انتظروا لحظة اطلاق القذيفة بهلع شديد . وقد كان باربيكين على حق تماما ، عندما اكد بان لحظة اطلاق القذيفة ستكون على درجة كبيرة من الخطورة بالنسبة للركاب ، لا تقل عن تلك التي كان سيتعرض لها الركاب ، لو لم يكونوا في داخل القذيفة ، بل امامها . وفي الحقيقة ، كانت ارضية القذيفة – في لحظة انطلاقها – ستصدم الركاب من الاسفل ، بنفس القوة التي تصدم بها القذيفة اي جسم يقف في طريقها . اما ابطال القصة ، فلم يأبهوا بهذا الخطر ، وفكروا بان اسوأ ما سيتعرضون اليه من المخاطر ، لا يتعدى احتقان الدم في الرأس ...

ولكن الامر في الحقيقة ، اخطر من ذلك . ان القذيفة تتحرك في داخل سبطانة المدفع بتسارع كبير ، وتزداد سرعتها بتأثير الضغط المستمر ، للغازات المتحررة عند انفجار البارود . وتزداد هذه السرعة خلال جزء ضئيل من الثانية ، من الصفر الى ١٦ كم/ثا . وللسهولة ، نفرض بان زيادة السرعة تتم بصورة منتظمة . عندئذ نرى ان مقدار التسارع اللازم لرفع سرعة القذيفة في فترة زمنية ضئيلة للغاية من صفر الى ١٦ كم/ثا، يصل في هذه الحالة الى ٦٠٠ كم/ثا٢ ،تقريبا (طريقة الحساب مبينة على الصفحة ١٠٦).

ونستطيع ادراك المخاطر المهلكة ، التي تختفي وراء هذا الرقم ، اذا تذكرنا بان التسارع العادي لقوة الجاذبية على سطح الارض ، يساوي ١٠ م/ثا٢ فقط* .

ونستنتج من ذلك ، ان كل جسم موجود في داخل القذيفة ، سيقوم في لحظة الانطلاق ، بالضغط على ارضية الصالة ، بقوة تزيد على وزن ذلك الجسم بمقدار ٦٠٠٠٠ مرة . وبعبارة اخرى ، سيشعر الركاب بان وزنهم قد زاد بعشرات الآلاف من المرات ! وكان الركاب سيتهشمون في الحال ، تحت تأثير مثل هذه الجاذبية الهائلة . وكان وزن قبعة السيد باربيكين وحدها ، سيصل في لحظة الانطلاق الى ١٥ طنا – الامر الذي يجعل مثل هذه القبعة ، كافية لتحطيم صاحبها تماما .

ولكن جول فيرن قد ذكر في الحقيقة عددا من الاجراءات ، التي يمكن اتخاذها لتخفيف الصدمة : لقد جهزت القذيفة بمصدات نابضية (زنبركية) وبارضية مزدوجة ، يكون الفراغ الموجود فيها ، مملؤا بالماء . وهذه الاجراءات تؤدي الى تمديد فترة الصدمة ، وبذلك يقل التسارع . ولكن عند وجود قوى هائلة ، كما في هذه الحالة ، تصبح هذه الاجراءات قليلة الفائدة . ولا تقل القوة التي ستؤدي الى تحطيم الركاب على ارضية الصالة ، الا بمقدار ضئيل – ولا يختلف الامر ان تحطم الشخص بضغط قبعة تزن ١٥ طنا ، ام بضغط قبعة تزن ١٤ طنا !

---

* اضف الى ذلك ، بأن تسارع سيارة السباق ، بعد بدء انطلاقها، لا يزيد على ٢ – ٣ م/ثا٢ ، اما تسارع القطار ، المنطلق من المحطة برفق ، فلا يزيد على ١ م/ثا٢ .

ان علم الميكانيكا ، يدلنا على كيفية تخفيف ذلك التسارع المهلك .

ويمكن التوصل الى هذا الغرض ، باطالة سبطانة المدفع ، عددا كبيرا من المرات . ولكن هذه الاطالة ستصل الى حد كبير جدا ، اذا اردنا ان تكون قوة الجاذبية « الصناعية » داخل القذيفة — في لحظة الانطلاق — مساوية لقوة الجاذبية العادية على سطح الارض . ويشير الحساب التقريبي ، الى ان القيام بهذا العمل ، يتطلب منا صنع مدفع يبلغ طوله ٦٠٠٠ كم على اقل تقدير ! وهذا يعني ان مدفع جول فيرن ، سيمتد الى مركز الكرة الارضية . وفي هذه الحالة سيستطيع الركاب التخلص من كافة المضايقات ؛ حيث سيضاف الى وزنهم الاعتيادي ، وزن ظاهري مساو له فقط ، وذلك نتيجة للزيادة البطيئة في السرعة ، وسوف يشعرون بان وزنهم لم يصبح الا ضعف ما كان عليه فقط .

غير ان جسم الانسان قابل لتحمل زيادة الجاذبية عدة مرات ، خلال فترة زمنية قصيرة ، دون ان يصاب بأذى . وعندما ننحدر متزلجين من قمة جبل جليدي الى الاسفل ، ونغير اتجاه حركتنا بسرعة ، فان وزننا يزيد في هذه اللحظة القصيرة ، زيادة ملحوظة . اي ان جسمنا ينضغط ملتصقا بالزلاقة ، بقوة اكبر مما هي عليه في العادة . ان اجسامنا قادرة تماما على تحمل زيادة الجاذبية بمقدار ثلاث مرات .

واذا فرضنا بان الانسان يستطيع — خلال فترة زمنية قصيرة — تحمل زيادة الوزن حتى بمقدار عشر مرات ، دون ان يصاب بأذى (وهي نفس زيادة الوزن ، التي يشعر بها رواد الفضاء عند بدء الانطلاق) ، فسوف نكتفي في هذه الحالة بصنع مدفع يبلغ طوله ٦٠٠ كم « فقط » ! ومع ذلك ، فان هذا لا يحقق لنا اية فائدة . لان التكنيك الحديث عاجز عن توفير الامكانيات ، التي تساعد على صنع مثل هذا المدفع .

وهكذا نرى ان توفر الشروط المذكورة اعلاه فقط ، يجعل من الممكن تحقيق مشروع جول فيرن المغري : التحليق الى القمر في داخل قذيفة المدفع * .

* عندما وصف جول فيرن في روايته المذكورة ، الظروف الجديدة في داخل القذيفة ، اهمل امرا مهما جدا ، اتينا على ذكره بالتفصيل في الكتاب الاول من « الفيزياء المسلية » . ان جول فيرن لم يأخذ

لا بد وان يظهر من بين قراء هذا الكتاب ، من يرغب التأكد بنفسه ، من الحسابات المذكورة اعلاه . ولذلك نقدم الآن تلك العمليات الحسابية ، التي تعتبر صحيحة بصورة تقريبية فقط ، لانها مبنية على افتراضنا بان حركة القذيفة في داخل سبطانة المدفع ، هي حركة منتظمة التسارع (اما في الحقيقة ، فان هذه الحركة تكون غير منتظمة التسارع) .

ولاجراء العمليات الحسابية المذكورة ، سنلجأ الى استخدام الصيغتين التاليتين ، المتعلقتين بالحركة المنتظمة التسارع :

ان السرعة س ، بعد مرور ن ثانية ، سوف تساوي ت ن ، حيث ت — التسارع . اذن س = ت ن.

والمسافة م المقطوعة في ن ثانية ، تعين بالصيغة التالية :

$$م = \frac{ت ن^{٢}}{٢}$$

وبموجب هاتين الصيغتين ، نعين اولا تسارع القذيفة عند انزلاقها في سبطانة المدفع العملاق .

نعرف من القصة ان طول جزء المدفع ، غير المشغول بالشحنة ، يبلغ ٢١٠ م ، وهذا يمثل الطريق م الذي تقطعه القذيفة .

ونعرف كذلك بان السرعة النهائية (القصوى) هي س = ١٦٠٠٠ م/ثا ، ان معرفة

في الاعتبار ، حالة فقدان الوزن ، التي تتعرض لها كافة الاشياء الموجودة في داخل القذيفة ، بعد الأنطلاق وخلال مدة التحليق باكملها ، وذلك لان قوة الجاذبية تكسب القذيفة وجميع الاجسام الموجودة في داخلها ، تسارعا متساويا — راجع فيما بعد « الفصل الذي لم يفكر جول فيرن في كتابه » .

م وس ، تساعدنا على تعيين قيمة ن ـ المدة التى تستغرقها حركة القذيفة فى داخل ماسورة المدفع (بفرض ان هذه الحركة منتظمة التسارع) .

اذن يكون لدينا فى الحقيقة :

$$س = ت_ن = ١٦٠٠٠ \; ؛ \; ٢١٠ = م = \frac{ت_ن \times ن}{٢} = \frac{١٦٠٠٠ \times ن}{٢} = ٨٠٠٠ ن$$

ومنها ينتج ان : $ن = \frac{٢١٠}{٨٠٠٠} = \frac{١}{٤٠}$ ثانية تقريبا .

ويظهر من ذلك، ان القذيفة انزلقت فى داخل المدفع لفترة زمنية تساوى $\frac{١}{٤٠}$ ثانية !

والآن نعوض عن $ن = \frac{١}{٤٠}$ فى الصيغة $س = ت ن$ ، فنجد ان :

$$١٦٠٠٠ = \frac{١}{٤٠} \times ت \; ؛ \; اذن \; ت = ٦٤٠٠٠٠ \; م/ثا^٢ .$$

وهذا يعنى ان تسارع القذيفة عند حركتها فى داخل سبطانة المدفع ، يساوى ٦٤٠٠٠٠ م/ثا^٢ ، اى اكبر من تسارع الجاذبية بمقدار ٦٤٠٠٠ مرة . اذن كم يجب ان يبلغ طول المدفع ، لكى يصبح تسارع القذيفة ، اكبر من تسارع الجسم الساقط بعشر مرات فقط (اى يصبح مساويا لـ ١٠٠ م/ثا^٢) ؟

وهذه المسألة ، هى عكس المسألة التى انتهينا من حلها الآن . ونحن نعرف المعطيات التالية : ت = ١٠٠ م/ثا^٢ ؛ س = ١١٠٠٠ م/ثا (عند عدم وجود مقاومة الهواء ، تكون هذه السرعة كافية) .

ومن الصيغة $س = ت ن$ ، نجد ان :

$$١١٠٠٠ = ١٠٠ ن$$

اذن $ن = ١١٠$ ثانية .

ومن الصيغة $م = \frac{ت_ن^٢}{٢} = \frac{ت_ن \times ن}{٢}$ نجد ان طول المدفع يجب ان يساوى :

$$\frac{١١٠ \times ١١٠٠٠}{٢} = ٦٠٥٠٠٠ م = ٦٠٠ كم .$$

وبهذه العمليات الحسابية ، نكون قد حصلنا على الارقام التى تحطم المشاريع المغرية لابطال جول فيرن * .

* ان كافة المناقشات المذكورة فى هذا الفصل ، وكذلك الحسابات المبينة ، هى صحيحة بلا شك . اما من الناحية العملية ، فان مسألة تحليق الانسان الى القمر والى الكواكب الاخرى ، فقد حلت كما يظهر بمساعدة الصواريخ ، ونستطيع التأكيد هنا ، بان القارئ سيصبح فى المستقبل القريب ، شاهد عيان لهذه الاحداث الرائعة . وخير دليل على ذلك ، هى تلك المنجزات الرائعة لعلم الفضاء فى الاتحاد السوفييتى ، ومنها الهبوط الاوتوماتى للسفن الفضائية على كل من القمر والزهرة ، وتحليق السفن الفضائية المتعددة المقاعد ، والتلاحم الاوتوماتى فى الفضاء الخارجى . . . وغيرذلك .

الفصل السادس

خواص السوائل والغازات

البحر الذى لا يغرق فيه احد

يقع هذا البحر فى بلاد معروفة بتاريخها العريق ، وهى فلسطين ، ويطلق عليه اسم البحر الميت ، الذى يعرفه الجميع . ان مياه هذا البحر مالحة جدا ، بحيث لا يمكن لاى كائن حى ان يعيش فيها . ومناخ فلسطين الحار ، الذى يندر فيه هطول الامطار ، يساعد على تبخر مياه سطح البحر بكثرة . وفى هذه الحالة ، يتبخر الماء النقى وحده ، وتبقى الاملاح فى البحر ، وتزيد من ملوحة المياه ، حيث تصل الى نسبة ٢٧٪ واكثر وتزداد الملوحة بازدياد العمق على عكس معظم البحار والمحيطات التى تصل نسبة الملوحة فيها الى ٢ او ٣ بالمئة (بالوزن) . وهكذا ، فان ربع محتويات البحر الميت ، تتكون من الاملاح المذابة فى مياهه . وتقدّر الكمية الكلية للاملاح الموجودة فيه ، باربعين مليون طن . ويرجع سبب الملوحة الزائدة لمياه البحر الميت ، الى احدى خواصه المميزة ، وهى ان مياه هذا البحر اثقل كثيرا من مياه البحار الاعتيادية . ولهذا يستحيل الغرق فى مثل هذا السائل الثقيل ، لان جسم الانسان اخف من ذلك السائل .

ان وزن جسم الانسان ، اقل بقدر ملحوظ ، من وزن نفس الحجم من الماء الزائد الملوحة .

اذن تبعا لقانون طفو الاجسام (قانون الاجسام الطافية) ، يستحيل ان يغرق الانسان فى البحر الميت ؛ لانه سوف يطفو على صفحته ، كما تطفو بيضة الدجاجة فى الماء المالح (فى حين انها تغطس فى الماء العذب) . وقد قام الكاتب الامريكى

الساخر مارك توين ، بزيارة البحر الميت ، وكتب وصفا هزليا للاحاسيس غير الطبيعية ، التى انتابته وانتابت رفاقه اثناء سباحتهم فى المياه الثقيلة للبحر الميت :

« لقد كانت سباحة مضحكة ، حيث لم يكن بوسعنا ان نغوص فى الماء . ويستطيع الانسان هنا ان يتمدد على صفحة الماء بكل طوله ، وهو مستلق على ظهره ، مع وضع يديه على صدره ، وسيكون القسم الاكبر من جسمه خارج الماء . ويمكنه عند ذلك ان يرفع رأسه تماما ... وفى استطاعته ان يستلقى على ظهره براحة تامة ، مع رفع ركبتيه نحو ذقنه ومسكهما بيديه ولكنه سرعان ما ينقلب ، لان ثقل الرأس سيرجح . ويستطيع الانسان الانتصاب على رأسه ، حيث سيكون القسم الممتد من منتصف صدره الى اخمص قدميه ، خارج الماء . ولكنه لن يستطيع البقاء على هذه الوضعية ، لمدة طويلة من الوقت . ولن يستطيع السباحة على ظهره وقطع اية مسافة ملحوظة ، لان قدميه ستكونان خارج الماء ، الامر الذى يجعله يدفع الماء بعقبيه فقط . واذا سبح الانسان على بطنه ووجهه الى الاسفل ، فسوف لن يتحرك الى الامام ، بل الى الوراء . اما الحصان ، فهو عديم الاستقرار ، بحيث لا يستطيع السباحة او الوقوف فى البحر الميت ؛ لانه ينبطح على جانبه فى الحال » .

شكل ٤٧ : شخص مضطجع على سطح البحر الميت (نسخه من صورة فوتوغرافية) .

ويظهر فى الشكل ٤٧ ، احد الاشخاص وقد تمدد على سطح البحر الميت بصورة مريحة نوعا ما . والوزن النوعى الكبير للماء يمكن ذلك الشخص المتمدد بهذه الصورة ، من قراءة كتاب تحت مظلة تقيه من اشعة الشمس المحرقة .

ان لمياه خليج قره بوغاز جول * ، الواقع فى بحر قزوين ، نفس الخواص الغريبة السابقة ، كما ان لمياه بحيرة ألتون ، التى تحتوى على ٢٧٪ من الاملاح ، خواص لا تقل غرابة عما سبق ذكره .

ان المرضى الذين يستحمون فى حمامات الماء المالح ، يشعرون بنفس الشعور السابق تقريبا . واذا كانت ملوحة الماء كبيرة جدا ، مثلا فى المياه المعدنية لحمامات ستارايا روسا فى الاتحاد السوفييتى ، يتوجب على المريض ان يبذل جهدا لا يستهان به ليستقر على قاع الحمام . وقد طرقت سمعى شكوى صدرت عن احدى النساء المستحمات فى حمامات ستارايا روسا ، حيث قالت تلك المرأة بدهشة « ان المياه تدفعها بقوة من الحمام » . ويظهر من قولها انها كانت تميل الى اتهام ادارة المصيف بالتسبب فيما يحدث لها !

ان درجة ملوحة المياه تختلف من بحر لاخر ، وطبقا لذلك يختلف حجم الجزء الغاطس من السفينة فى مياه البحار المختلفة . وربما يكون بعض القراء ، قد شاهدوا على جانب السفينة بالقرب من خط الماء ، « علامة لويد » التى تبين حد الانغمار فى المياه المختلفة الكثافة . وعلى سبيل المثال فان علامة التحميل المبينة فى الشكل ٤٨ ، تدل على مستوى حد الانغمار ، الذى يكون كما يلى :

FW — فى الماء العذب ؛
IS — فى المحيط الهندى صيفا ؛
S — فى الماء المالح صيفا ؛
W — فى الماء المالح شتاء ؛
WNA — فى المحيط الأطلسى الشمالى شتاء .

* ان الوزن النوعى لمياه خليج قره بوغاز جول يساوى ١٫١٨ .

شكل ٤٨ : علامة التحميل على جانب الباخرة . وتوضع العلامات فى مستوى خط الماء . وقد رسمت هذه العلامات بصورة واضحة ومكبرة فى الزاوية اليمنى العليا من الشكل . ويجد القارئ معانى الحروف اللاتينية فى نص البحث .

واخيرا ، تجدر الاشارة الى وجود نوع من الماء ، يكون فى حالته النقية عند خلوه من اية شوائب ، اثقل من الماء العادى بقدر محسوس . اذ يبلغ وزنه النوعى ١٫١ ، اى اكثر من الوزن النوعى للماء العادى بمقدار ١٠٪ . وهكذا ، نجد ان الشخص الذى يستحم فى مسبح مملوء بمثل هذا الماء ، لا يغرق الا بصعوبة حتى لو كان لا يجيد السباحة . وقد اطلق على هذا الماء اسم « الماء الثقيل » ، وصيغته الكيميائية هى D_2O (ان مركب الايدروجين الداخل فيه ، يتألف من ذرات اثقل بمرتين من ذرات الايدروجين العادى ويرمز اليه بالحرف D) . ويحتوى الماء العادى على كمية قليلة جدا من « الماء الثقيل » ؛ حيث يوجد فى كل سطل من الماء العادى ، حوالى ٨ جم من الماء الثقيل .

ان الماء الثقيل من النوع D_2O (هناك ١٧ نوعا من الماء الثقيل) يستخلص فى الوقت الحاضر بصورة نقية تقريبا ؛ حيث لا يحتوى الا على ٠٫٠٥٪ من الماء العادى على وجه التقريب .

ويستخدم الماء الثقيل على نطاق واسع فى الصناعات الذرية ، وخاصة فى المفاعلات الذرية . ويستخلص الماء الثقيل من الماء العادى ، بطريقة صناعية وبكميات كبيرة جدا .

كيف تعمل محطمة الجليد ؟

ننصح القارئ باجراء التجربة التالية عند استحمامه فى الحمام : قبل ان تخرج من المغطس ، انزع السدادة عن فتحة خروج الماء ، على ان تبقى ممددا فى قعر المغطس فى هذه الاثناء . ستشعر بان جسمك سيصبح اثقل فاثقل ، كلما زاد حجم

الجزء الموجود منه خارج الماء . وعند ذلك سوف يقتنع القارئ بشكل واضح جدا ، بان ما فقده الجسم من وزنه فى الماء (تذكر كيف شعرت بخفة جسمك وانت فى داخل المغطس) ، سيسترجعه مرة اخرى حالما يصبح الجسم خارج الماء . وعندما يتعرض الحوت لمثل هذه التجربة بصورة لا ارادية ، وذلك اثناء الجزر حيث يصبح فجأة فى مياه ضحلة ، تكون العاقبة مميتة بالنسبة له ؛ اذ يتحطم الحوت تحطما تاما تحت تأثير وزنه الهائل . وليس هناك ما يدعو الى العجب عندما نرى ان الحيتان تعيش فى المياه فقط ؛ حيث ان قوة الماء الدافعة تنقذ الحيتان من التأثير المميت لقوة الجاذبية .

ان لهذا القول علاقة وثيقة بعنوان الموضوع الحالى ، حيث ان عمل كاسحة الجليد مبنى على نفس الظاهرة الفيزيائية المذكورة اعلاه ، لان جزء محطمة الجليد الموجود خارج الماء ، لا يكون متوازنا مع قوة الماء الدافعة ، وبذلك يصبح له نفس الوزن ، الذى يزنه على اليابسة . ولا يجب التفكير بان محطمة الجليد تقطع الجليد اثناء سيرها بواسطة الضغط المتواصل لمقدمتها . لان هذا العمل ليس من اختصاص محطمات الجليد ، ولكن من اختصاص قاطعات الجليد . ان طريقة العمل هذه ، ملائمة فقط بالنسبة للجليد الذى يكون سمكه قليلا نوعا ما .

ان محطمات الجليد الحقيقية ، مثل محطمة الجليد الذرية « لينين » ، تعمل بطريقة مختلفة تماما . ان المحركات القوية لمحطمة الجليد تجعل مقدمتها تسير بثقلها على سطح الجليد ، ولاجل ذلك يصمم جزء المقدمة الواقع تحت الماء ، بحيث يكون شديد الميلان . وبعد ظهور مقدمة السفينة فوق سطح الماء ، تكتسب وزنها الكامل ، الذى يكون بمثابة ثقل هائل يعمل على تحطيم الجليد . ولزيادة ضغط المقدمة على الجليد ، كثيرا ما يضخ الماء الى صهاريج موجودة فى مقدمة محطمة الجليد . ويستمر عل محطمة الجليد على هذا المنوال ، الى ان تصادف جليدا سميكا جدا . ان محطمة الجليد الذرية « لينين » تسير بلا توقف ، فى المناطق التى يصل فيها سمك الجليد الى مترين . اما الجليد الذى يزيد سمكه على ذلك ، فيحطم بعملية الدك التى تحدثها محطمة الجليد . وفى هذه الحالة ترجع محطمة الجليد الى الوراء ، ثم تنطلق باقصى سرعتها وتصدم حافة

الجليد بكتلتها الضخمة . وهنا لا يكون الوزن هو المؤثر ، انما تؤثر الطاقة الحركية للسفينة المنطلقة ، التى تتحول الى ما يشبه القذيفة المدفعية ذات السرعة غير الكبيرة ، ولكن بكتلة صدمية هائلة . ان ركام الجليد الذى يبلغ ارتفاعه عدة امتار ، يحطم بقوة الضربات المتكررة للمقدمة الصلبة لمحطمة الجليد . ونقدم فيما يلى وصفا لعمل محطمة الجليد « سيبيرياكوف » ، كما جاء على لسان احد بحارتها القطبيين ، المدعو ماركوف ، اثناء القيام بالرحلة الاستكشافية المشهورة عام ١٩٣٢ :

« بدأت « سيبيرياكوف » معركتها وسط مئات الكتل الجليدية المتراصة ، ووسط حقول مترامية من الجليد . وخلال ٥٢ ساعة متواصلة ، كان مؤشر تلغراف المكنة يقفز من عبارة « الى الوراء باقصى سرعة » الى عبارة « الى الامام باقصى سرعة » . وكانت « سيبيرياكوف » اثناء ذلك تصطدم بالجليد بقوة وتحطمه بمقدمتها ، وتصعد فوقه وتكسره ثم تنسحب ثانية الى الوراء لتعاود الكرّة . وهكذا ، الى ان شقت طريقها بصعوبة وسط الجليد الذى بلغ سمكه ثلاثة ارباع المتر . وفى كل صدمة جديدة ، كنا نقطع فى الجليد مسافة تساوى ثلث طول السفينة » .

اين تستقر السفن الغارقة ؟

هناك فكرة منتشرة حتى بين البحارة ، مفادها ان السفن الغارقة فى المحيط ، لا تصل الى قاعه ، ولكنها تتعلق بلا حراك على مسافة معينة من القاع ، حيث يكون الماء طبقا لذلك ، اكثر كثافة نتيجة لضغط الطبقات الموجودة فوقه .

وعلى ما يبدو ، فان مؤلف رواية « عشرون ألف فرسخ تحت الماء » كان هو الآخر يعتقد بهذه الفكرة . ففى أحد فصول هذه الرواية ، يصف جول فيرن سفينة غارقة ، معلقة بلا حراك فى الماء ؛ وفى فصل آخر يحدث القراء عن السفن التى « تنخر وهى معلقة بحرية فى الماء » .

ولكن هل هذه الفكرة صحيحة ؟

يبدو ان هناك سببا معينا يدعو الى الاعتقاد بهذه الفكرة . ذلك لان ضغط الماء فى اعماق المحيط يصل فى الحقيقة الى درجات هائلة . فعلى عمق ١٠ م ، يضغط الماء بقوة قدرها ١ كجم على كل ١ سم٢ من سطح الجسم المغمور فيه . وعلى عمق ٢٠ م يصل الضغط الى ٢ كجم ؛ وعلى عمق ١٠٠ م يصبح ١٠ كجم . اما على عمق ١٠٠٠ م فيصل الضغط الى ١٠٠ كجم . وفى اماكن كثيرة من المحيط ، يكون عمق الماء مساويا لعدة كيلومترات ، ويصل هذا العمق فى اعمق مناطق المحيط الهادئ* ، الى اكثر من ١١ كم (منخفض مارياني) . ويمكن بسهولة ، حساب الضغط الهائل الذى يجب ان يتحمله كل من الماء والاجسام المغمورة فيه ، عند تلك الاعماق الكبيرة جدا . واذا غمرنا قنينة زجاجية فارغة ، مسدودة بالفلين ، الى عمق كبير فى داخل الماء ، لرأينا عندما نخرجها من الماء ثانية ، ان ضغط الماء قد دفع سدادة الفلين الى داخل القنينة الزجاجية حتى امتلأت بالماء تماما .

ويحدثنا عالم جغرافية المحيطات المشهور جون ميرى ، فى كتابه المعنون « المحيط » ، عن التجربة التالية التى اجراها : أخذ ثلاثة أنابيب زجاجية مختلفة الحجوم ، وسدها باحكام من كلا طرفيها ، ثم لفها بقطعة من الجنفاص (الخيش) ، ووضعها فى داخل اسطوانة نحاسية ، ذات فتحات تسمح بدخول الماء بحرية . وبعد ذلك غمر الاسطوانة فى البحر الى عمق ٥ كم . وعند اخراج الاسطوانة من الماء ، لوحظ ان قطعة الجنفاص كانت مملوءة بكتلة تشبه الثلج ، ظهر انها تتألف من مسحوق الزجاج . ان القطع الخشبية التى غمرت الى ذلك العمق ، أصبحت بعد اخراجها ، تغطس فى الماء مثلما يغطس الطوب (الآجر) ، وذلك لانها تعرضت الى ضغط هائل .

ويبدو انه من الطبيعى ان نتوقع بان هذا الضغط الهائل ، يجب ان يجعل الماء الموجود على اعماق كبيرة ، كثيفا جدا بحيث لا تغطس فيه حتى المواد الثقيلة ، كما لا تغطس السنجة الحديدية فى الزئبق . ولكن هذه الفكرة لا أساس لها من الصحة بتاتا . وتشير التجربة الى ان الماء ، كبقية السوائل الاخرى ، قليل التأثر بالضغط . واذا ضغطنا بقوة قدرها ١ كجم على ١ سم٢ من سطح الماء، فانه لن ينضغط الا بمقدار $\frac{١}{٢٢٠٠٠}$

من حجمه الكلى ، وينضغط بنفس المقدار تقريبا كلما زاد الضغط بمقدار ١ كجم ، وهكذا . واذا اردنا ان تصل كثافة الماء الى الدرجة التى تجعل قطعة الحديد تطفو على سطحه ، لا بد وان نرفع كثافته الى ثمانية اضعاف ما هى عليه فى العادة. وبهذه المناسبة ، نشير الى ان رفع كثافة الماء الى الضعف فقط ، اى تقليل حجمه الى النصف ، يتطلب ضغطا قدره ١١٠٠٠ كجم/سم٢ (على فرض وجود العمق الذى يناسب مثل هذا الضغط الهائل). والحصول على مثل هذا الضغط ، يتحقق بوجود الماء على عمق ١١٠ كم تحت سطح المحيط !

ويتضح من ذلك ، انه ليس هناك اى مجال للحديث عن زيادة كثافة الماء الموجود فى اعماق البحار ، ولو زيادة طفيفة . ففى اعمق قيعان البحار ، لا تبلغ زيادة كثافة الماء اكثر من $\frac{١١٠٠}{٢٢٠٠٠}$، اى بمقدار $\frac{١}{٢٠}$ من كثافته العادية، اى ٥٪ فقط*. وهذه الزيادة لا تؤثر تقريبا على شروط طفو الاجسام المختلفة فى الماء ؛ لا سيّما وان الاجسام الصلبة المغمورة فى مثل هذا الماء ، ستتعرض هى الاخرى الى نفس الضغط ، وبالتالى تزداد كثافتها ايضا .

ولذلك ليس هناك ادنى شك فى ان السفن الغارقة تستقر فى قاع المحيط . ويقول ميرى « ان كل جسم يغرق فى قدح الماء ، يجب ان يصل الى القاع حتى فى اعمق المحيطات » .

وقد سمعت برأى معارض لهذه الفكرة . ويقول اصحاب الرأى المذكور ، اننا اذا غمرنا قدحا فى الماء بحذر ، بحيث تكون قاعدته الى الاعلى ، فانه سيبقى على هذا الوضع ، وذلك لانه سيزيح من الماء حجما معينا ، يكون وزنه مساويا لوزن القدح .

---

* لقد ظهر نتيجة لتقديرات الفيزيائى الانكليزى تيت ، انه فى حالة انعدام الجاذبية الارضية فجأة ، وفقدان الماء لوزنه ، فان مستوى الماء فى المحيط سيرتفع فى المعدل بمقدار ٣٥ م ، نتيجة لاستعادة الماء المضغوط لحجمه الطبيعى بعد رفع الضغط . وقد لاحظ العالم بيرجى ، انه فى هذه الحالة « ستغطى مياه المحيط ٥٠٠٠٠٠٠ كم٢ من اليابسة ، التى يتوقف وجودها خارج الماء على انضغاطية مياه المحيط ، التى تحيط بها » .

اما القدح المعدنى ، الاثقل ، فيمكن ان يحافظ على نفس الوضع السابق حتى تحت سطح الماء ، بدون ان يهبط الى القاع . وبهذه الكيفية بالذات ، يمكن للطرادة المقلوبة او لاية سفينة اخرى غارقة ، ان تبقى واقفة فى منتصف عمق المحيط . اما اذا كان الهواء محصورا فى بعض غرف السفينة ، فانها ستغطس الى عمق معيّن وتبقى ثابتة فى محلها . وهناك كثير من السفن ، التى تهبط الى القاع وهى فى وضعية مقلوبة ، ومن المحتمل الا يصل البعض منها الى القاع ، بل يبقى معلقا فى اعماق المحيط المظلمة . وفى هذه الحالة تكون اخف دفعة ، كافية لاخراج مثل هذه السفينة عن توازنها ، وقلبها حتى تجعلها تهبط الى القاع بعد ان تمتلئ بالماء . ولكن ، هل من سبيل الى ظهور الدفعات فى اعماق المحيط ، حيث يخيم سكون أزلى ، وحيث لا تتردد حتى اصداء العواصف ؟

ان كل هذه الحجج مبنية على خطأ فيزيائى . ان القدح المقلوب لا يغطس فى الماء ذاتيا ، لانه بحاجة الى قوة خارجية تغمره فيه ، كقطعة الخشب مثلا او القنينة الزجاجية الفارغة . وهكذا تماما ، لا تبدأ السفينة المقلوبة بالغرق ، ولكنها تبقى على سطح الماء . ولا يمكن لهذه السفينة ان تصبح مستقرة فى منتصف الطريق بين سطح المحيط وقاعه .

كيف تحققت احلام جول فيرن وويلز

ان الغواصات الحقيقية فى الوقت الحاضر ، تفوقت حتى على غواصة جول فيرن الخيالية « ناوتيلوس » ، من بعض النواحى . وفى الحقيقة ، فان سرعة الغواصات الحالية ، اقل من سرعة « ناوتيلوس » بمرتين ، حيث تبلغ سرعتها ٢٤ عقدة ، مقابل ٥٠ عقدة بالنسبة لغواصة جول فيرن (العقدة تساوى ١,٨ كم/ ساعة) . كما ان اطول رحلة تستطيع الغواصة الحديثة ان تقوم بها ، هى رحلة حول العالم ؛ بينما قام الكابتن نيمو برحلة اطول من ذلك بمرتين . ولكن من الناحية الاخرى ، لم تزد حمولة « ناوتيلوس » على ١٥٠٠ طن ، وكان طاقمها يتألف من ٢٠ او ٣٠ شخصا فقط ، كما كانت تستطيع

البقاء تحت سطح الماء لمدة لا تزيد على ٤٨ ساعة متواصلة . ان حمولة الغواصة « سوركوف » التابعة للاسطول الفرنسى ، المصنوعة عام ١٩٢٩ ، بلغت ٣٢٠٠ طن ، وكان طاقمها يتألف من ١٥٠ شخصا ، وكان يمكنها البقاء تحت سطح الماء لمدة تصل الى ١٢٠ ساعة متواصلة * .

وقد تمكنت هذه الغواصة من القيام برحلة تحت سطح الماء ، من موانئ فرنسا الى جزيرة مدغشقر ، بدون ان تمر باى ميناء من الموانئ الموجودة على طريقها . وربما كانت اسباب الراحة متوفرة فى الغواصة « سوركوف » ، بصورة لا تقل عما هى عليه فى « ناوتيلوس » .

وقد كانت « سوركوف » تمتاز على غواصة الكابتن نيمو ، بميزة لا تنكر ، وهى وجود حظيرة صامدة للماء على ظهر الغواصة العلوى ، لاجل الطائرات البحرية الاستكشافية . ونشير كذلك الى ان جول فيرن لم يزود « ناوتيلوس » بالبيريسكوب ، الذى يمكّن بحارة الغواصة من مراقبة ما يجرى فوق سطح الماء ، وهم تحت سطحه .

وهناك ناحية واحدة فقط ، ستبقى بموجبها الغواصات الحقيقية متخلفة لمدة طويلة عن الغواصة الخيالية ، التى ابتكرتها قريحة جول فيرن ؛ الا وهى عمق الغوص . ولكن تجدر الاشارة هنا ، الى ان مخيلة جول فيرن قد تعدّت نطاق الحقيقة الى ابعد مدى ، فيما يتعلق بهذه الناحية .

ونقرأ فى احد فصول الرواية ما يلى : « هبط الكابتن نيمو بغواصته الى عمق وصل على التوالى الى ثلاثة ، اربعة ، خمسة ، سبعة ، تسعة وعشرة آلاف متر تحت سطح المحيط » . حتى ان « ناوتيلوس » هبطت ذات مرة الى عمق ليس له مثيل – وقدره ١٦ ألف متر !

---

* ان الغواصات الذرية الحديثة ، توفر لنا حرية اختيار الطرق فى الاعماق المجهولة للبحار والمحيطات. ان احتياطى الطاقة الهائل ، الموجود فى الغواصة ، يساعدها على القيام برحلة طويلة جدا تحت سطح الماء . ان الغواصات الذرية السوفييتية والامريكية، وصلت الى القطب الشمالى وهى تحت سطح الماء . حتى انها قامت برحلات حول العالم ، مع وجودها تحت سطح الماء بصورة مستمرة .

ويتحدث بطل الرواية قائلا :

« شعرت بارتجاج براشم الهيكل الحديدى للغواصة ، وبتقعر صفائحه المعدنية نحو الداخل ، وذلك تحت تأثير ضغط الماء . ولو لم تكن غواصتنا قوية ومتماسكة ، مثل المادة الصلبة المصبوبة ، لانداحت لتوّها ، ولتحولت الى ما يشبه القرص او الرغيف » .

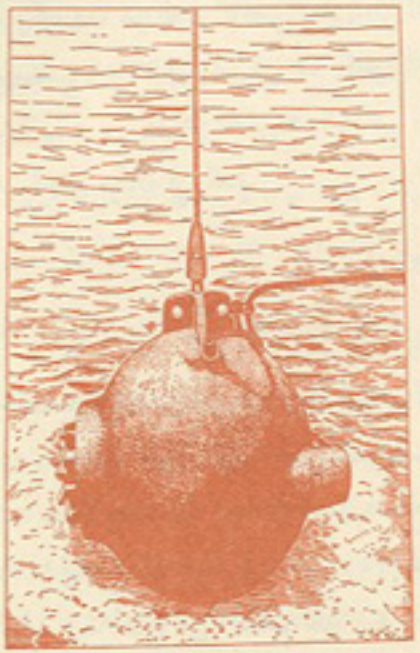
لقد كان هذا الوصف فى محله ، وذلك لان ضغط الماء على عمق ١٦ كم (على فرض وجود مثل هذا العمق فى المحيط) ، يجب ان يساوى

$$\frac{١٦٠٠٠}{١٠} = ١٦٠٠ \text{ كجم/سم}^٢ ،$$

او ١٦٠٠ من الضغوط الجوية الصناعية (المختبرية) . وهذه القوة لا تسحق الحديد المصبوب لكنها لا بد ان تحطم الهياكل الحديدية. ومع ذلك فان علماء جغرافية المحيطات ، لم يتوصلوا لحد الآن الى العثور على مثل هذا العمق . ان المبالغة فى تقدير اعماق البحار ، كانت تسيطر على عقول الناس فى العصر الذى عاش فيه جول فيرن (كتبت الرواية فى عام ١٨٦٩). وسبب تلك المبالغة هو عدم دقة اجهزة وطرق قياس عمق البحار. ففى تلك الايام ، لم تستخدم الاسلاك الفولاذية لقياس العمق ، بل استخدمت حبال القنب ، التى كان احتكاكها بالماء يمنعها من التوغل الى اعماق البحر ، وكان الاحتكاك يزداد بازدياد العمق ؛ واذا وصل الحبل الى عمق كبير جدا ، يزداد الاحتكاك الى درجة كبيرة تمنع الحبل من الهبوط اكثر من ذلك مهما زيد فى طوله : اذ كان الحبل بعد ذلك يشتبك فى داخل الماء ، ويولد انطباعا عن عمق هائل .

ان الغواصات الحديثة يمكن ان تتحمل ضغطا يتراوح بين ٢٥ — ٣٠ ضغطا جويا تقريبا ؛ وهذا يحدد العمق الاقصى لغوصها ، وقدره ٣٠٠ م . وقد امكن النزول الى عمق اكبر من ذلك بكثير ، باستخدام جهاز خاص يسمى بـ « كرة الاعماق » ، وهو مبين فى الشكل — ٤٩ . وهذا الجهاز مخصص لدراسة الحياة فى اعماق المحيطات . والجهاز المذكور ، لا يشبه غواصة جول فيرن « ناوتيلوس » ، ولكنه يشبه كرة اعماق البحار ، التى وصفها الكاتب ويلز فى قصته الخيالية « فى اعماق البحار » . ان بطل هذه القصة

الخيالية ، نزل الى قاع البحر الذى يبلغ عمقه ٩ كم ، فى داخل كرة فولاذية سميكة الجدران . وقد غاصت هذه الكرة بدون ان تربط بسلك ، ولكنها كانت مزودة بثقل يمكن فصله ؛ وبعد وصول الكرة الى قاع المحيط ، تتخلص من الثقل الذى يشدّها الى القاع ، وتتجه بقوة الى الاعلى نحو سطح الماء . وقد تمكن العلماء من النزول الى عمق يزيد على ٩٠٠ م ، وهم فى داخل كرة الاعماق . وتهبط كرة الاعماق من السفينة التى تحملها ، بواسطة سلك فولاذى ، ويكون الشخص الموجود فى داخلها على اتصال تلفونى دائم بالسفينة .



شكل ٤٩ : « كرة الاعماق » الفولاذية ، التى تستخدم للغوص فى اعماق المحيط. وقد تمكن العالم ويليام بيب فى عام ١٩٣٤ ان يصل وهو فى داخل هذه الكرة الى عمق قدره ٩٢٣ م. ويبلغ سمك كرة الاعماق حوالى ٤ سم ، وقطرها يساوى ١,٥ م ، اما وزنها فيبلغ ٢,٥ طن .

ومنذ وقت غير بعيد ، تمّ صنع اجهزة اعماق خاصة — غواصات الاعماق ، لدراسة اعماق البحار فى فرنسا ، اشرف على صنعها المهندس ويلم ، وفى ايطاليا ، حسب التصميم الذى وضعه البروفيسور البلجيكى بيكارد . واهم ما يميّز غواصات الاعماق عن كرات الاعماق ، هو قابليتها للتحرك فى داخل الماء على اعماق كبيرة ، فى الوقت الذى تكون فيه كرات الاعماق ، معلقة فى الاسلاك وعاجزة عن المناورة .

وقد تمكن بيكارد فى البداية ، من الغوص الى عمق يزيد على ٣ كم فى داخل غواصة الاعماق ، ثم تلاه الفرنسيان هيوم وويلم ، حيث وصلا الى عمق قدره ٤٠٥٠ م . وفى شهر تشرين الثانى عام ١٩٥٩ ، وصلت غواصة الاعماق الى عمق قدره ٥٦٧٠ م ،

ولم يكن هذا هو الحد الاقصى بعد . وفى التاسع من كانون الثانى عام ١٩٦٠ ، نزل بيكارد الى عمق ٧٣٠٠ م ، اما فى ٢٣ كانون الثانى ، فقد حطت غواصته على قاع « منخفض ماريانى » ، الواقع على عمق ١١ر٥ كم ! وتشير المعطيات الحديثة الى ان هذا المكان ، هو اعمق مكان فى العالم .

كيف انتشلت محطة الجليد «سادكو»

ان آلاف السفن الكبيرة والصغيرة ، تغرق كل عام فى المحيطات والبحار ، وخاصة فى اوقات الحروب . وقد تم فى السنوات الاخيرة انتشال اثمن السفن الغارقة التى يسهل الوصول اليها . وقد حصل المهندسون والغوّاصون السوفييت ، العاملون فى مؤسسة البعثات الاستكشافية الخاصة تحت سطح الماء ، على شهرة عالمية . اذ استطاعوا ان ينتشلوا بنجاح تام ، ما يزيد على ١٥٠ سفينة ضخمة من السفن الغارقة . وكانت محطمة الجليد « سادكو » من أضخم تلك السفن ، حيث غرقت فى البحر الابيض الشمالى عام ١٩١٦ ، نتيجة لتهاون قبطانها . وبعد مضى ١٧ عاما على غرق محطمة الجليد الممتازة هذه ، تمكن المهندسون والغواصون السوفييت من انتشالها من قاع البحر ، واعادتها الى العمل مرة ثانية .

ان الاسلوب الفنى لانتشال السفن الغارقة ، يعتمد فى اساسه اعتمادا كليا على قانون ارخميدس . فقد حفر الغواصون فى قاع البحر تحت هيكل السفينة الغارقة ، ١٢ نفقا ، ومدّوا فى داخل كل نفق سلسلة فولاذية متينة . وكانت اطراف هذه السلاسل تثبت فى عوامات مغطسة فى الماء الى جانب محطمة الجليد الغارقة . وكان كل هذا العمل قد أنجز على عمق ٢٥ م تحت سطح البحر .

وكانت تلك العوامات (شكل ٥٠) ، تتألف من اسطوانات حديدية مجوفة سدودة للماء ، يبلغ طول كل منها ١١ م وقطرها ٥ر٥ م وقد بلغ وزن كل اسطوانة مجوفة ٥٠ طنا . وباستخدام القوانين الهندسية يمكن بسهولة حساب حجم هذه الاسطوانة ، ويبلغ حوالى ٢٥٠ م٣ . ومن البديهى ان مثل هذه الاسطوانة المجوفة ، يجب ان تطفو على سطح

الماء ؛ لانها تزيح ٢٥٠ طنا من الماء ، بينما لا يزيد وزنها على ٥٠ طنا . وبذلك فان قوتها الدافعة تساوى ٢٥٠ ــ ٥٠ = ٢٠٠ طن . ولتغطيس الاسطوانة وانزالها الى قاع البحر ، تملأ بالماء .

وبعد ان تثبت اطراف السلاسل الفولاذية ، تثبيتا قويا فى تلك العوامات المغطسة (انظر الشكل ٥٠) ، يتم ضخ الهواء المضغوط الى داخل كل منها ، بواسطة خراطيم الهواء . ان الماء الموجود على عمق ٢٥ م ، يضغط بقوة قدرها $\frac{٢٥}{١٠} + ١ = ٥ر٣$ ضغط جوى . ولكن الهواء قد ضخ الى داخل العوامات بقوة قدرها ٤ ضغوط جوية ؛ اذن ، لابد للهواء المضغوط من ازاحة الماء الموجود فى داخل العوامات وطرده الى الخارج . وهنا يبدأ الماء المحيط بهذه العوامات المخففة الوزن ، بدفعها الى سطح البحر بقوة كبيرة جدا ، حتى تطفو على الماء بخفة ، كما يتعلق المنطاد فى الهواء . ان القوة الدافعة المشتركة لهذه العوامات ، عند تفريغها من الماء كليا ، تساوى ١٢×٢٠٠ = ٢٤٠٠ طن . وهذا المقدار اكبر من وزن السفينة الغارقة « سادكو » ، ولذلك تفرغ العوامات من الماء بصورة جزئية ، لكى يتم انتشال السفينة برفق . ومع هذا ، فان عملية الانتشال لم تنجح الا بعد عدة محاولات فاشلة .

شكل ٥٠ : الطريقة التى تم بواسطتها رفع محطمة الجليد « سادكو » . ويبين الشكل المقطع العرضى لمحطمة الجليد والعوامات وسلاسل الرفع .

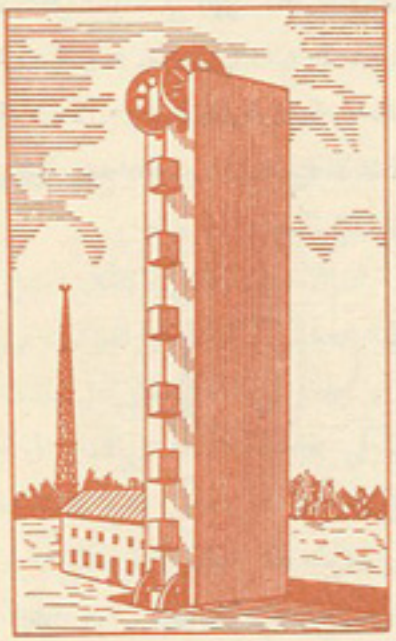
وقد كتب المهندس المشرف على عملية الانتشال المذكورة بوبريتسكى ، ما يلى :

« لقد تعرضت فرقة الانتشال الى اربع حوادث مؤسفة ، قبل ان تنجح فى انجاز هذه العملية. ثلاث مرات ونحن ننتظر ظهور السفينة بقلق ، ولكننا رأينا بدل محطمة الجليد المنتظرة ، العوامات المسطحة القاع وقد شقت طريقها الى سطح الماء بصورة

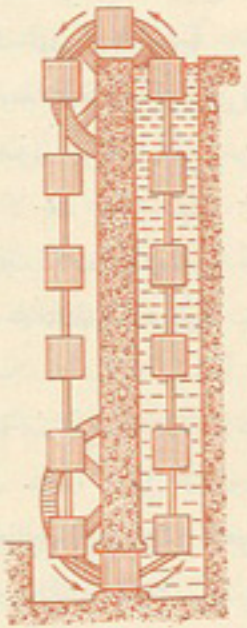
عفوية ، وسط الزبد والامواج الصاخبة ، وقد جرت معها الخراطيم المتقطعة . وقد ظهرت محطمة الجليد على سطح الماء مرتين ، ثم غاصت الى قاع البحر ، قبل ان تطفو بصورة نهائية على سطح الماء » .

محرك مائى «دائم الحركة»

من بين التصاميم العديدة للمحرك « الدائم الحركة » ، كان هناك عدد لا بأس به من التصاميم المبنية على قانون طفو الاجسام فى الماء . وقد كان أحدها على هيئة برج عال مملوء بالماء ، بلغ ارتفاعه ٢٠ م . وقد وضعت فى اعلى البرج وفى اسفله ، بكرات يلتف حولها حبل متين على هيئة سير متواصل . وربط فى هذا السير ١٤ صندوقا مكعبا فارغا ، بلغ ارتفاع كل منها مترا واحدا ، وكانت مصنوعة من صفائح حديدية ، حيث لا ينفذ الماء الى داخلها .



شكل ٥١ : تصميم تخيلى لمحرك مائى « دائم الحركة » .



شكل ٥٢ : تركيب البرج المبين فى الشكل السابق .

والشكلان ٥١ و٥٢ يبينان كلا من المنظر الخارجى للبرج المذكور ، ومقطعه العرضى على التوالى .

والآن ، كيف كان من المتوقع ان يشتغل هذا الجهاز ؟ ان كل من يعرف قانون ارخميدس ، يدرك بانه عند وجود الصناديق فى الماء ستحاول ان تطفو الى السطح . والقوة التى تدفعها الى الاعلى تساوى وزن الماء الذى تزيحه الصناديق المذكورة ، اى وزن متر مكعب من الماء ، مضروبا فى عدد الصناديق المغمورة فى الماء . ويتضح من الشكلين السابقين ان هناك ستة صناديق مغمورة فى الماء باستمرار . وهذا يعنى ان القوة التى تدفع الصناديق المغمورة الى الاعلى تساوى وزن ستة امتار مكعبة من الماء ، اى ٦ اطنان . اما القوة التى تسحب الصناديق الى الاسفل ، فهى الوزن الذاتى للصناديق ، الذى يتوازن مع ثقل الصناديق الستة الاخرى المعلقة بحرية فى الجهة الخارجية للحبل .

وهكذا ، سيكون الحبل الملفوف بهذا الشكل معرضا لشد قدره ٦ اطنان ، يؤثر على احدى جهتيه ويسحبها الى الاعلى . ومن الواضح ان هذه القوة ستجبر الحبل على الدوران المستمر ، متزلقا على البكرات ، كما انه سينجز فى كل دورة شغلا قدره ٢٠×٦٠٠ = =١٢٠٠٠٠ كجم . م .

ويفهم من ذلك اننا اذا اقمنا مثل هذه الابراج فى طول البلاد وعرضها ، لحصلنا منها على كمية هائلة من الشغل ، تكفى لتغطية كافة احتياجات الاقتصاد الوطنى ، حيث ستقوم هذه الابراج بتدوير اعضاء الانتاج فى المولّدات الكهربائية ، وتوليد كل ما نحتاجه من الطاقة الكهربائية .

ولكن عندما نتأمل هذا المشروع بدقة ، نقتنع بسهولة ، بان حركة الحبل المتوقعة لن تحدث مطلقا .

ولاجل ان يدور الحبل باستمرار ، يجب ان تدخل الصناديق الى حوض الماء التابع للبرج من الاسفل ، وتخرج منه من الاعلى . ولكن دخول الصندوق الى حوض الماء يتطلب التغلب على ضغط عمود من الماء ارتفاعه ٢٠ م ! وهذا الضغط لا يقل عن ٢٠ طنا على كل متر مربع من مساحة الصندوق (يساوى وزن ٢٠ م^3 من الماء) .

اما الشد الى الاعلى فيساوى ٦ اطنان فقط ، اى انه لا يكفى مطلقا لادخال الصندوق فى حوض الماء .

ومن بين النماذج الكثيرة العدد للمحركات المائية « الدائمة الحركة » ، التى كانت عدة مئات منها من ابتكار مخترعين فاشلين ، يمكن العثور على بعض النماذج البسيطة والماهرة الصنع فى نفس الوقت .

ويبين الشكل ٥٣ احد هذه النماذج . ان احد اجزاء الطبلة الخشبية المثبتة على محور يكون طول الوقت مغمورا فى الماء . فاذا كان قانون ارخميدس صحيحا ، فان الجزء المغمور فى الماء يجب ان يطفو الى السطح ، ولما كانت القوة الدافعة اكبر من قوة الاحتكاك فى المحور ، اذن يجب ان تستمر الطبلة فى الدوران بلا توقف . واذا استعجل القارئ فى تركيب مثل هذا المحرك « الدائم الحركة » فسيكون حليفه الفشل حتما ، لان الطبلة سوف لن تتحرك قيد شعرة . ما هو السبب ، وأين يكمن الخطأ فى نقاشنا ؟ يبدو اننا لم نأخذ فى الاعتبار اتجاه القوى المؤثرة ، التى تكون دائما متجهة بصورة عمودية على سطح الطبلة ، اى تأخذ اتجاه انصاف الاقطار بالنسبة للمحور . والكل يعرف من التجارب اليومية ، بانه لا يمكن تدوير العجلة اذا كان اتجاه القوة المؤثرة فيها هو نفس اتجاه نصف قطر العجلة . ولكى يحدث الدوران يجب ان تؤثر القوة بصورة عمودية على نصف القطر ، اى باتجاه مماس محيط العجلة . ومن السهل ان نفهم الان ان محاولة تحقيق الحركة « الدائمة » فى حالتنا هذه ، ستبوء بالفشل حتما .

وقد أغرى قانون ارخميدس عقول الباحثين عن المحرك « الدائم الحركة » ، وحفزهم على اختراع أجهزة حاذقة الصنع ، للاستفادة من الفقدان الظاهر فى الوزن وللحصول على مصدر دائم للطاقة الميكانيكية . ولكن ، لم ولن يكتب النجاح لاية محاولة من هذه المحاولات .

مسألة بسيطة فى الظاهر

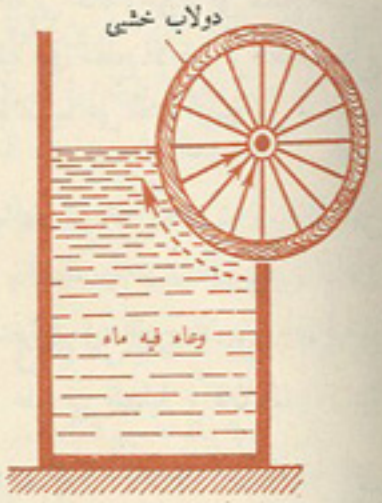
لنفرض ان لدينا وعاء مملوءا بالماء ، يتسع لثلاثين قدحا من الماء . نضع القدح تحت صنبور الوعاء وننظر الى ساعة يدنا ، ثم نفتح الصنبور ونحسب عدد الثوانى التى

يستغرقها ملء القدح حتى نهايته . لنفرض ان القدح امتلأ فى ٣٠ ثانية . والان نطرح السؤال التالى : ما هو الوقت اللازم لتفريغ الوعاء تماما ، اذا تركنا الصنبور مفتوحا ؟

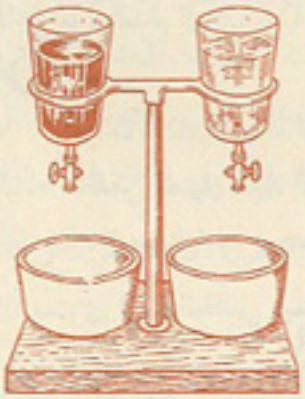
يبدو لاول وهلة ان هذه مسألة حسابية بسيطة خاصة بالاطفال : فاذا كان الماء يخرج من الوعاء بمعدل قدح واحد فى كل نصف دقيقة ، يكون الوقت اللازم لخروج ثلاثين قدحا من الماء مساويا لـ ١٥ دقيقة . ولكن اذا أجرينا هذه التجربة ، سنرى ان الوعاء لن يفرغ فى مدة ربع ساعة كما توقعنا ، بل نصف ساعة .

ما هو السبب ؟ ان الحساب كان يبدو بسيطا جدا !

نعم ، ان الحساب بسيط ، ولكننا لم نجره بصورة صحيحة . اذ لا يجوز ان نعتبر ان سرعة جريان الماء من الصنبور تبقى ثابتة من البداية الى النهاية . وبعد ان ينصب القدح الاول من الوعاء ، يندفق الماء تحت ضغط أقل من السابق ، وذلك لان مستوى الماء الموجود فى الوعاء يصبح منخفضا . ويتضح من ذلك ان القدح الثانى يمتلئ فى مدة تزيد على نصف دقيقة ، ويمتلئ القدح الثالث فى مدة تزيد على ذلك وهكذا .



شكل ٥٣ : تصميم آخر لمحرك مائى « دائم الحركة » .



شكل ٥٤ : اى السائلين يتدلق اسرع من الآخر ، الكحول ام الزئبق ؟ ان مستوى السائلين الموضعين فى الاناءين متساو .

ان سرعة تدفق أى سائل كان ، من فتحة فى اناء مفتوح ، تتناسب تناسبا طرديا مع ارتفاع عمود السائل الموجود فوق الفتحة المذكورة . وكان توريتشيلى العبقرى ، تلميذ غاليليو ، أول من أشار الى هذه العلاقة ووضع صيغتها البسيطة التالية :

$$س = \sqrt{٢جع}$$

حيث س – سرعة تدفق السائل ،

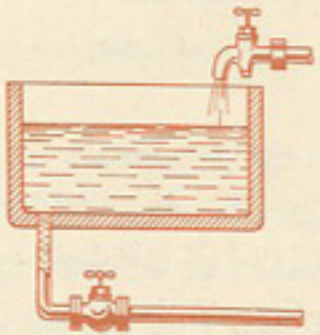
ج – تسارع الجاذبية ،

ع – ارتفاع عمود السائل فوق الفتحة .

وينتج من هذه الصيغة ان سرعة تدفق السائل لا تعتمد مطلقا على كثافته ، حيث يتدفق كل من الكحول الخفيف والزئبق الثقيل الوزن من الفتحة بسرعة واحدة ، اذا تساوى مستواهما (شكل ٥٤) . ويتضح من الصيغة انه فى حالة وجودنا على سطح القمر . حيث تكون قوة الجاذبية أقل بست مرات مما هى عليه فوق سطح الارض ، فاننا سنحتاج لاجل ملء القدح الى فترة زمنية تزيد بمقدار ٥ر٢ مرة تقريبا على الفترة الزمنية التى نحتاجها على الارض .

نعود الآن الى المسألة السابقة . اذا فرضنا انه بعد خروج ٢٠ قدحا من الماء من الوعاء انخفض مستوى الماء الموجود فيه الى الربع (ابتداء من فتحة الصنبور) ، فان القدح الـ ٢١ سيمتلئ فى ضعف الفترة الزمنية التى استغرقها ملء القدح الاول . واذا فرضنا ان مستوى الماء انخفض فيما بعد الى $\frac{١}{٩}$ ما كان عليه فى البداية ، فان الفترة الزمنية اللازمة لملء كل قدح من الاقداح الاخيرة ستساوى ثلاثة اضعاف الفترة الزمنية التى استغرقها ملء القدح الاول . وبحل هذه المسألة بواسطة الرياضيات العالية ، يمكننا ان نثبت بان الوقت اللازم لتفريغ الوعاء تماما يساوى ضعف الوقت اللازم لتفريغه اذا حافظ السائل المتدفق على نفس المستوى الابتدائى طول الوقت .

ان كل ما ذكرته أعلاه قريب جدا من المسائل السيئة الصيت المتعلقة بحوض الماء ، التى تصادف القارئ فى كل كتاب من كتب المسائل الحسابية والجبرية . والجميع يتذكر تلك المسائل المدرسية التقليدية المملة ، مثل المسألة الآتية :



شكل ٥٥ : مسألة حوض الماء .

« حوض ماء يحتوى على ماسورتين ، احداهما تملأ الحوض الفارغ بالماء فى مدة ٥ ساعات ، والثانية تفرغ الحوض الملآن فى مدة ١٠ ساعات . احسب الوقت اللازم لملء الحوض الفارغ اذا فتحنا الماسورتين معا » .

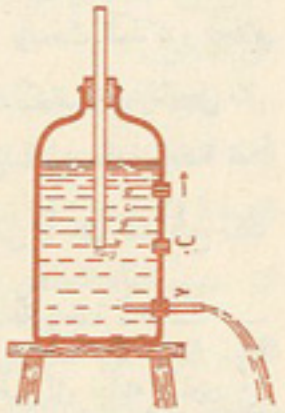
ان لهذه المسألة تاريخا جديرا بالتقدير ، يمتد الى عشرين قرنا من الزمن على الاقل ، حيث وضعها لاول مرة هيرون الاسكندرى . عشرون قرنا مضى وما زال الناس ، بحكم العادة ، يمارسون حل هذه المسائل ، بصورة خاطئة . والبحث المذكور أعلاه حول تدفق الماء يجعل القارئ يدرك بسهولة اين يكمن الخطأ . كيف يعلموننا حل مثل هذه المسائل ؟ انهم يحلون المسألة السابقة، مثلا ، كما يلى : فى ساعة واحدة تملأ الماسورة الاولى $\frac{١}{٥}$ الحوض، وتفرغ الماسورة الثانية $\frac{١}{١٠}$ الحوض ، اى عند فتح كلتا الماسورتين معا يبلغ حجم الماء المتراكم فى الحوض فى كل ساعة واحدة $\frac{١}{٥} - \frac{١}{١٠} = \frac{١}{١٠}$ حجم الحوض . وينتج من ذلك ان الوقت اللازم لملء الحوض الى نهايته يساوى ١٠ ساعات . ان هذا الحل خاطئ ، وذلك لاننا اذا اعتبرنا ان تدفق الماء يحدث تحت ضغط ثابت ، وبالتالى منتظم ، فان تدفقه يحدث مع تغير مستواه ، وهذا يعنى انه لا

يتدفق بصورة منتظمة . وعندما يقال بان الماسورة الثانية تفرغ الحوض في ١٠ ساعات ، فان ذلك لا يعني مطلقا ان مقدار ما يفرغ من الحوض في الساعة الواحدة يساوى $\frac{١}{١٠}$ الحوض . وهكذا نرى ان الحل المدرسي لهذه المسألة هو حل خاطئ . ان الحساب البسيط لا يمكننا من حل هذه المسألة بصورة صحيحة ، ولهذا السبب يجب عدم حشر المسائل المتعلقة بالاحواض التي يتدفق منها الماء ، بين المسائل الحسابية المدرسية .

الوعاء العجيب

هل يمكن صنع وعاء يتدفق منه الماء باستمرار بصورة منتظمة ، بدون ان تقل سرعة تدفقه ، بغض النظر عن انخفاض مستوى سطح الماء ؟ ربما يعتقد القارئ ، بعد البحث الذي قرأه أعلاه ، بان صنع مثل هذا الوعاء غير ممكن .

الا ان هذا الامر ممكن التحقيق تماما ، وما القنينة الزجاجية المبينة في الشكل ٥٦ ، الا مثال لهذا الوعاء العجيب . وقد أدخلت في سدادة العنق الضيق لهذه القنينة العادية أنبوبة زجاجية . فاذا فتحنا الصنبور ح الواقع تحت نهاية الانبوبة ، فان السائل سيتدفق منه بسرعة ثابتة الى ان ينخفض مستوى الماء الموجود في القنينة الى النهاية السفلى للانبوبة . وبتخفيض الانبوبة الى مستوى الصنبور تقريبا ، نستطيع جعل كل الماء الموجود فوق مستوى الفتحة يتدفق بانتظام ، ولو بصورة بطيئة جدا .



شكل ٥٦ : المقطع العرضي لقنينة ماريوت. ان الماء يتدفق من الفتحة بصورة منتظمة .

كيف يحدث ذلك ؟ لنتتبع نظريا ما يحدث في القنينة عند فتح الصنبور ح (شكل ٥٦) . عند تدفق الماء الموجود في القنينة ينخفض مستواه ، وفي هذه الاثناء يدخل الهواء الخارجي من خلال الانبوبة الزجاجية ويختلط بالهواء المخلخل الموجود

فوق الماء ، بعد ان يتسرب عبر الماء الى الاعلى ، على هيئة فقاعات تتجمع فوق الماء في القسم العلوي من القنينة . وبهذا الشكل يصبح الضغط المؤثر على مستوى السدادة ب برمته مساويا للضغط الجوي . وهذا يعني ان الماء يتدفق من الصنبور ح تحت تأثير ضغط طبقة الماء ب ح فقط ، لان الضغط الجوي من داخل القنينة يعادل الضغط الجوي من خارجها . ولما كان سمك الطبقة ب ح ثابتا على الدوام ، اذن ليس هناك ما يدعو الى العجب اذا رأينا ان تيار الماء يتدفق بسرعة واحدة طول الوقت .

والآن ، ليحاول القارئ الاجابة على السؤال التالي : باية سرعة سيتدفق الماء اذا رفعنا السدادة ب الواقعة في مستوى نهاية الانبوبة ؟

سنرى في هذه الحالة ان الماء لن يتدفق بتاتا (هذا طبعا اذا كانت الفتحة صغيرة جدا بحيث يمكن اهمال عرضها ، والا فان الماء سيتدفق تحت ضغط طبقة الماء الرقيقة التي يكون سمكها مساويا لعرض الفتحة) . وفي الحقيقة ، فان كلا من الضغطين الداخلي والخارجي يكون في هذه الحالة مساويا للضغط الجوي ؛ اذن ليس هناك ما يدعو الى تدفق الماء .

اما اذا رفعنا السدادة أ ، الواقعة فوق النهاية السفلى للانبوبة ، فسنرى بان الهواء الخارجي سيدخل الى القنينة ، بدلا من تدفق الماء منها . ما هو سبب ذلك ؟ ان السبب بسيط جدا ، وهو ان الضغط في داخل هذا الجزء من القنينة اقل من الضغط الجوي الخارجي .

ان مخترع هذا الوعاء الذي له مثل هذه الخواص العجيبة ، هو الفيزيائي الشهير ماريوت ، وقد أطلق على ذلك الوعاء اسم « قنينة ماريوت » .

حمل من الهواء

في منتصف القرن السابع عشر شاهد سكان مدينة ريجنسبرج وامراء المانيا الذين قدموا الى تلك المدينة وعلى رأسهم الامبراطور ، عرضا مدهشا للغاية . كان هناك ستة عشر حصانا تحاول بكل طاقتها فصل نصفي كرة من النحاس ملتصقين ببعضهما . ما

هى المادة التى استخدمت فى لصق نصفى الكرة ؟ « لا شىء » ، أى الهواء ! ومع ذلك ، فان الستة عشر حصانا التى كانت ثمانية منها تسحب فى اتجاه والثمانية الباقية فى اتجاه معاكس ، لم تستطع فصل نصفى الكرة عن بعضهما . وهكذا أثبت رئيس البلدية الالمانى أوتو فون جيريكه صاحب هذه التجربة بان الهواء ليس « لا شىء » مطلقا ، لان للهواء وزنا ، وهو يضغط بقوة كبيرة على كافة الاشياء الموجودة على سطح الارض .

وقد اجريت هذه التجربة فى ٨ مايو (أيار) عام ١٦٥٤ ، وسط احتفال مهيب . وقد استطاع رئيس البلدية العالم ان يثير اهتمام الجميع بابحاثه العلمية ، بغض النظر عن الاضطرابات السياسية والحروب الجائحة ، التى كانت مستعرة الأوزار فى ذلك الوقت .

ومع ان وصف تجربة أوتو فون جيريكه موجود فى معظم كتب الفيزياء المدرسية ، الا اننى متأكد من ان القارىء سيجد متعة فى مطالعة وصف هذه التجربة ، كما جاء على لسان جيريكه بالذات — ذلك العالم الفيزيائى البارز الذى كان يدعى احيانا بـ « غاليليو الالمانى » . وقد صدر فى أمستردام عام ١٦٧٢ كتاب ضخم باللغة اللاتينية ، يضم وصفا لعدد كبير من تجارب هذا العالم . وقد كان عنوان هذا الكتاب طويلا ومسهبا ، كبقية عناوين الكتب التى كانت تصدر فى ذلك الوقت . ونقدم للقارىء فيما يلى عنوان الكتاب المذكور .

أوتو فون جيريكه

التجارب المسماة بتجارب ماجدبرج الجديدة ، الخاصة بدراسة

الفراغ الخالى من الهواء

وهى التجارب التى وصفها فى الاصل أستاذ الرياضيات فى جامعة فورتسبرج ، كاسبار شوت .

طبع الكتاب على نفقة المؤلف ،

وهو اكثر شمولا مما هو معروف وفيه مزيد من التجارب الجديدة .

والفصل الثالث والعشرون من ذلك الكتاب ، هو الفصل الخاص بوصف هذه التجربة التى تهمنا ، واليكم الترجمة الحرفية لهذا الوصف :

« تجربة تثبت ان ضغط الهواء يعمل على لصق نصفى الكرة لصقا قويا بحيث لا يمكن فصلهما عن بعض ، حتى باستخدام ستة عشر حصانا » .

« لقد أوصيت بصنع نصفى كرة من النحاس ، بقطر يساوى ثلاثة ارباع ذراع قياس الاقمشة المستخدم فى مدينة ماجدبرج * . ولكن القطر كان فى الواقع يساوى $\frac{٦٧}{١٠٠}$ من الذراع المذكور فقط ، وذلك لان « الصناع المهرة » لم يتمكنوا كعادتهم من صنع الشىء الذى طلبته منهم بدقة تامة . وكان نصفا الكرة متطابقين تماما ، وكان احدهما متصلا بصنبور يمكن بواسطته طرد الهواء من الداخل ، ومنع دخول الهواء من الخارج . وبالاضافة الى ذلك ، فقد ثبتت فى نصفى الكرة أربع حلقات لادخال الحبال المربوطة بطقوم الحصن . وأوصيت كذلك بصنع حلقة جلدية مشبعة بمزيج من الشمع وزيت التربنتينا ، ثم وضعت هذه الحلقة بين نصفى الكرة لتمنع دخول الهواء الى داخلهما . وبعد ذلك ادخلت فى الصنبور فوهة مضخة الهواء ، التى سحبت الهواء من داخل الكرة . وهنا تجلت القوة التى لصقت نصفى الكرة مع بعضهما ، وبينها الحلقة الجلدية . ان ضغط الهواء الخارجى لصق نصفى الكرة بقوة كبيرة ، بحيث لم يكن باستطاعة ستة عشر حصانا فصل نصفى الكرة عن بعضهما ، الا بصعوبة بالغة . وعندما استطاعت الحصن فصل نصفى الكرة بكل ما لديها من قوة ، دوت فى الجو قرقعة تشبه لعلعة الرصاص .

ولكن فتح الصنبور الذى يسمح للهواء بالدخول الى الكرة بحرية ، كان كافيا ليجعلنا نفصل نصفى الكرة عن بعضهما بسهولة ، بيدينا فقط » .

وبعملية حسابية بسيطة نستطيع ان نوضح سبب حاجتنا الى مثل هذه القوة الكبيرة (ثمانية حصن فى كل جهة) ، لفصل نصفى الكرة الفارغة . ان الهواء يضغط بقوة

---

* ان ذراع قياس الاقمشة فى ماجدبرج يساوى ٥٥٠ مم .

تقدر بحوالى ١ كجم على سنتمتر مربع . ومساحة الدائرة * التى يبلغ قطرها ٠ر٦٧ ذراع (٣٧ سم) ، تساوى ١٠٦٠ سم٢ . وهذا يعنى ان ضغط الهواء المؤثر على كل من نصفى الكرة يجب ان يزيد على ١٠٠٠ كجم (طن واحد) . وبالتالى ، كان يتحتم على كل ثمانية حصن ان تسحب بقوة قدرها ١ طن ، لمقاومة ضغط الهواء الخارجى .

ويبدو ان الطن الواحد لا يمثل حملا ثقيلا بالنسبة لثمانية حصن . ولكن يجب الا ننسى بان هذه الحصن ، عندما تسحب حملا يزن طنا واحدا ، فانها لا تكون بذلك قد تغلبت على قوة تساوى طنا واحدا ، بل أقل من ذلك بكثير ، وهى بالذات قوة احتكاك العجلات بالمحور وبالطريق . وهذه القوة — على الطريق ، مثلا — تساوى ٥٪ من الوزن فقط ، اى ٥٠ كجم عندما يبلغ وزن الحمل طنا واحدا (هذا بغض النظر عن الواقع الذى يؤكد بان ٥٠٪ من قوة السحب تفقد عندما يتم السحب بواسطة ثمانية حصن مربوطة مع بعضها) . وهكذا نستنتج ان سحب الطن الواحد يعادل بالنسبة للحصن الثمانية سحب عربة تزن ٢٠ طنا . وهذا هو حمل الهواء ، الذى تحتم على حصن رئيس بلدية ماجدبرج ان تقوم بجره . ونقول فى معرض التشبيه بانه كان من المحتم على تلك الحصن ان تسحب قاطرة صغيرة ، تتميز عن غيرها بعدم وجود قضبان السكة الحديدية تحت عجلاتها .

وقد أثبتت القياسات ان الكديش القوى يسحب عربة النقل بقوة تساوى ٨٠ كجم** فقط . ويتنج من هذا انه لفصل نصفى كرة ماجدبرج عن طريق سحبها بجهد ثابت ، كان لا بد من استخدام عدد من الحصن يساوى $\frac{١٠٠٠}{٨٠} = ١٣$ حصانا من كل جهة .

* تؤخذ مساحة الدائرة ، لا مساحة سطح نصف الكرة ، لان الضغط الجوى يساوى المقدار المذكور اعلاه ، فى حالة واحدة فقط ، هى عند تأثيره على السطح بصورة عمودية . أما بالنسبة للسطوح المائلة فتقل قيمة الضغط المذكورة . وفى هذه الحالة نأخذ مسقط نصف الكرة ، العمودى على المستوى الافقى ، اى نأخذ مساحة الدائرة الكبرى .

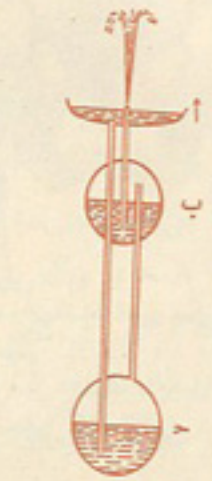
** عند السير بسرعة ٤ كم/ساعة ، تساوى قوة السحب عند الحصان فى المعدل ١٥ ٪ من وزنه ، مع العلم بان وزن حصان السباق يبلغ ٤٠٠ كجم، ووزن الكديش يبلغ ٧٥٠ كجم. ولفترة قصيرة جدا (الجهد الابتدائى) يمكن ان تتضاعف قوة السحب عدة مرات .

وسيندهش القارئ عندما يعلم بان بعض مفاصل الهيكل العظمى للانسان تحافظ على تماسكها المتين بفضل نفس العامل الذى أدى الى تماسك نصفى كرة ماجدبرج. ان المفصل الحاقفى للانسان عبارة عن تركيب شبيه بنصفى كرة ماجدبرج بالذات . حتى اننا اذا جردناه من العضلات والغضاريف ، لرأينا مع ذلك ان الورك لن يتفكك ، ذلك لان الضغط الجوى يجعله متماسكا بثبات ، حيث لا وجود للهواء فى الفراغ الموجود بين المفاصل .

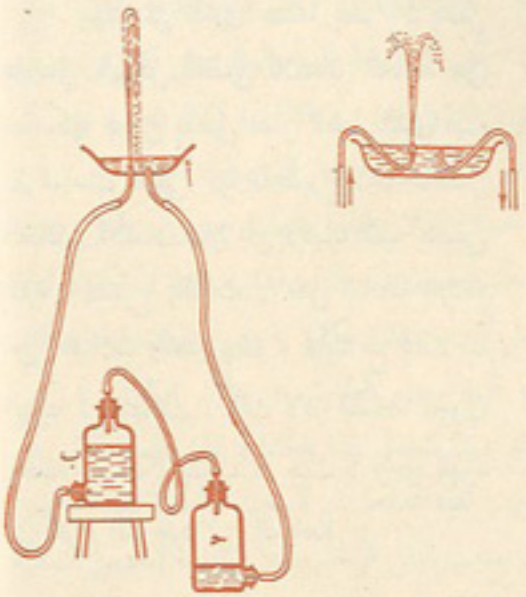
شكل ٥٧ : ان الضغط الجوى يعمل على تلاحم عظام حوض الانسان ، ويمنعها من الانفصال عن بعضها ، كما هى الحالة بالنسبة لنصفى كرة ماجدبرج .

نماذج حديثة من نافورة هيرون الاسكندرى

ربما يكون القراء قد اطلعوا على الشكل العادى للنافورة التى وصفها الميكانيكى هيرون الاسكندرى فى العصور القديمة . وسأشرح للقراء الان تركيب هذه النافورة العجيبة ، قبل الانتقال الى وصف النماذج الحديثة منها . تتألف نافورة هيرون (شكل ٥٨) من ثلاثة أوعية ، وهى الوعاء العلوى المفتوح أ ، والوعاءان الكرويان ب و حـ ، وهما مغلقان اغلاقا محكما. وتتصل هذه الاوعية مع بعضها بثلاثة أنابيب مركبة بالطريقة المبينة فى الشكل السابق . وعندما يوجد قليل من الماء فى الوعاء أ ، ويكون الوعاء ب مملؤا بالماء والوعاء حـ مملؤا بالهواء ، تبدأ النافورة عملها كما يلى : يجرى الماء من الوعاء أ الى الوعاء حـ خلال الانبوب الذى يصل بينهما ، ويطرد الهواء الموجود فى الوعاء حـ الى الوعاء ب . وتحت تأثير ضغط الهواء الداخل الى الوعاء ب ، يحاول الماء ان يتدفق من خلال الانبوب الى الاعلى ، ويشكل بذلك تيارا مائيا فوق الوعاء أ . وعندما يفرغ الوعاء ب من الماء الموجود فيه ، تتوقف النافورة عن العمل (أى يتوقف تدفق الماء) .



شكل ٥٨ : المقطع العرضى لنافورة هيرون الاسكندرى .



شكل ٥٩ : المقطع العرضى لنموذج مطور حديث من نافورة هيرون الاسكندرى. والشكل العلوى يبين أحد نماذج الوعاء أ.

هذه هى نافورة هيرون الاسكندرى القديمة . اما فى عصرنا هذا ، فقد قام احد معلمى الفيزياء فى ايطاليا – بعد ان وجد فى نفسه حافزا على الاختراع ، بدافع من ضآلة محتويات مختبره الفيزيائى – بتبسيط جهاز نافورة هيرون وابتكار نماذج اخرى منها ، يستطيع كل منا ان يركبها باستخدام ابسط الادوات والمواد (شكل ٥٩) . فقد استخدم قنينتى اختبار ، بدلا من الوعاءين الكرويين ، كما استخدم الانابيب المطاطية بدلا من الانابيب الزجاجية او المعدنية . ولم تعد هناك حاجة الى ثقب الوعاء العلوى من الاسفل لانه يمكن بسهولة مد اطراف الانابيب الى داخله ، كما هو مبين فى الرسم العلوى من الشكل ٥٩ .

وفى هذا النموذج الجديد للنافورة يكون الجهاز سهل الاستخدام للغاية ، وذلك لانه بعد ان يسيل الماء باجمعه من القنينة ب الى القنينة حـ بعد مروره بالوعاء أ ، يمكن

بسهولة وضع احدى القنينتين محل الاخرى ، ليبدأ تدفق الماء ثانية من النافورة . وبطبيعة الحال ، يجب الا ننسى تحويل فوهة النافورة من الانبوب الاول الى الانبوب الثانى . والناحية الاخرى المريحة فى هذا النوع الجديد من انواع هذه النافورة تتلخص فى امكانية تغيير وضع الأوعية (القنانى) كيفما نشاء ، ودراسة تأثير المسافة الموجودة بين مستويات الاوعية على ارتفاع الماء المتدفق .

فاذا اردنا زيادة ارتفاع الماء المتدفق الى عدة اضعاف ما هو عليه ، فما علينا الا الاستعاضة عن الماء الموجود فى القنينتين السفليتين للجهاز المذكور ، بالزئبق ، والاستعاضة عن الهواء بالماء (شكل ٦٠) . ويتم عمل الجهاز فى هذه الحالة كما يلى : عندما يسيل الزئبق من القنينة حـ الى القنينة ب ، يطرد الماء من داخلها ، ويجعله يتدفق من النافورة . واذا علمنا بان الزئبق اثقل من الماء بـ ١٣٫٥ مرة ، استطعنا بسهولة حساب الارتفاع الذى يجب ان يصل اليه الماء المندفع من النافورة . لنرمز الى الفروق بين المستويات بالحروف ع١ وع٢ وع٣ ، المطابقة لكل مستوى على التوالى . والان نأتى الى بحث القوى التى تجعل الزئبق يسيل من القنينة حـ الى القنينة ب (شكل ٦٠) . ان الزئبق الموجود فى انبوب الاتصال يتعرض الى الضغط من جهتين : من الجهة اليمنى الى الضغط الناتج عن الفرق بين ارتفاعى عمودى الزئبق ع٢ (الذى يكون معادلا لضغط عمود من الماء اطول من ذلك بـ ١٣٫٥ مرة ، اى انه يبلغ ١٣٫٥ ع٢) ، مضافا الى ذلك

شكل ٦٠ : نافورة تعمل بضغط الزئبق. ان الماء يتدفق الى ارتفاع اكبر بعشر مرات من الفرق بين مستويى السائلين.

ضغط عمود الماء ع ١. اما من الجهة اليسرى فيتعرض الى ضغط عمود الماء ع ٢. وفى النتيجة تؤثر على الزئبق قوة تساوى :

$$١٣,٥\ ع_{٢} + ع_{١} - ع_{٣} .$$

ولكن ع ٣ – ع ١ = ع ٢ ؛ اذن نعوض عن ع ١ – ع ٣ بالمقدار ع ٢ مسبوقا باشارة سالبة ، فنحصل على ما يلى :

$$١٣,٥\ ع_{٢} - ع_{٢} ،$$

اى ١٢٫٥ ع ٢. وهكذا ، فان الزئبق يدخل الى القنينة ب تحت ضغط عمود من الماء يبلغ ارتفاعه ١٢٫٥ ع ٢. ولذلك فمن الناحية النظرية ، يجب ان يتدفق الماء من النافورة الى ارتفاع يساوى الفرق بين مستويى الزئبق الموجود فى القنينتين ، مضروبا فى العدد ١٢٫٥ . ولكن الاحتكاك يعمل على تقليل هذا الارتفاع النظرى .

ومع هذا ، فان الجهاز المذكور يساعد على تدفق الماء بسهولة الى ارتفاع كبير. ولكى نجعل الماء يتدفق ، مثلا ، الى ارتفاع ١٠ م ، يكفى ان نرفع احدى القنينتين فوق الاخرى بمقدار متر واحد تقريبا . ومن الطريف ، كما يتضح من الحساب السابق ، ان رفع الوعاء أ فوق القنينتين ، الى ارتفاع اكبر مما هو عليه ، لا يؤثر مطلقا على ارتفاع تدفق الماء .

الاوعية الخادعة

كان النبلاء الروس فى القرنين السابع عشر والثامن عشر يسلون انفسهم باللعبة التالية ، التى كانوا يستخدمون فيها كوزا او كوبا يصنع خصيصا بحيث يحتوى فى قسمه العلوى على فتحات زخرفية كبيرة (شكل ٦١) . تبدأ اللعبة بملء الكوز بالخمر ، وتقديمه الى احد الضيوف من الطبقة المتوسطة ، الذين يمكن السخر منهم بلا حساب . كيف يمكن شرب الخمر من هذا الكوز ؟ ان الشخص لا يستطيع امالة الكوز ، لان الخمر ستنسكب من الثقوب المتعددة فى الحال ، ولا تصل الى الفم حتى قطرة واحدة .

شكل ٦١ : الكوز الخادع المبتكر فى نهاية القرن الثامن عشر ، وسر تركيبه .

ولكن ، اذا ادرك الشخص سرّ هذا الكوز ، المبين فى الشكل ٦١ الى اليمين ، عمد فى الحال الى سد الفتحة ب بأصبعه ، ووضع فوهة البزبوز فى فمه ، ومص الخمر من الكوز دون امالته . وفى هذه الحالة ، سترتفع الخمر من خلال الفتحة د ، وتمر بالقناة المحفورة فى داخل المقبض ، ثم تمر بتكملة القناة حـ ، المحفورة فى داخل الحافة العليا للكوز ، حتى تصل الى فوهة البزبوز .

ومثل هذه الاكواز ما زالت تصنع فى الاتحاد السوفييتى حتى الوقت الحاضر ، حيث يقوم بصنعها الخزافون . وقد رأيت فى احد البيوت ذات مرة احد هذه الاكواز ، وكان سر تركيبه مخفيا بمهارة تامة ، وقد كتبت عليه العبارة التالية : « اشرب ولا تبلل نفسك » .

ما هو وزن الماء فى القدح المقلوب ؟

ان الماء فى القدح المقلوب لا يزن اى شئ بالطبع ، لان الماء سينسكب من ذلك القدح فى الحال – هذا ما سيجيب به القارئ على السؤال المذكور اعلاه .

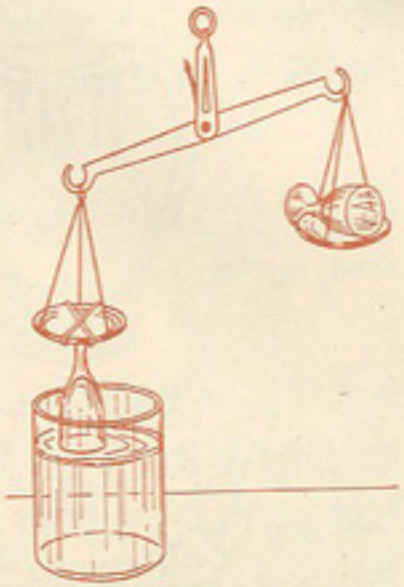
واذا فرضنا ان الماء لن ينسكب ، فماذا سينتج عن ذلك ؟

فى الواقع ، يمكن ابقاء الماء فى القدح المقلوب ، بحيث لا يمكنه الانسكاب منه . وهذه الحالة مبينة فى الشكل ٦٢ ، الذى يمثل قدحا زجاجيا مقلوبا ، وقد ربط

من قاعدته الى احدى كفتى الميزان . والقدح المذكور مملوء بالماء الذى لا ينسكب ، وذلك لان فوهة القدح مغطسة فى وعاء من الماء . اما فى الكفة الاخرى للميزان ، فقد وضع قدح فارغ يشبه القدح الاول تماما .

والآن أى الكفتين سترجح ؟

ان الكفة التى سترجح ، هى تلك التى ربط اليها القدح المقلوب ، المملوء بالماء . ان هذا القدح المقلوب يتعرض من الاعلى الى ضغط جوى كامل ، ويتعرض من الاسفل الى ضغط يقل عن الضغط الجوى ، بما يعادل وزن الماء الموجود فى داخل القدح المذكور . ولكى تتوازن كفتا الميزان ، لا بد فى هذه الحالة من ملء القدح الموضوع فى الكفة الثانية ، بالماء .



شكل ٦٢ : عملية وزن الماء الموضوع فى كأس مقلوبة .

وعند تطبيق الشروط المذكورة أعلاه ، نستنتج ان وزن الماء الموجود فى القدح المقلوب ، يساوى وزن الماء الموجود فى القدح الموضوع بصورة طبيعية .

لماذا تتجاذب السفن مع بعضها ؟

فى خريف عام ١٩١٢ وقعت الحادثة التالية للباخرة « اوليمبيك » التى كانت تعتبر من أضخم البواخر فى العالم . كانت هذه الباخرة ذات مرة تمخر عباب المحيط ، واذا بالطرادة « هاوك » ، وهى اصغر من الباخرة بكثير ، تقترب منها بسرعة كبيرة ، وتسير بصورة موازية لها تقريبا على مسافة عدة مئات من الامتار . وعندما اصبحت الباخرتان فى الوضعية المبينة فى الشكل ٦٣ ، حدث شىء لم يكن متوقعا . اذ انحرفت الطرادة

بشدة عن خط سيرها ، وكانها وقعت تحت تأثير قوة خفية ، واستدارت بمقدمتها نحو لباخرة « أوليمبيك » واندفعت اليها بصورة مستقيمة تقريبا ، دون ان تنصاع لعجلة القيادة . وحدث الاصطدام بينهما ، وانحشرت مقدمة الطرادة « هاوك » فى هيكل الباخرة « أوليمبيك » . وقد كان الاصطدام من القوة ، بحيث أحدثت الطرادة « هاوك » ثغرة كبيرة فى هيكل الباخرة « أوليمبيك » .

ولما جرى التحقيق فى هذه الحادثة الغريبة ، اتهم المحققون قبطان الباخرة « اوليمبيك » بالتسبب فى وقوع الاصطدام ، لانه — على حد قولهم — لم يتخذ أية اجراءات لافساح المجال أمام الطرادة « هاوك » المندفعة فى اتجاه متقاطع مع خط سير الباخرة « أوليمبيك » .

ولم ير المحققون بالتالى ، أية غرابة فى هذه الحادثة ، واعتبروا انها وقعت نتيجة لسوء ادارة القبطان لا غير . ولكن السبب الحقيقى لهذا الاصطدام كان عبارة عن حالة لا يمكن التنبؤ بوقوعها مطلقا ، وهى حالة التجاذب المتبادل بين السفن فى عرض البحر .

وربما تكون مثل هذه الحالات قد وقعت كثيرا فى السابق ، عند سير باخرتين من البواخر ، بصورة متوازية . ولما لم تكن هناك بواخر كبيرة جدا قبل ذلك الوقت ، فان هذه الظاهرة لم تحدث من قبل بمثل هذه القوة . ولكن عندما اخذت « المدن العائمة »

شكل ٦٣ : وضعية الباخرتين « اوليمبيك » و « هاوك » قبل وقوع الاصطدام .

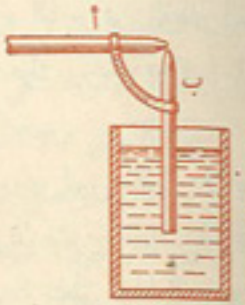
شكل ٦٤ : ان سرعة جريان الماء فى الاقسام الضيقة من القناة اكبر من سرعة جرياته فى اقسامها الواسعة ، اما ضغطه على جدرانها فيكون فى الاقسام الضيقة اقل مما هو عليه فى اقسامها الواسعة .

تجوب المحيطات ، برزت ظاهرة تجاذب السفن بشكل ملموس جدا ، الامر الذى جعل قادة السفن الحربية يحسبون حسابها اثناء المناورات .

وربما تعرضت السفن الصغيرة ، التى تبحر الى جانب البواخر الكبيرة لنقل الركاب ، والبارجات الحربية ، الى عدد كبير من حوادث الاصطدام ، لنفس السبب السابق .

ما هو تفسير هذا التجاذب ؟ بطبيعة الحال ، لا محل هنا للحديث عن قانون الجذب العام لنيوتن ، لاننا علمنا مما سبق (فى الفصل الرابع) ، ان هذا الجذب ضئيل جدا . ان سبب هذه الظاهرة يختلف عن ذلك تماما ، ويفسر بقوانين انسياب السوائل فى المواسير والقنوات . ويمكن ان نثبت بان الماء الذى ينساب فى قناة تحتوى على أقسام ضيقة وأخرى واسعة ، يزيد من سرعة انسيابه فى الاقسام الضيقة ويقلل من ضغطه على جدران القناة ؛ اما فى الاقسام الواسعة ، فينساب بهدوء ، ويضغط بقوة أكبر على جدران القناة (هذا ما ينص عليه قانون برنولى) .

وينطبق هذا القانون على الغازات ايضا . وفى الدراسات الخاصة بالغازات ، يطلق على هذه الظاهرة اسم ظاهرة كليمان — ديزورم (وهو مشتق من اسمى العالمين الفيزيائيين ، مكتشفى الظاهرة المذكورة) ، كما يطلق عليها اسم « التناقض الايروستاتيكى » . وقد تم اكتشاف هذه الظاهرة لاول مرة ، كما يقال ، بطريق الصدفة فى الحادثة التالية : طلب من احد العمال فى منجم فرنسى ان يأخذ لوحا خشبيا ويسد به فتحة المهواة الخارجية ، التى يدخل من خلالها الهواء المضغوط الى المنجم . وقد حاول العامل طويلا التغلب على تيار الهواء المتدفق الى المنجم . وصدفة انطبق اللوح ذاتيا على الفتحة ، انطباقا عنيفا ، وكاد — لولا كبر حجمه — ان يجر معه العامل المذعور الى داخل فتحة المهواة . وبالمناسبة ، فان خاصية سريان الغاز هذه ، تفسر لنا عمل المرذاذ . عندما ننفخ فى الانبوب أ (شكل ٦٥) ، ذى الطرف الضيق ، فان ضغط الهواء يقل بمروره فى القسم الضيق . وهكذا يصبح ضغط الهواء الموجود فوق الانبوب ب أقل من الضغط الجوى الذى يقوم بدفع الماء الموجود فى القدح الى الاعلى خلال الانبوب ب ، وعند وصوله الى الفتحة العليا ، يصطدم بتيار الهواء المنفوخ ، ويتحول الى رذاذ .



شكل ٦٥ : مبدأ عمل المرذاذ .

شكل ٦٦ : مجرى الماء بين الباخرتين العائمتين.

وسوف نفهم الان ما هو سر تجاذب السفن . عندما تعوم سفينتان بصورة متوازية ، يتكون بين جانبيهما المتقابلين شكل يشبه قناة الماء ، مع فارق واحد هو ان جدران القناة العادية تكون ثابتة ويكون الماء متحركا ، اما فى هذه الحالة فالعكس هو الصحيح ، حيث تكون الجدران متحركة ويكون الماء ثابتا . ولكن تأثير القوى لا يتغير من جراء ذلك مطلقا : ففى الاقسام الضيقة للقناة المتحركة يكون ضغط الماء على الجدران أقل مما هو عليه فى الاقسام الاخرى المحيطة بالسفينتين . وبعبارة اخرى ، فان جانبى السفينتين المتقابلين ، يتعرضان لضغط الماء بمقدار اقل مما يتعرض له الجانبان الخارجيان للسفينتين . ما الذى يجب حدوثه نتيجة لذلك ؟ ان ضغط الماء على الجانبين الخارجيين يجعل السفينتين تقتربان من بعضهما حتما ، وبطبيعة الحال يكون اقتراب السفينة الصغيرة أسرع ، فى الوقت الذى تكون فيه السفينة الكبيرة ثابتة تقريبا . وهذا يفسر لنا لماذا يكون التجاذب قويا ، وخاصة عندما تمر سفينة كبيرة بسرعة ، بالقرب من سفينة صغيرة .

وهكذا نرى ان سبب التجاذب بين السفن يعود الى تأثير المص الناتج عن الماء الجارى . ونفس السبب السابق ، يفسر لنا الخطر الذى ينجم عن مجارى المياه السريعة وعن تأثير المص الناتج عن دوامات الماء ، بالنسبة للناس الذين يسبحون فى تلك المياه . وقد اثبت الحساب ان تيار الماء الجارى بسرعة معتدلة قدرها ١ م/ثا يجر معه جسم الانسان بقوة تساوى ٣٠ كجم ! وليس من السهل ان يثبت الانسان فى مكانه عند تعرضه لمثل هذه القوة ، وخاصة فى الماء ، حيث لا يمكن لوزن الجسم الذاتى ان يساعد

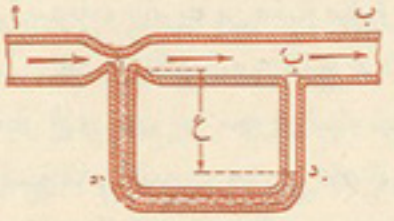
الانسان على الاحتفاظ بتوازنه . واخيرا ، فان تأثير المص ، الناتج عن القطار السريع الحركة ، يفسّر كذلك بقانون برنولى المذكور . ان القطار المتحرك بسرعة ٥٠ كم/ساعة ، يجذب اليه الشخص الواقف بقربه ، بقوة تقدر بحوالى ٨ كجم .

ان الظواهر المتعلقة بقانون برنولى — بالرغم من ان حدوثها ليس نادرا — لا يعرفها من الناس العاديين الا عدد قليل فقط . ولذا ، فمن المفيد ان نشرح للقراء هذا القانون بشيء من التفصيل . وسنقدم فيما بعد مقتطفا من مقالة مبسطة تتعلق بهذا الموضوع ، كتبها البروفيسور فرانكلين ، وخص بها احدى المجلات العلمية العامة .

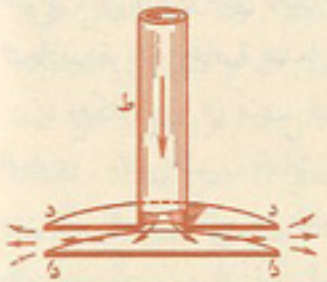
قانون برنولى ونتائجه

لقد وضعت صيغة القانون لاول مرة عام ١٧٢٦ ، من قبل العالم دانييل برنولى . وينص القانون المذكور على ما يلى : يكون ضغط تيار الماء او الهواء كبيرا اذا كانت سرعته ضئيلة ، ويقل الضغط اذا زادت السرعة . وتوجد بعض التحديدات المعروفة لهذا القانون ، ولكننا سوف لا نتوقف عندها الآن .

والشكل ٦٧ يوضح لنا ماهية هذا القانون . ينفخ الهواء فى الانبوب أب ، وعند وصوله الى المقطع الضيق آ تزداد سرعته ، وعند وصوله الى المقطع العريض بَ تقل سرعته. وفى الاقسام التى تكون فيها السرعة كبيرة ، يصبح الضغط قليلا ، والعكس بالعكس .



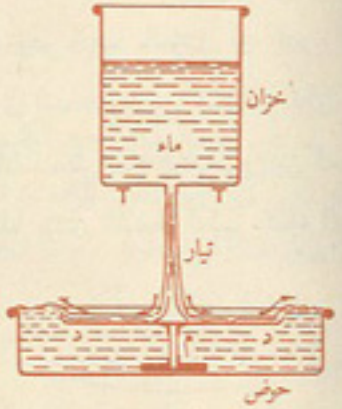
شكل ٦٧ : مخطط لايضاح قانون برنولى . ان الضغط فى القسم الضيق آ من الانبوبة أب ، اقل مما هو عليه فى القسم الواسع ب .



شكل ٦٨ : اجراء التجربة باستخدام الاقراص .

ونظرا لقلة ضغط الهواء فى المقطع آ ، يرتفع السائل فى الانبوب حـ ، وفى نفس الوقت ينخفض السائل الموجود فى الانبوب د ، نتيجة لتأثير الضغط القوى فى المقطع بَ.

ويبيّن الشكل ٦٨ الانبوب ط ، وقد ثُبت على القرص النحاسى د د ؛ ينفخ الهواء فى الانبوب ط ، ويصل فيما بعد الى القرص غير المثبّت دَ دَ* . وهنا تكون للهواء الموجود بين القرصين ، سرعة كبيرة . ولكنها سرعان ما تقل ، كلما اقترب الهواء من حافات القرصين ، ذلك لان المقطع العرضى للتيار الهوائى يكبر بسرعة ، كما يتم التغلب على القصور الذاتى للهواء الموجود بين القرصين . ولكن ضغط الهواء المحيط بالقرص ، يكون كبيرا ، لان سرعته قليلة ، اما ضغط الهواء الموجود بين القرصين فيكون صغيرا ، لان سرعته كبيرة . ولهذا السبب ، فان الهواء المحيط بالقرص ، يؤثر على القرصين محاولا لصقهما ، اكثر مما يؤثر عليهما الهواء الموجود بينهما ، محاولا فصلهما . وفى النتيجة ، يكون انجذاب القرص دَ دَ الى القرص د د اكثر قوة كلما زادت قوة تيار الهواء المنفوخ فى الانبوب ط .



شكل ٦٩: يرتفع القرص د د على القضيب م، عندما يسقط عليه تيار الماء المنسكب من الخزان .

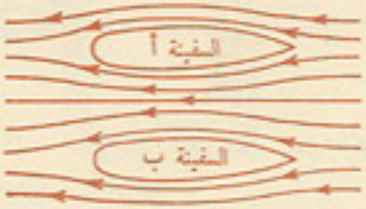
شكل ٧٠ : ان تيار الهواء يمنع الكرة الصغيرة من السقوط .

* يمكن اجراء نفس التجربة بطريقة أبسط ، وذلك باستخدام بكرة وقرص ورقى ، يثبت فى مكانه بواسطة دبوس يتم ادخاله فى تجويف البكرة .

والشكل ٦٩ يطابق الشكل ٦٨ من الناحية العملية ، ولكن مع استخدام الماء بدل الهواء . ان الماء المتحرك بسرعة على القرص د د ، يقع فى مستوى منخفض ، ويرتفع تلقائيا الى مستوى أعلى منه ، وهو مستوى الماء الراكد فى الحوض ، عندما تطوى حافات القرص الى الاعلى . ولهذا ، فان ضغط الماء الراكد ، الموجود تحت القرص ، يصبح أكبر من ضغط الماء المتحرك فوق القرص ، الامر الذى يودى الى ارتفاع القرص . ان القضيب م يمنع الازاحة الجانبية للقرص .

والشكل ٧٠ يبين لنا كرية خفيفة ، تسبح فى تيار من الهواء الصاعد ، حيث يصدم التيار الهوائى الكرية المذكورة ويمنعها من السقوط . وعندما تقفز الكرية مبتعدة عن ذلك التيار ، فان الهواء المحيط يعيدها ثانية الى التيار ، لان ضغط الهواء المحيط ، ذى السرعة البطيئة ، يكون كبيرا ، اما ضغط تيار الهواء ، ذى السرعة الكبيرة ، فيكون صغيرا .

والشكل ٧١ يمثل سفينتين متحركتين جنبا الى جنب فى بحر هادئ ، او سفينتين واقفتين بالقرب من بعضهما وسط مياه جارية ، وهو الوضع المؤدى الى نفس النتيجة التى يؤدى اليها الوضع الاول . ان سرعة الماء الجارى المحصور بين السفينتين تكون اكبر من سرعة الماء المحيط بهما من الخارج ، ولذا فان ضغط الماء المحصور بين السفينتين يصبح أقل من ضغط الماء المحيط بهما . وهكذا يؤدى الضغط الكبير للماء المحيط

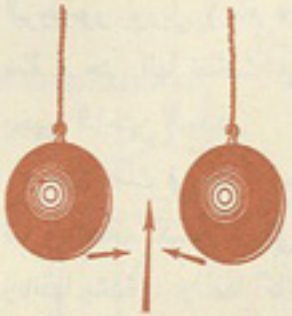


شكل ٧١ : ان السفينتين المتحركتين على خطين متوازيين ، تجذبان بعضهما البعض .

شكل ٧٢ : عند حركة السفينتين الى الامام ، تدير السفينة ب مقدمتها نحو السفينة أ .

بالسفينتين الى تقاربهما . ويعرف البحارة جيدا ان السفينتين السائرتين جنبا الى جنب ، تتجاذبان فيما بينهما بقوة .

وتصبح الحالة اشد خطرا عندما تكون احدى السفينتين قد تقدمت السفينة الثانية قليلا ، كما فى الشكل ٧٢ . ان القوتين ق و ق ، اللتين تقربان السفينتين من بعضهما ، تحاولان ادارتهما ، وهنا تستدير السفينة ب ، نحو السفينة أ ، بقوة كبيرة . وفى هذه الحالة ، لا يكون هناك مناص من الاصطدام تقريبا ، حيث لا يجد مدير الدفة متسعا من الوقت لتغيير اتجاه حركة السفينة .



شكل ٧٣ : اذا امررنا تيارا من الهواء بين الكرتين الخفيفتين ، فانهما تقتربان من بعضهما الى حد التلامس.

ويمكن عرض الظاهرة المبينة فى الشكل ٧١ ، بنفخ الهواء فى الحيّز الموجود بين كرتين مطاطيتين صغيرتين ، معلقتين كما هو مبين فى الشكل ٧٣ . وعندما نقوم بهذا العمل ، نرى ان الكرتين تقتربان من بعضهما الى حد الاصطدام .

الغرض من وجود الكيس الهوائى فى جسم السمكة

ما هو الغرض من وجود الكيس الهوائى فى جسم السمكة ؟ ان الاجابة على هذا السؤال — ويبدو انها تطابق الواقع — تكون عادة كما يلى : عندما تريد السمكة الانتقال من أعماق الماء الى سطحه ، فانها تملأ هذا الكيس بالهواء ، وبذلك يزداد حجم جسمها ، ويصبح وزن الماء المزاح أكبر من وزن السمكة ، وهكذا ترتفع السمكة الى سطح الماء ، بموجب قانون الاجسام الطافية . ولكى تتوقف عن الارتفاع ، او تهبط الى الاسفل ، فانها على العكس مما سبق ، تطرد الهواء من كيسها ، وبذلك يقل حجم جسمها ويقل معه وزن الماء المزاح ، فتهبط السمكة الى الاسفل ، تبعا لقانون ارخميدس .

ان هذه الفكرة المبسطة عن الدور الذى يلعبه الكيس الهوائى للسمكة ، تعود الى عهد علماء اكاديمية فلورنتين (فى القرن السابع عشر) ، وكان أول من عرضها هو

البروفيسور بوريلى (عام ١٦٨٥) . وقد تقبل الناس هذه الفكرة وصدقوها طوال ٢٠٠ سنة ، حتى انها تغلغلت فى بطون الكتب المدرسية ، ولم يكشف عن بطلانها التام الا بجهود الباحثين الجدد .

ولا شك فى ان للكيس الهوائى علاقة وثيقة بسباحة السمكة ، لان الاسماك التى تم استئصال كيسها الهوائى عند التجربة ، لم تستطع السباحة فى الماء الا بتحريك زعانفها بشدة ، وعندما كانت تتوقف الزعانف ، عن الحركة ، كانت الاسماك تهبط الى القعر . ما هو اذن الدور الحقيقى الذى يلعبه الكيس الهوائى ؟ ان دوره محدود جدا ، وهو مساعدة السمكة فى البقاء على عمق معين فقط — وهو بالذات ، العمق الذى يكون عنده وزن السمكة مساويا لوزن الماء الذى تزيحه . اما عندما تهبط السمكة بتحريك زعانفها ، الى أقل من ذلك المستوى (العمق) ، فان جسمها يتعرض للضغط الخارجى الكبير للماء ، فينضغط الجسم وينضغط معه الكيس الهوائى . وبذلك يصبح وزن الماء المزاح أقل من وزن السمكة ، الامر الذى يؤدى الى هبوط السمكة الى الاسفل . وكلما ازداد العمق الذى تهبط اليه السمكة ، كلما ازداد ضغط الماء المؤثر عليها (يزداد الضغط بمقدار ضغط جوى واحد ، كلما ازداد العمق بمقدار ١٠ م) ، وازداد انضغاط جسمها ، واستمر هبوطها الى الاسفل بسرعة أكبر .

ويحدث نفس الشئ ، ولكن بصورة معكوسة ، عندما ترفع السمكة نفسها — بتحريك الزعانف — من طبقة الماء ، التى كانت متوازنة فيها ، الى طبقة أعلى منها . والآن ، بعد زوال جزء من الضغط الخارجى المؤثر على الجسم المنفوخ من الداخل بواسطة الكيس الهوائى (الذى كان ضغط الهواء الموجود فى داخله قبل هذه اللحظة ، متوازنا مع ضغط الماء المحيط) ، يزداد حجم الجسم ، ويرتفع الى الاعلى نتيجة لذلك . وكلما ازداد ارتفاع السمكة الى الاعلى ، كلما ازداد انتفاخ جسمها ، وبالتالى ازدادت سرعة ارتفاعها الى سطح الماء . وليس فى استطاعة السمكة ان تحول دون زيادة سرعة ارتفاعها — بتقليص الكيس الهوائى — وذلك لان جدران الكيس خالية من الالياف العضلية ، التى كانت ستلعب دورا هاما فى تقليص حجم الكيس . والتجربة التالية

(شكل٧٤) تثبت لنا حقيقة التمدد السلبى (الخامل) لجسم السمكة . أخذت سمكة نهرية ثم خدّرت بالكلوروفورم ووضعت فى داخل اناء مقفل مملوء بالماء ، بعد ان تمت تقوية الضغط فى داخله ، بحيث اصبح قريبا من الضغط الموجود على عمق معين فى بركة طبيعية للماء . فى هذه الحالة نجد ان السمكة تطفو على سطح الماء بخمول ، وبطنها الى الاعلى . واذا غمرنا السمكة الى عمق قليل فى الماء ، فسوف نرى انها ترتفع وتطفو على سطحه مرة ثانية . اما اذا وضعناها بالقرب من القعر ، فسوف تهبط الى القعر . ولكن عند وضعها فى طبقة الماء الواقعة بين سطح الماء وقعر الاناء ، فسوف نرى ان السمكة تبقى فى حالة توازن — لا تهبط الى القعر ولا تطفو على السطح . ونستطيع ادراك سبب ذلك ، اذا تذكرنا ما قلناه الان عن التمدد والتقلص الخاملين للكيس الهوائى .

شكل ٧٤ : تجربة السمكة .

وهكذا ، بالرغم من الفكرة الشائعة ، نرى ان السمكة لا تستطيع نفخ وتقليص كيسها الهوائى بصورة ارادية . ان تغير حجم الكيس يحدث بصورة سلبية (خاملة) ، تحت تأثير الضغط الخارجى المتزايد او المتناقص (طبقا لقانون بويل — ماريوت) . وتغير الحجم هذا ، لا يكون بالنسبة للسمكة غير مفيد فحسب ، بل ويعمل على الحاق الضرر بها ، لانه اما ان يؤدى الى ارتفاع السمكة الى سطح الماء بسرعة متزايدة لا يمكن التحكم فيها ، او الى هبوطها الى القعر بنفس السرعة المتزايدة ، التى لا يمكن التحكم فيها ايضا . وبعبارة اخرى ، ان الكيس الهوائى يساعد السمكة على الاحتفاظ بتوازنها فى حالة السكون ، ولكن هذا التوازن لا يكون مستقرا .

وهذا هو الدور الحقيقى الذى يقوم به الكيس الهوائى للسمكة — ما دام الحديث دائرا حول علاقة هذا الكيس بالسباحة . اما السؤال عما اذا كان الكيس الهوائى يقوم

بوظائف اخرى فى جسم السمكة ، وعن تلك الوظائف بالذات ، فهو سؤال لا يمكن ان نجيب عليه لان هذا الكيس ما زال يعتبر من الاعضاء المبهمة . ودوره الوحيد الذى يمكن اعتباره واضحا جدا لحد الآن ، هو الدور الايدروستاتيكى فقط .

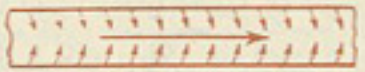
وملاحظات صيادى الاسماك تؤكد هذه الحقيقة المذكورة . عند مزاولة الصيد فى المياه العميقة ، يصادف ان نرى بعض الاسماك ، تستطيع الافلات من الصنارة فى منتصف الطريق . ولكن بالرغم مما نتوقع حدوثه ، نجد ان السمكة لا تهبط ثانية الى العمق ، الذى اخرجت منه ، بل على العكس من ذلك ، تحاول الصعود الى سطح الماء . وفى هذه الحالة ، يلاحظ خروج الكيس الهوائى من أفواه بعض الاسماك المعينة .

الامواج والعواصف

هناك كثير من الظواهر الفيزيائية اليومية، التى لا يمكن ان نجد لها تفسيرا على اساس القوانين الاولية لعلم الفيزياء . حتى ان احدى الظواهر التى يتكرر حدوثها فى اغلب الاحيان ، وهى ظاهرة هيجان البحر فى اليوم العاصف ، لا تجد لها تفسيرا تاما فى كتب الفيزياء المقررة لطلبة المدارس . والآن لنسأل ما هو سبب حدوث الامواج فى الماء الهادئ* ، عند مرور احدى البواخر فى ذلك الماء ؟ ولماذا تخفق الاعلام عند هبوب الرياح ؟ ولماذا يتصفر الدخان عند خروجه من مدخنة المصنع ؟

لتفسير هذه الظواهر وغيرها من الظواهر المماثلة ، لا بد من معرفة خصائص ما يسمى بالحركة الدوامية للسوائل والغازات . ولنحاول هنا التحدث قليلا عن الحركة الدوامية ، ولنشر الى خصائصها الرئيسية . ذلك لان كتب الفيزياء المدرسية تكاد تخلو من الحديث عن هذا الموضوع .

شكل ٧٥ : الانسياب الطبقى الهادئ للسائل فى داخل الماسورة .



شكل ٧٦ : الانسياب الاضطرابى (الدوامى) للسائل فى داخل الماسورة .

لنتصور وجود سائل يجرى فى داخل ماسورة . فاذا كانت كل دقائق السائل تتحرك اثناء ذلك على خطوط متوازية فى داخل الانبوبة ، نحصل على أبسط أنواع حركة السائل – الانسياب الهادئ* ، او كما يسميه الفيزيائيون بالانسياب الطبقى . ولكن هذه الظواهر ليست أغلب الظواهر حدوثا على الاطلاق . بل على العكس ، حيث يكون انسياب السوائل فى داخل المواسير مضطربا فى معظم الاحيان ، اذ تندفع الدوامات من جدران الماسورة نحو محورها . وهذه الحركة تسمى بالحركة الدوامية او المضطربة . وبهذه الصورة مثلا ، ينساب الماء فى مواسير شبكة اسالة الماء (بغض النظر عن المواسير الرفيعة ، حيث يكون الانسياب هادئا او طبقيا) . ويلاحظ حدوث الانسياب الدوامى ، فى جميع الاوقات التى تصل فيها سرعة تدفق السائل المعين فى الماسورة (ذات القطر المعين) ، الى قيمة محددة تسمى بالسرعة الحرجة* .

ويمكن جعل دوامات السائل المنساب فى داخل الماسورة ، واضحة للعين المجردة ، باضافة قليل من مسحوق خفيف ، مثل مسحوق الليكوبوديوم ، الى سائل شفاف ينساب فى انبوبة زجاجية . عندئذ يمكن بالعين المجردة ، رؤية الدوامات المندفعة من جدران الانبوبة نحو محورها . وخاصية الانسياب الدوامى هذه ، تستخدم فى صناعة الثلاجات ووحدات التجميد (المجمدات) . ان السائل الذى ينساب انسيابا دواميا فى ماسورة ذات جدران مبردة ، يجعل كافه دقائقه تلتصق بالجدران الباردة ، اسرع بكثير مما لو كان ينساب بصورة هادئة . ويجب ان نتذكر ان السوائل بالذات ، تعتبر موصلات رديئة للحرارة ، وعند عدم تحريكها (خلطها) فانها تبرد او تسخن ببطء شديد . ان قابلية الدم لتبادل الحرارة والمواد مع الانسجة المحيطة به ، تبادلا حيويا ، تعود الى سبب واحد فقط ، هو ان الدم يتدفق فى الاوعية الدموية ، تدفقا دواميا وليس تدفقا طبقيا (هادئا) .

ان كل ما قيل عن انسياب السوائل فى المواسير ، ينطبق تماما على انسياب الماء فى القنوات المفتوحة وفى جداول المياه ايضا ، لان الماء ينساب فيها انسيابا دواميا .

---

* ان السرعة الحرجة لسائل ما ، تتناسب تناسبا طرديا مع لزوجته ، وعكسيا مع كثافته ومع قطر الماسورة ، التى ينساب فى داخلها .

وعند القياس الدقيق لسرعة جريان النهر ، تسجل آلة القياس نبضا ، وعلى الاخص بالقرب من قاع النهر . وهذا النبض ، يدل على اتجاه مجرى الماء بصورة مستمرة ، اى يدل على وجود الدوامات . ان دقائق الماء الجارى فى النهر ، لا تتحرك فى اتجاه المجرى فقط ، كما يبدو عادة ، ولكنها تتحرك من الشاطئين الى الوسط ايضا . ولذلك ، فان الرأى القائل بان درجة حرارة الماء الموجود فى اعماق النهر ، تكون ثابتة على مدار السنة ، وتساوى ٤° مئوية بالضبط ، هو رأى خاطئ ، لانه بنتيجة الاختلاط ، تكون درجة حرارة الماء الجارى بالقرب من قاع النهر (لا البحيرة) ، مساوية لدرجة حرارة الماء عند السطح .

ان الدوامات المتكونة عند قاع النهر ، تحمل معها الرمل الخفيف ، وتحدث « تموّجات » فى الرمل الموجود على القاع . ويحدث نفس الشئ على الساحل الرملى للبحر ، عند تعرّضه للمد والجزر (شكل ٧٧) . ولو كان الماء يجرى بهدوء بالقرب من قاع النهر ، لكان سطح الرمل الموجود على القاع مستويا .

وهكذا ، نجد ان التموجات تتكون على مقربة من سطح الجسم ، الذى تغمره المياه ثم تنحسر عنه . ومما يدل على وجود الدوامات ، مثلا ، الشكل المتلوى كالحيّة ، الذى يصبح عليه الحبل الممتد فى مجرى الماء (عندما يكون احد طرفيه مربوطا ، والطرف الاخر حرا) . ما الذى يحدث للحبل هنا ؟ ان الدوامة الناشئة بالقرب من احد أقسام الحبل ، تسحب معها ذلك القسم ، وفى اللحظة التالية تسحب نفس القسم دوامة اخرى فى اتجاه معاكس ، فيتكون بذلك الشكل المتلوى كالحية (شكل ٧٨) .

شكل ٧٧ : تتكون الموجات الرملية على ساحل البحر بتأثير حركة الماء الاضطرابية (الدوامات المائية) .

شكل ٧٨ : ان الحركة الموجية للحبل الموجود فى داخل الماء الجارى، تنشأ نتيجة لحركة الماء الاضطرابية (وجود الدوامات المائية) .

والآن ننتقل من السوائل الى الغازات ، ومن الماء الى الهواء . من منّا لم ير كيف تقوم العواصف برفع الاتربة والقش وغيرها ، من الارض الى الجو ؟ ان هذا يدل على ظهور التيار الدوامى للهواء بمحاذاة سطح الارض . اما عند هبوب الهواء بمحاذاة سطح الماء ، فتظهر فى اماكن نشوء الدوامات ، تحدبات على سطح الماء — اى يتموج الماء — وذلك نتيجة لانخفاض ضغط الهواء فى تلك الاماكن . ونفس السبب السابق ، يؤدى الى نشوء التموجات الرملية فى الصحارى وعلى كثبان الرمل فى المنحدرات (شكل ٨٠) . ومن السهل ان نفهم الان لماذا يخفق العلم عند هبوب الرياح (شكل ٧٩) . ان ما يحدث للعلم فى هذه الحالة ، هو نفس الشئ الذى يحدث للحبل الممدود فى مجرى الماء . ان مشير الريح (صفيحة معدنية تبيّن اتجاه الريح) لا يحافظ على اتجاه ثابت فى الجو العاصف ، ولكنه يتذبذب باستمرار ، تبعا لاضطراب الهواء . والنشوء الاضطرابى

شكل ٧٩ : علم يرفرف فى الهواء.

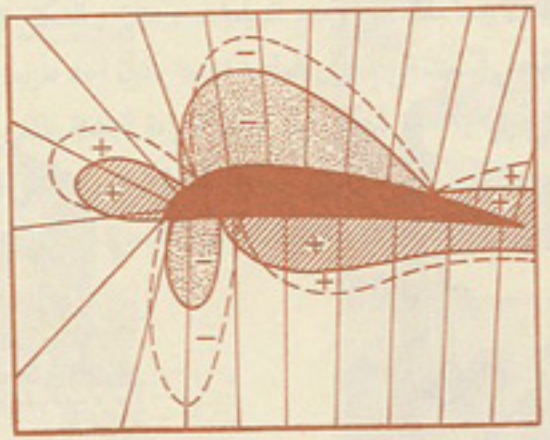
شكل ٨٠ : سطح الرمل المتموج فى الصحراء .

شكل ٨١ : اعمدة الدخان المتصاعد من مدخنة المصنع .

لاعمدة الدخان المتصاعد من مدخنة المصنع ، يشبه ذلك تماما ، حيث تمر غازات القرن من خلال المدخنة بحركة اضطرابية (دوامية) ، تستمر بعض الوقت استمرارا ذاتيا ، بعد خروجها من المدخنة نهائيا (شكل ٨١) .

ان الحركة الاضطرابية بالنسبة للطيران ، على درجة كبيرة من الاهمية . وتصمم أجنحة الطائرات ، بحيث يكون حيّز الهواء المخلخل تحت الجناح ، مملوءا بمادة الجناح ، مع تقوية الحركة الاضطرابية ، الناشئة فوق الجناح . ونتيجة لذلك يسند الجناح من الاسفل ويتعلق بالمص من الاعلى (شكل ٨٢) . وهذا شبيه بما يحدث عند تحليق الطيور بأجنحة منشورة .

ما هو تأثير الريح ، التى تهب على السقف ؟ ان الحركة الاضطرابية للريح تؤدى الى تخلخل الهواء الموجود فوق السقف ، وهنا يحاول الهواء الموجود تحت السقف ، معادلة الضغط الخارجى ، فيضغط على السقف من الداخل ويدفعه الى الاعلى . وفى النتيجة ، نرى ان الريح كثيرا ما تؤدى الى خلع السقوف الخفيفة ، غير المثبتة بقوة .



شكل ٨٢ : رسم تخطيطى للقوى التى يتعرض لها جناح الطائرة . توزيع ضغط الهواء (+) وتخلخله (−) بالنسبة لجناح الطائرة ، وذلك بناء على التجربة الواقعية . ان التأثير الموحد لكافة قوى الدفع والمص (السحب) يؤدى بالنتيجة الى رفع الجناح الى الاعلى . (ان الخطوط السوداء تبين كيفية توزيع الضغط ؛ اما الخطوط المنقطة فتبين توزيع الضغط عند زيادة سرعة الطيران الى حد كبير فجأة) .

ولنفس السبب السابق ، يتحطم زجاج النوافذ الواسعة من الداخل ، عندما يكون الجو عاصفا (ولا يتحطم تحت تأثير الضغط المؤثر من الخارج) .

ولكن ، من الاسهل تفسير هذه الظواهر ، بانخفاض الضغط فى الهواء المتحرك (راجع قانون برنولى ، الذى سبق ذكره على الصفحة ١٤٢) عندما يمر تيار هواء بمحاذاة تيار هواء آخر ، يختلف عنه فى درجة الحرارة والرطوبة ، تنشأ فى كل منهما حركة اضطرابية (دوامية) . ان الاشكال المختلفة للغيوم ، تعتمد على هذه الظاهرة اعتمادا كبيرا .

وهكذا نرى ان هناك عددا كبيرا من الظواهر ، ينشأ نتيجة لوجود التيارات الاضطرابية (الدوامية) .

رحلة الى مركز الارض

لم يستطع احد حتى الآن ان يتوغل فى داخل الارض الى عمق يزيد على ٣ر٣ كم ، بينما يبلغ نصف قطر الكرة الارضية ٦٤٠٠ كم . اى ان هناك طريقا طويلا جدا ، يجب قطعه للوصول الى مركز الارض . غير ان مؤلف القصص الخيالية المبدع جول فيرن ، ساعد بطلى قصته فى التوغل الى أعماق بعيدة فى باطن الارض نحو مركزها . وهذان البطلان هما البروفيسور الغريب الاطوار ليدينبروك وابن اخيه أكسيل . وقد وصف جول فيرن فى روايته الخيالية « رحلة الى مركز الارض » ، المغامرات المدهشة لهذين البطلين فى أعماق الكرة الارضية . وكان من جملة الاشياء غير المتوقعة ، التى صادفت البطلين فى رحلتهما هذه ، هى زيادة كثافة الهواء . وكان الهواء يتخلخل بسرعة كلما اقترب من سطح الارض ، حيث تقل كثافته على التوالى الهندسى ؛ فى الوقت الذى يزداد فيه الارتفاع على التوالى الحسابى . وعلى عكس ذلك ، فعند الانخفاض الى الاسفل ، تحت مستوى سطح البحر ، يجب ان تزداد كثافة الهواء ، وذلك تحت تأثير ضغط الطبقات الفوقية . وبطبيعة الحال ، انتبه الرحالة الى هذه الظاهرة ، اثناء رحلتهم الى مركز الارض .

واثناء وجودهما فى باطن الارض ، على عمق ١٢ فرسخا (٤٨ كم) ، جرى بين البروفيسور وابن اخيه ، الحوار التالى :

« سأل البروفيسور ابن اخيه قائلا :

– انظر الى ما يشير اليه المانومتر .

– انه يشير الى ضغط مرتفع جدا .

– انك ترى الان اننا كلما هبطنا الى الاسفل شيئا فشيئا ، سنعتاد تدريجيا على الهواء المكثف ، وهكذا سوف لن نتأثر من جراء ذلك .

– هذا اذا لم نأخذ آلام الاذنين فى الاعتبار .

– انها آلام طفيفة .

وقررت الا اناقض عمى فى اقواله ، فاجبته :

– نعم بالفعل ، حتى ان الانسان ليشعر بالارتياح عند وجوده فى جو من الهواء المكثف . هل لاحظت كيف تدوى الاصوات بقوة فى هذا الجو ؟

– طبعا ، حتى الاطرش يستطيع سماع الاصوات فى هذا الجو .

– ولكن كثافة الهواء ستزداد أكثر فأكثر . ألا يمكن ان تصل هذه الكثافة فى نهاية الامر الى كثافة الماء ؟

– طبعا ، يمكن ان تصل الى كثافة الماء تحت ضغط يعادل ٧٧٠ ضغطا جويا .

– واذا هبطنا الى الاسفل اكثر من ذلك ؟

– تزداد كثافة الهواء ايضا .

– وكيف ستتمكن من الهبوط عندئذ ؟

– سنقوم بذلك بعد ان نملأ جيوبنا بالاحجار .

– لله درّك يا عماه ، انك تستطيع الاجابة على كافة الاسئلة !

وتوقفت عن التوغل فى عالم الهواجس ، لاننى كنت على الارجح ، سافكر ثانية ببعض العراقيل ، التى تغضب عمى . ولكنه كان من الواضح ، بان الهواء قد يتحول الى الحالة الصلبة ، عند وصول الضغط الى عدة آلاف ضغط جوى . وعندئذ ، حتى

اذا أمكننا تحمل مثل هذا الضغط ، لوجب علينا مع ذلك ، ان نتوقف عن الهبوط الى أكثر من ذلك . وفى هذه الحالة ، لا يفيدنا النقاش مهما كان نوعه » .

الخيال وعلم الرياضيات

دعنا نتحقق من صحة الحوادث التى ذكرها جول فيرن على لسان أبطال روايته فى النبذة السابقة المقتطفة من الرواية المذكورة . وللقيام بذلك ، سوف لن نضطر الى الهبوط الى اعماق الارض ، لان كل ما نحتاجه فى هذا الصدد ، لا يزيد عن ورقة وقلم فقط .

لنحاول قبل كل شئ* ، ان نحدد العمق الذى يجب ان نهبط اليه كى يزداد الضغط بمقدار $\frac{١}{١٠٠٠}$ مما هو عليه. ان الضغط الجوى العادى يساوى ٧٦٠ مم زئبقى. ولو كنا نعيش فى جو من الزئبق ، لا فى جو من الهواء ، لكان علينا ان نهبط الى عمق قدره $\frac{٧٦٠}{١٠٠٠}$ ٧٦ر٠ مم، كى يزداد الضغط بمقدار $\frac{١}{١٠٠٠}$ مما هو عليه . اما فى الهواء ، فلكى نقوم بذلك يجب علينا بطبيعة الحال ، ان نهبط الى عمق يزيد على ذلك بمقدار كبير جدا ، يساوى بالضبط عدد المرات التى يزيد فيها ثقل الزئبق على ثقل الهواء – اى بمقدار ١٠٥٠٠ مرة .

وهذا يعنى انه بزيادة الضغط بمقدار $\frac{١}{١٠٠٠}$ مما هو عليه، يجب الا نهبط الى عمق ٧٦ر٠ مم ، كما فى جو الزئبق ، بل الى عمق يساوى ٧٦ر٠×١٠٥٠٠ مم ، اى حوالى ٨ م . وعندما نهبط مقدار ثمانية أمتار أخرى ، يزداد الضغط الاخير بمقدار $\frac{١}{١٠٠٠}$ مما اصبح عليه،وهلم جرا*. ومهما اختلفت المستويات التى نقف عليها – أوقفنا

* بما ان كل طبقة هواء تالية بسمك ٨ م ، تكون اكثف من سابقتها ، اذن تكون القيمة المطلقة لزيادة الضغط فى كل طبقة ، اكبر مما هى عليه فى الطبقة التى تقع فوقها . وهذه الزيادة يجب ان تكون اكبر من سابقتها ، لانها هنا تساوى $\frac{١}{١٠٠٠}$ من اكبر قيمة للضغط .

على سطح العالم (٢٢ كم) ، ام على قمة جبل أفريست (٩ كم) ، ام بالقرب من سطح البحر – يجب علينا ان نهبط مقدار ٨ م ، كى يزداد الضغط الجوى بمقدار $\frac{١}{١٠٠٠}$ من قيمته الاولية . ونتيجة لذلك، نحصل على الجدول التالى، الذى يبين لنا كيف يزداد الضغط الجوى بزيادة العمق :

الضغط عند مستوى الارض = ٧٦٠ مم = الضغط الجوى .
الضغط على عمق ٨ م = ١٫٠٠١ من الضغط الجوى .
الضغط على عمق ٨×٢ م = $(١٫٠٠١)^{٢}$ من الضغط الجوى .
الضغط على عمق ٨×٣ م = $(١٫٠٠١)^{٣}$ من الضغط الجوى :
الضغط على عمق ٨×٤ م = $(١٫٠٠١)^{٤}$ من الضغط الجوى .

وبصورة عامة ، فان الضغط الجوى على عمق ن×٨ م ، يكون أكبر من الضغط الجوى العادى بمقدار $(١٫٠٠١)^{ن}$ مرة ؛ وطالما لم يصل الضغط الى حد كبير جدا ، فان كثافة الهواء تزداد بنفس العدد من المرات (قانون ماريوت) .

وفى هذه الحالة ، نلاحظ ان جول فيرن يؤكد ان البروفيسور وابن اخيه لم يهبطا الى عمق يزيد على ٤٨ كم ، ولهذا يمكننا اهمال التضاؤل فى قوة الجاذبية ، وما يتعلق به من نقصان فى وزن الهواء :

والان ، لنحسب مقدار الضغط ، الذى تعرض له البروفيسور وابن اخيه ، عند هبوطهما الى عمق ٤٨ كم (٤٨٠٠٠ م) . نعرف من الصيغة السابقة ان ن = $\frac{٤٨٠٠٠}{٨}$ = ٦٠٠٠ . ويجب الان استخراج قيمة المقدار $(١٫٠٠١)^{٦٠٠٠}$. بما ان القيام بضرب العدد ١٫٠٠١ فى نفسه ٦٠٠٠ مرة، يعتبر عملا مملا ويستغرق وقتا كثيرا ، فاننا سنلجأ الى استخدام اللوغاريتمات ، التى تحدث عنها بصدق ، العالم الفرنسى لابلاس ، وقال فى معرض حديثه ، بان اللوغاريتمات تختصر العمل وتضاعف أعمار

القائمين بالحساب * . وباستخدام اللوغاريتمات ، نجد ان لوغاريتم العدد المجهول يساوى :

٦٠٠٠ × لو ١٫٠٠١ = ٦٠٠٠ × ٠٫٠٠٠٤٣ = ٢٫٦

ومن جدول اللوغاريتمات ، نجد ان العدد المجهول ، الذى لوغاريتمه يساوى ٢٫٦ ، هو العدد ٤٠٠ . وهكذا يكون الضغط على عمق ٤٨ كم ، أكبر من الضغط الجوى العادى بـ ٤٠٠ مرة ؛ ان كثافة الهواء تزداد عند مثل هذا الضغط – كما اثبتت التجارب – بمقدار ٣١٥ مرة . ولذلك يشك فى ان البروفيسور وابن اخيه لم يشعرا بأية مضايقات ، سوى « بآلام فى الاذنين » فقط . ولكن جول فيرن يحدثنا فى روايته ، عن وصول الانسان الى أعماق بعيدة تحت سطح الارض ، تبلغ بالذات ١٢٠ كم ، وحتى ٣٢٥ كم . ان ضغط الهواء يجب ان يصل فى تلك الاعماق الى درجات هائلة ، فى الوقت الذى لا يزيد فيه الضغط ، الذى يستطيع الانسان تحمله بدون أذى ، على ثلاثة او اربعة ضغوط جوية فقط .

وبموجب الصيغة السابقة ، اذا حسبنا العمق الذى تصبح فيه كثافة الهواء مساوية لكثافة الماء ، اى تزداد كثافته بمقدار ٧٧٠ مرة ، لوجدنا ان ذلك العمق يساوى ٥٣ كم . ولكن هذه النتيجة غير صحيحة ، لان كثافة الغاز عند الضغوط العالية ، لا تتناسب تناسبا طرديا مع الضغط . ان قانون ماريوت ينطبق تماما على الغازات ، عندما لا يكون

---

* ان كل من لم يحب اللوغاريتمات ، منذ كان طالبا فى المدرسة ، يمكن ان يغير من شعوره هذا ، بعد ما يقرأ ما كتبه عنها العالم الفلكى الفرنسى العظيم لابلاس ، فى كتابه المعنون « استعراض المنظومة العالمية » ، الذى نقتطف منه السطور التالية :

« ان اختراع اللوغاريتمات ، ادى الى اختصار الوقت الذى تستغرقه العمليات الحسابية ، من عدة اشهر الى عدة ايام فقط . وبذلك ، فانها تضاعف اعمار الفلكيين ، وتحررهم من الخطأ والتعب الفكرى ، الملازمين للعمليات الحسابية الطويلة . ويحق للعقل البشرى ان يفخر بهذا الاختراع ، الذى تمخض عنه بريته . ولمضاعفة قدرة الانسان فى مجالات الصناعة ، فانه يلجأ الى استخدام المواد والقوى الطبيعية المتوفرة حواليه . اما اللوغاريتمات ، فتعتبر من نتاج العقل البشرى بالذات » .

الضغط مرتفعا جدا ، بحيث يزيد على عدة مئات من الضغوط الجوية . والجدول التالى ، الموضوع على أساس التجربة ، يبين العلاقة بين الكثافة والضغط :

الضغط	الكثافة
٢٠٠ جوى	١٩٠
٤٠٠ «	٣١٥
٦٠٠ «	٣٨٧
١٥٠٠ «	٥١٣
١٨٠٠ «	٥٤٠
٢١٠٠ «	٥٦٤

ان ازدياد الكثافة كما نرى ، تتخلف تخلفا محسوسا عن ازدياد الضغط . وكان من العبث ان يتوقع البروفيسور — بطل جول فيرن — الوصول الى عمق تزيد فيه كثافة الهواء على كثافة الماء ، لان هذا شئ لا يمكن توقعه ، حيث لا تصل كثافة الهواء الى كثافة الماء ، الا تحت ضغط يساوى ٣٠٠٠ ضغط جوى . وبعد ذلك لن يتأثر بزيادة الضغط تقريبا ، أى لا ينضغط أكثر من ذلك . اما الحديث عن تحويل الهواء الى الحالة الصلبة ، بواسطة الضغط وحده فقط ، وبدون اللجوء الى التبريد الشديد (تحت — ١٤٦° مئوية) ، فهو حديث غير وارد بالمرة .

ولكن الحقيقة تدعونا الى التنويه بان رواية جول فيرن المذكورة ، صدرت قبل ان يطلع الناس على الحقائق المذكورة هنا ، بوقت طويل . وهذا الامر يرفع المسئولية عن عاتق المؤلف ، غير انه لا يصحح من وقائع الرواية . والآن ، لنستخدم الصيغة المذكورة سابقا ، مرة اخرى ، لحساب أكبر عمق يمكن ان يصله الانسان فى داخل احد المناجم ، بدون ان تتأثر صحته بذلك . ان اكبر ضغط جوى يمكن لجسم الانسان

ان يتحمله ، يعادل ثلاثة ضغوط جوية * . نرمز الى عمق المنجم المجهول بالحرف س ، فنحصل على المعادلة التالية :

$$٣ = ٨^{\frac{س}{}} (١,٠٠١)$$

وباستخدام جداول اللوغاريتمات ، نستخرج قيمة س ، فنجد انها تساوى ٨ر٩ كم .

وهكذا نرى ان الانسان يستطيع النزول الى عمق ٩ كم تقريبا ، بدون ان يصاب باذى . ولو فرضنا ان المحيط الهادى قد جف تماما ، لكان باستطاعة الناس العيش فى اية بقعة على قاعه .

فى منجم عميق

من الذى استطاع الاقتراب من مركز الارض — فى الحقيقة وليس فى القصص الخيالية — اكثر ما يمكن ؟ انهم بطبيعة الحال عمال المناجم . لقد عرفنا من السابق (راجع الفصل الرابع) ، بان أعمق منجم فى العالم ، يوجد فى جنوب افريقيا . ان هذا المنجم يمتد فى اعماق الارض الى مسافة تزيد على ٣ كم . وهنا لا نقصد بذلك العمق الذى يصل اليه مثقب الحفر ، والبالغ ٥ر٧ كم ، بل العمق الذى وصل اليه الانسان بالذات . واليكم مثلا ، ما قاله الكاتب الفرنسى الدكتور لوك ديورتن ، بعد ان زار بنفسه احد المناجم فى منطقة مورو فيلخو (يبلغ عمق ذلك المنجم حوالى ٢٣٠٠ م) :

« ان مناجم الذهب المشهورة فى منطقة مورو فيلخو ، تقع على بعد ٤٠٠ كم من مدينة ريو دى جانيرو . وبعد ١٦ ساعة من السفر بالقطار خلال مناطق جبلية ، انحدرنا فى وهاد عميق محاط بالغابات . وفى هذا المكان ، تقوم احدى الشركات الانكليزية باستخراج الذهب على عمق لم يسبق لاى انسان ان وصل اليه فى اى وقت كان . ان طبقة الارض التى تحتوى على الذهب ، منحدرة الى الاسفل بعمق ، ويتبعها

* تمكن العلماء اخيرا من انزال انسان فى الماء الى عمق يزيد على ٣٠٠ م ، بدون ارتداء ثوب الغوص ، حيث يصل الضغط الى ٣٠ ضغطا جويا .

المنجم بعد ست درجات للنزول . وهنا نجد ان المناجم العمودية شبيهة بالآبار ، والمناجم الافقية شبيهة بالانفاق . والشئ الذى يميز المجتمع المعاصر بوضوح ، هو ان قيام الانسان باجراً محاولة للتوغل فى أعماق الارض – أى حفر أعمق منجم فى باطن الارض – كان لغرض الحصول على الذهب لا غير .

وارتدينا ثياب العمل والجاكتات الجلدية ، وكنا حذرين جدا ، لان سقوط أصغر حجر ، يمكن ان يؤدى الى جرح احدنا . وبعد ذلك رافقنا احد رؤساء الفرق فى المنجم ، ودخلنا فى النفق الاول ، المضاء بصورة جيدة . وهنا شعرنا بقشعريرة فى اجسامنا ، بسبب الهواء البارد ، الذى تبلغ درجة حرارته ٤° مئوية فقط ، والمنبعث من أجهزة التهوية المعدة لتلطيف الهواء فى أعماق المنجم . وبعد ان اجتزنا البئر الاولى وعمقها ٧٠٠ م ، بركوبنا فى داخل قفص معدنى ضيّق ، وجدنا أنفسنا فى النفق الثانى . وعندما هبطنا فى البئر الثانية ، شعرنا بان الهواء قد اصبح اكثر دفئا من السابق ، لاننا نزلنا تحت مستوى سطح البحر . وعند وصولنا الى البئر التالية ، أخذ الهواء يلفح وجوهنا بحرارته . وبعد ان اخذ العرق يتصبب من أجسامنا ونحن نسير بظهور منحنية فى داخل القبو المنخفض السقف ، وصلنا الى موضع المكنات الثاقبة (الثقابات) . وهنا ، فى هذا الجو المثقل بالغبار ، يشتغل عمال المناجم وقد نزعوا اكثر ما يمكن من ملابسهم ، واجسامهم تتصبب عرقا ، وهم يتداولون بأيديهم قارورة الماء باستمرار . ولم نجرأ على لمس كتل الخام المقطوعة للتو ، لان درجة حرارتها تبلغ ٥٧° مئوية . ما هى حصيلة هذا الواقع المرعب البشع ؟ حوالى عشرة كيلوجرامات من الذهب فى اليوم الواحد ... »

عند وصف الظروف الطبيعية فى قاع المنجم ، والتحدث عن استغلال العمال الى أقصى حد ممكن ، يشير الكاتب الفرنسى الى درجة الحرارة المرتفعة ، ولكنه لا يذكر اى شئ عن زيادة ضغط الهواء . لنحسب اذن مقدار الضغط الموجود على عمق ٢٣٠٠ م . اذا فرضنا ان درجة الحرارة بقيت كما هى عليه عند سطح الارض ، فان كثافة الهواء ستزداد عندئذ – طبقا للصيغة المعروفة لدينا – بمقدار $(١٫٠٠١)^{\frac{٢٣٠٠}{٨}} =$ = ١٫٣٣ مرة .

وفى الحقيقة ، فان درجة الحرارة لا تبقى ثابتة ، ولكنها ترتفع . ولذلك ، فان كثافة الهواء لا تزداد كثيرا مثل زيادة درجة الحرارة ، بل أقل من ذلك . وفى نهاية الامر ، يصبح الفرق بين كثافتى الهواء الموجود فى قاع المنجم والهواء الموجود فوق سطح الارض ، أكبر بقليل من الفرق بين كثافتى الهواء فى اليوم القائظ وفى اليوم القارس البرد . وقد اصبح من الواضح الآن ، سبب عدم انتباه زوار المنجم الى هذه الحالة .

ومن الناحية الاخرى ، تكون رطوبة الهواء العالية فى هذه المناجم العميقة ، على درجة كبيرة من الخطورة ، لانها تجعل المكوث فى اعماقها لا يطاق ، عند درجة الحرارة المرتفعة . وفى احد المناجم القريبة من مدينة جوهانسبرج فى جنوب افريقيا ، حيث يبلغ عمقه ٢٥٥٣ م ، تصل الرطوبة الى ١٠٠٪ عند درجة حرارة قدرها ٥٠° مئوية . وللتغلب على هذه الظروف الصعبة ، جهّزت مرافق المنجم بمكيّفات الهواء ، لخلق « مناخ اصطناعى » فى أعماق المنجم . ان تأثير مكيفات الهواء المذكورة ، يعادل تأثير ٢٠٠٠ طن من الجليد .

فى طبقة الستراتوسفير الجوية

فى المواضيع السابقة من هذا الكتاب ، تنقلنا نظريا فى أعماق الارض . وقد ساعدتنا فى مهمتنا هذه ، الصيغة التى تبين العلاقة بين ضغط الهواء والعمق . ولنحاول الآن ، الصعود الى الاعلى ، مستخدمين نفس الصيغة السابقة ، لنرى كيف يتغير ضغط الهواء فى الارتفاعات العالية . فى هذه الحالة ، تأخذ الصيغة المذكورة الشكل التالى :

$$ض = (٠٫٩٩٩)^{\frac{ع}{٨}} ،$$

حيث ض – الضغط ، مقاسا بالضغوط الجوية ،

ع – الارتفاع بالامتار .

وفى هذه الحالة يكون الكسر العشرى ٠ر٩٩٩ بديلا للعدد ١ر٠٠١ ، ذلك لانه عندما نرتفع الى الاعلى مقدار ٨ م ، فان الضغط لا يزداد بمقدار ٠ر٠٠١ ، بل يقل بمقدار ٠ر٠٠١ .

لنحسب قبل كل شئ ، العلو الذى يجب ان نرتفع اليه لكى يقل الضغط الى النصف .

ان قيمة ض فى هذه الحالة تساوى ٠ر٥ ، يبقى لدينا مجهول واحد هو الارتفاع ع . وبعد التعويض نحصل على المعادلة التالية :

$$(٠,٩٩٩)^{\frac{ع}{٨}} = ٠,٥$$

ويمكن حل هذه المعادلة بسهولة ، وذلك باستخدام اللوغاريتمات كما مر سابقا ، حيث نجد ان ع = ٦ر٥ كم ، وهو الارتفاع الذى يقل عنده ضغط الهواء الى النصف . والان ، لنرتفع فى الجو الى علو أكبر ، ونتعقب ملاحى المناطيد السوفييت الشجعان ، الذين سجلوا فى عامى ١٩٣٣ و١٩٣٤ ، رقمين قياسيين عالميين فى الارتفاع بالمنطاد ، حيث بلغ الرقم الاول ١٩ كم ، والثانى ٢٢ كم على التوالى . ان هذه المناطق العليا من الجو ، تسمى بـ « الستراتوسفير » ، ولهذا فقد أطلق على المناطيد التى تحلق الى تلك الاجواء العليا ، اسم مناطيد الستراتوسفير ، لتمييزها عن المناطيد الجوية العادية .

ولنحاول الآن حساب الضغط الجوى الموجود عند هذه الارتفاعات الشاهقة .

ان الضغط الجوى على ارتفاع ١٩ كم ، يجب ان يساوى :

$$(٠,٩٩٩)^{\frac{١٩٠٠٠}{٨}} = ٠,٠٩٥ \text{ من الضغط الجوى العادى} = ٧٢ \text{مم} .$$

والضغط الجوى على ارتفاع ٢٢ كم ، يجب ان يساوى :

$$(٠,٩٩٩)^{\frac{٢٢٠٠٠}{٨}} = ٠,٠٦٦ \text{ من الضغط الجوى العادى} = ٥٠ \text{ مم} .$$

ولكننا اذا نظرنا الى الارقام التى سجلها ملاحو المناطيد ، لرأينا انها تختلف عن هذه الارقام ، حيث نجد ان الضغط الجوى على ارتفاع ١٩ كم يساوى ٥٠ مم ، وعلى ارتفاع ٢٢ كم يساوى ٤٥ مم .

لماذا لا ينطبق حسابنا مع الواقع ؟ وأين يكمن الخطأ ؟ ان قانون ماريوت للغازات ينطبق تماما على حالة الضغط القليل هذه ، ولكننا فى هذه المرة ارتكبنا خطأ جديدا ، وذلك عندما اعتبرنا ان درجة حرارة الهواء تبقى ثابتة ، فى كافة مناطق الطبقة الجوية التى يبلغ ارتفاعها ٢٠ كم ، بينما تنخفض هذه الدرجة بشكل محسوس ، كلما ارتفعنا الى الاعلى أكثر فاكثر .

ان درجة الحرارة تنخفض بمقدار ٥ر٦° مئوية فى المعدل ، كلما ارتفعنا كيلومترا واحدا فى الجو ، وهكذا الى ان نصل الى ارتفاع قدره ١١كم ، حيث تبلغ درجة الحرارة — ٥٦ °مئوية ، وبعد ذلك تبقى هذه الدرجة ثابتة ، حتى بعد الوصول الى ارتفاع كبير جدا . واذا أخذنا هذه الحالة فى الاعتبار (الامر الذى لا تكفى الرياضيات الاولية لتحقيقه) ، فسوف نحصل على نتائج مطابقة للواقع الى حد كبير . ولهذا السبب بالذات ، يجب كذلك النظر الى نتائج حساباتنا السابقة ، المتعلقة بضغط الهواء فى أعماق الارض ، على انها نتائج تقريبية .

وأخيرا ، لا بد من الاشارة الى ان الانسان ، استطاع فى السنوات الاخيرة ، الوصول الى ارتفاع أعلى من السابق بكثير . ويوجد الان عدد كبير من الطائرات التى يمكنها التحليق على ارتفاع يتراوح بين ٢٥ — ٣٠ كم . اما الرقم القياسى العالمى للارتفاع فى الجو ، فقد قفز الى ٣٤ كم .

الفصل السابع

الظواهر الحرارية

المراوح

عندما تهوى النساء انفسهن بالمراوح ، فانهن يشعرن طبعا بالهواء البارد المنعش . ويبدو ان هذا العمل لا يضر بتاتا ببقية الناس الموجودين فى الصالة ، وان على الحاضرين ان يشكروا النساء على قيامهن بتبريد الهواء فى الصالة .

والآن لنر مدى صحة هذا القول .

لماذا نشعر بالانتعاش والرطوبة ، عندما تهوى انفسنا بالمروحة ؟ ان الهواء الملاصق للوجه مباشرة ، يسخن ويصبح بمثابة قناع هوائى غير مرئى ، يلتصق بالوجه ويسخنه ، اى يؤدى الى ابطاء عملية فقدان الحرارة فيما بعد . واذا كان الهواء من حولنا ساكنا ، فان طبقته الساخنة الملاصقة للوجه لا تزاح الى الاعلى من قبل الهواء البارد الثقيل الا ببطء شديد . وعندما نزيح عن وجهنا القناع الهوائى الساخن بواسطة المروحة ، فاننا نجعل الوجه يتلامس مع طبقات متجددة من الهواء البارد ، ويعطيها حرارته باستمرار .

وهكذا نرى ان الجسم يبرد ، ونشعر بالرطوبة المنعشة . وهذا يعنى انه عند قيام النساء بتهوية انفسهن بالمراوح ، فانهن يطردن عن وجوههن باستمرار الهواء الحار ليحل محله الهواء البارد الذى يسخن هو الآخر ويطرد بدوره لكى تحل محله طبقة جديدة من الهواء البارد ، وهكذا ... ان التهوية بالمروحة تعجّل من اختلاط الهواء ، وتساعد على سرعة اعتدال درجة حرارة الهواء فى كافة انحاء الصالة ، اى تنعش اصحاب المراوح على حساب الهواء الاكثر برودة والذى يحيط ببقية الحاضرين .

وهناك حالة اخرى ، لها علاقة مهمة بعملية التهوية بالمروحة وسوف نتحدث عنها الآن .

ان الناس الذين يعيشون فى المناطق الباردة ، يعرفون انه من الممكن تحمل البرد فى الجو الهادئ ، اسهل كثيرا من تحمله عند هبوب الرياح . ولكن لا يمكن القول بان الناس جميعهم ، يدركون بوضوح سبب هذه الظاهرة .

ان الكائنات الحية وحدها ، هى التى تشعر ببرد اكثر عند هبوب الرياح لان المحرار لا يشير الى انخفاض درجة الحرارة مطلقا ، حين تعرضه للرياح . والشعور بالبرد القارس فى الجو الصقيعى العاصف، يفسّر قبل كل شئ بان الرياح تأخذ من الوجه (وبصورة عامة من الجسم) كمية من الحرارة ، اكبر بكثير من الكمية التى تأخذها منه فى الجو الهادئ ، عندما لا يمكن لطبقة جديدة من الهواء البارد ان تحل بنفس السرعة محل طبقة الهواء الحارة الملاصقة للجسم الذى قام بتسخينها . وبازدياد قوة هبوب الرياح ، تزداد كتلة الهواء التى تلامس بشرة الجسم فى كل دقيقة . وبالتالى ، تزداد كمية الحرارة التى تؤخذ من الجسم فى كل دقيقة . وهذا وحده ، كاف لجعل الانسان يشعر بالبرد .

ولكن ثمة سبب آخر . ان العرق يتبخر دائما من جسم الانسان ، حتى فى الجو البارد . وعملية التبخر هذه تحتاج الى حرارة ، والحرارة بدورها تؤخذ من الجسم ومن طبقة الهواء الملاصقة له .

وعندما يكون الهواء ساكنا تتم عملية التبخر ببطء ذلك لان طبقة الهواء الملاصقة للجسم سرعان ما تتشبع بالابخرة (ان عملية التبخر لا تتم بسرعة عندما يكون الهواء مشبعا بالرطوبة) . اما اذا كان الهواء متحركا ، بحيث تلامس طبقاته المتجددة ، بشرة الجسم باستمرار فان التبخر سيصبح وفيرا جدا ، الامر الذى يحتاج الى كمية كبيرة من الحرارة ، التى تؤخذ بدورها من الجسم .

ما هو مدى تأثير التبريد ، الذى تحدثه الرياح ؟ انه يعتمد على سرعة الهواء ودرجة حرارته ؛ وبصورة عامة ، يكون تأثيره اكبر بكثير مما يتصوره الناس عادة . واقدم للقراء الآن ، مثالا يوضح مدى تأثير الرياح على انخفاض درجة حرارة الجسم .

لنفرض ان درجة حرارة الهواء بلغت ٤ °مئوية ، وكانت الرياح ساكنة تماما . فى مثل هذه الظروف ، تبلغ درجة حرارة بشرة الجسم ٣١ °مئوية . فاذا هبت رياح خفيفة ، بحيث لا تتحرك عندها اوراق الاشجار بتاتا ، ولا ترفرف الاعلام الا بصعوبة (وسرعة مثل هذه الرياح تساوى ٢ م/ثانية) ، فان بشرة الجسم تبرد بمقدار ٧ °مئوية . وعند هبوب رياح تؤدى الى رفرفة الاعلام (وسرعة مثل هذه الرياح تساوى ٦ م/ثانية) ، تبرد بشرة الجسم بمقدار ٢٢ °مئوية ، اى تنخفض درجة حرارتها الى ٩ °مئوية !

ان هذه المعطيات مأخوذة من كتاب « استخدام اسس فيزياء الجو للاغراض الطبيّة » لمؤلفه الاستاذ كالينين . والقارئ المحب للاستطلاع ، يجد فى هذا الكتاب كثيرا من التفاصيل الطريفة .

وهكذا ، فلمعرفة مدى تأثرنا بالصقيع ، لا نستطيع الاكتفاء بقراءة درجة الحرارة فقط ، بل يجب ان نأخذ فى الاعتبار ، سرعة الرياح ايضا . ويكون تحمّل نفس الدرجة من الصقيع فى لينينجراد ، اصعب من تحملها فى موسكو ، ذلك لان معدل سرعة الرياح على سواحل بحر البلطيق يتراوح بين ٥ — ٦ م/ثانية ، بينما يبلغ معدلها فى موسكو ٤ر٥ م/ثانية فقط . واسهل من ذلك تحمل الصقيع بالقرب من بحيرة بايكال ، حيث يبلغ معدل سرعة الرياح ١ر٣ م/ثانية فقط . وليس من الصعب ابدا تحمل درجة الصقيع فى شرقى سيبيريا — التى تتراوح بين ٤٠° — ٦٠° مئوية تحت الصفر — كما يعتقد الناس ، الذين تعودوا على الرياح القوية فى اوربا . ذلك لان المناطق الشرقية فى سيبيريا ، تتميّز بسكون الرياح المطلق تقريبا ، وخاصة فى فصل الشتاء .

نسمات الصحراء اللافحة

ربما يفكر القارئ بعد قراءة الموضوع السابق ، بان الرياح يجب ان تنعش الناس حتى فى اليوم القائظ ، ثم يتساءل بعد ذلك ، عن سبب تحدث السيّاح عن نسمات الصحراء اللافحة !

ان هذا التناقض يعود الى ان الهواء فى المناطق الاستوائية ، يكون أدفأ من جسم الانسان . ولا عجب فى ان الناس فى تلك المناطق ، لا يشعرون بالبرودة عند هبوب الرياح ، بل يشعرون بحرارة اكثر .

ان الحرارة فى تلك المناطق ، لا تنتقل من الجسم الى الهواء ، بل على العكس ، يقوم الهواء بتسخين جسم الانسان . ولذلك ، كلما زادت كتلة الهواء ، التى تلامس جسم الانسان فى الدقيقة الواحدة ، كلما زاد معها شعور الانسان بالحرارة .

وفى الحقيقة ، فان التبخر هنا ايضا يشتد عند هبوب الرياح ولكن السبب الاول يلعب الدور الرئيسى فى هذه الحالة . وهذا هو السبب الذى يجعل سكان المناطق الصحراوية ، مثل سكان جمهوريّة تركمانيا السوفييتية ، يرتدون الجبب الدافئة والقبعات المصنوعة من الفرو .

هل الخمار يدفىء ؟

وهذة مسألة اخرى من فيزياء الحياة اليومية .

تؤكد النساء بأن الخمار يدفئ وبدونه تحسّس وجوههن بالبرد . وعندما ينظر الرجال الى القماش الخفيف للخمار ، الذى كثيرا ما يحتوى على ثقوب كبيرة مطرزة ، لا يميلون الى تصديق قول النساء ، ويفكرون بان الدفء الذى يبعثه الخمار فى وجوه النساء ، ما هو الا خدعة من بنات افكارهن .

ولكن ، عندما نتذكر الحديث السابق ، تزداد ثقتنا فيما تقوله النساء عن الخمار . ومهما كانت ثقوب تطريز الخمار واسعة ، فان الهواء مع ذلك يتخلل مثل هذا القماش بصورة بطيئة نوعا ما . ان طبقة الهواء التى تلاصق الوجه مباشرة ، تسخن وتصبح بمثابة قناع هوائى دافئ محاط بالخمار ، لا يمكن للهواء الخارجى ان يزيحه بسهولة ، كما هى الحالة عند عدم وجود الخمار .

ولذلك ، ليس هناك ما يدعو الى عدم تصديق قول النساء ، بان الخمار يدفئ الوجه عندما تكون درجة الصقيع فى الشارع غير مرتفعة ، والرياح خفيفة .

القلل المبردة

اذا لم يكن القارئ قد رأى مثل هذه القلل ، فربما يكون قد سمع بها او قرأ عنها . ان لهذه الاوانى المصنوعة من الفخار ، خاصيّة مدهشة ، هى جعل الماء الموجود فى داخلها ابرد من الاشياء المحيطة به . وتنتشر هذه الاوانى الفخارية انتشارا واسعا فى بلدان المناطق الحارة حيث تطلق عليها اسماء مختلفة . ففى اسبانيا يطلق عليها اسم « الكارازا » ، وفى مصر « قلّة » الخ .. ان سر التبريد الذى تحدثه هذه الاوانى، بسيط جدا ، ويتلخص فيما يلى : يرشح السائل من خلال الجدران الفخارية الى الخارج ، حيث يتبخر ببطء ، ويأخذ الحرارة اللازمة لذلك من الاناء ومن الماء الموجود فى داخله .

ولا صحة لما يقال من ان السائل الموجود داخل هذه الاوانى يبرد الى درجة كبيرة — كما نقرأ احيانا ما يكتبه السياح عن البلدان الجنوبية التى يزورونها . ان التبريد لا يمكن ان يكون على درجة كبيرة جدا ، اذ ان التبريد يعتمد على عدة عوامل . فكلما كان الجو حارا ، زادت سرعة ووفرة تبخر السائل ، الذى يرطّب جدران القلة من الخارج ، وبالتالى يصبح السائل الموجود فى داخلها اكثر برودة . ويعتمد تبريد السائل على رطوبة الهواء المحيط ايضا . فاذا كان الهواء رطبا جدا ، يتم التبخر بصورة بطيئة ، ويبرد السائل قليلا . اما اذا كان الهواء جافا ، فعلى العكس مما سبق ، يتم التبخر بصورة سريعة ، ويبرد السائل اكثر من السابق .

والرياح بدورها تعجل من عملية التبخر ، وبذلك تساعد على تبريد السائل . والجميع يعرفون هذه الحقيقة ، وذلك عند الشعور بالبرد فى حالة ارتداء ثوب مبلل فى اليوم الدافئ الذى تهب فيه الرياح بقوة . ان انخفاض درجة الحرارة فى داخل القلل المبردة ، لا يزيد على ٥° مئوية . ففى البلدان الجنوبية ، عندما يكون الجو قائظا ، وتصل درجة الحرارة احيانا الى ٣٣° مئوية ، نرى ان درجة حرارة الماء الموجود فى داخل القلل المبردة ، تعادل درجة الحرارة فى حمام دافئة ، اى ٢٨° مئوية . وهكذا نرى ان هذا التبريد عديم الفائدة من الناحية العملية . غير ان هذه القلل تحفظ الماء البارد جيدا ، وتستخدم لهذا الغرض على الاغلب .

ويمكننا ان نحاول حساب درجة تبريد الماء فى هذه القلل . لنفرض ان لدينا قلة تتسع لـ ٥ لترات من الماء ، وان $\frac{١}{١٠}$ لتر من الماء قد تبخر. ولاجل تبخّر لتر واحد من الماء (١ كجم) ، نحتاج عند درجة حرارة اليوم القائظ (٣٣) ، الى حوالى ٥٨٠ سعرا (كالورى). وبما ان $\frac{١}{١٠}$ كجم من الماء قد تبخر فى هذه الحالة، فان ما صرف على هذه العملية يعادل ٥٨ سعرا . ولو كانت كمية الحرارة هذه ، قد اخذت من الماء الموجود فى القلّة فقط ، لانخفضت درجة حرارته بمقدار $\frac{٥٨}{٥}$ ، اى ١٢° مئوية . ولكن الجانب الاكبر من الحرارة المصروفة على عملية التبخر ، يؤخذ من جدران القلة بالذات، ومن الهواء المحيط بها . ومن ناحية اخرى ، تقترن عملية تبريد الماء الموجود فى القلة ، بعملية تدفئته من قبل الهواء الحار الملاصق لجدران القلة . ولهذا السبب بالكاد ان تصل درجة التبريد ، الى نصف القيمة التى حصلنا عليها بواسطة الحساب .

ومن الصعب تعيين المكان ، الذى تكون فيه درجة تبريد القلل اكبر — تحت الشمس ، ام فى الظل . واذا وضعت القلة تحت الشمس ، سترداد سرعة التبخر ، وفى نفس الوقت يزداد تدفق الحرارة. وعلى الارجح ، يكون من الافضل وضع القلل فى الظل ، وتعريضها الى رياح خفيفة .

ثلاجة بدون جليد

ان الثلاجة الكبيرة المعدة لحفظ الاطعمة ، وهى عبارة عن ثلاجة بدون جليد ، مبنيّة على اساس التبريد الناتج عن عملية التبخر . ان تركيب هذه الثلاجة بسيط للغاية ، حيث تتكون من صندوق خشبى (ويستحسن ان يكون من الحديد المطلىّ بالزنك) يحتوى على رفوف لوضع الاطعمة المراد تبريدها . ويوضع فى اعلى الصندوق وعاء طويل مملوء بالماء النقى البارد ، وقد غمر فيه احد طرفى قطعة من الخيش ، تمتد الى الاسفل بمحاذاة الجدار الخلفى للصندوق ، حتى ينتهى طرفها الثانى فى وعاء موضوع

تحت الرف السفلى . تشبع قطعة الخيش بالماء ، الذى يسرى فى داخلها باستمرار ، مثلما يسرى فى الفتيل ، وفى هذه الاثناء يتبخر الماء بصورة بطيئة ، ويؤدى بذلك الى تبريد كافة اقسام الصندوق – الثلاجة .

ويجب وضع مثل هذه الثلاجة فى مكان معتدل البرودة ، مع تبديل الماء البارد الموجود فيها ، مساء كل يوم ، لكى يتسنّى له الوقت ان يبرد جيدا خلال الليل . ويجب ان تكون الاوعية المحتوية على الماء والخيش المشبع به ، نظيفة جدا بطبيعة الحال .

ما هو مدى الحرارة الذى نستطيع تحمله

ان الانسان يستطيع تحمل الحرارة الى حد يزيد كثيرا عما يتوقعه عادة . ويستطيع سكان المناطق الحارة ، تحمل درجة حرارة تزيد كثيرا على درجة الحرارة ، التى يتحملها سكان المناطق المعتدلة بصعوبة . وفى استراليا الوسطى ، كثيرا ما تصل درجة الحرارة فى الظل الى ٤٦° مئوية ، حتى انها وصلت فى وقت ما الى ٥٥° مئوية فى الظل . وتصل درجة الحرارة فى مقصورات البواخر التى تجتاز البحر الاحمر فى طريقها الى الخليج العربى ، الى ٥٠° مئوية واكثر ، بالرغم من اشتغال اجهزة التهوية باستمرار .

ان اقصى درجات الحرارة التى عرفتها الطبيعة على سطح الكرة الارضية ، لم تزد على ٥٧° مئوية . وقد سجّلت درجة الحرارة هذه ، فى مكان يقع فى مدينة كاليفورنيا بالولايات المتحدة الامريكية ، ويطلق عليه اسم « وادى الموت » . ولا تزيد درجة الحرارة فى اسيا الوسطى – من اكثر المناطق حرارة فى الاتحاد السوفييتى – على ٥٠° مئوية .

ان درجات الحرارة المشار اليها اعلاه ، قيست فى الظل . واوضح بهذه المناسبة ، سبب اهتمام علماء الارصاد الجوى ، بقياس درجة الحرارة فى الظل بالذات . ان هذا السبب يعود الى ان قياس درجة حرارة الهواء ، يتم بواسطة المحرار ، الذى يوضع فى الظل فقط . لاننا اذا وضعنا المحرار تحت اشعة الشمس ، فقد يؤدى ذلك الى تسخينه الى درجة تزيد كثيرا على درجة حرارة الهواء المحيط به ، ولا تكون درجة الحرارة التى يشير اليها ، هى درجة حرارة الهواء المحيط بالفعل . ولذلك ، يكون من العبث ان نتحدث

عن الجو الحار ، استنادا الى درجة الحرارة التى يسجلها المحرار الموضوع تحت اشعة الشمس .

وقد اجريت عدة تجارب لتعيين اقصى درجة حرارة ، يمكن ان يتحملها جسم الانسان . ثم ظهر انه عند التسخين التدريجى فى محيط من الهواء الجاف ، يستطيع الانسان تحمّل درجة حرارة ، تزيد كثيرا على درجة حرارة غليان الماء (١٠٠° مئوية) ، حتى أنها تصل الى ١٦٠° مئوية ، كما اثبت ذلك ، العالمان الفيزيائيان الانكليزيان بلاجدن وجينترى ، اللذان قضيا – فى سبيل التجربة – ساعات كاملة ، فى داخل فرن ساخن من افران الخبز . ويقول العالم تندال بهذا الصدد :

« ان الانسان يستطيع البقاء بلا اذى ، فى غرفة حارة ، يمكن استخدام الهواء الموجود فيها لسلق البيض وقلى اللحم » .

بماذا تفسر قابلية التحمل هذه ؟ انها تفسر بان جسم الانسان فى الواقع ، لا يتقبل هذه الدرجة من الحرارة ، بل يحافظ على درجة حرارة ، قريبة من درجة حرارته الطبيعية . وهو يقاوم ارتفاع درجة حرارة الجو ، بالافراز الوفير للعرق . ان بتبخر العرق تمتص كمية كبيرة من الحرارة ، من طبقة الهواء الملاصقة للبشرة تماما ، الامر الذى يؤدى الى انخفاض درجة حرارته بمقدار كاف . والشرطان الوحيدان ، اللذان يجب توفرهما فى هذه الحالة ، هما عدم تلامس الجسم مباشرة مع مصدر الحرارة ، ووجود الهواء الجاف . ولهذا السبب ، يكون من السهل نوعا ما ، تحمل الحر فى آسيا الوسطى ، حيث تصل درجة الحرارة فى المعدل ، الى ٣٧° مئوية فما فوق ، فى الوقت الذى يصعب فيه على الانسان ، تحمل درجة حرارة قدرها ٢٤° مئوية ، فى مدينة لينينجراد . ويعود سبب ذلك بطبيعة الحال ، الى رطوبة الهواء فى لينينجراد ، وجفافه فى آسيا الوسطى ، حيث لا يسقط المطر الا نادرا جدا .

ترمومتر ام بارومتر ؟

توجد نكتة معروفة عن شخص ساذج ، امتنع عن الاستحمام ، لسبب غريب عبر عنه بقوله :

– عندما ادخلت البارومتر فى الحمام ، وجدته يشير الى وجود جو عاصف ، يجعل الاستحمام خطرا !

وعلى القارئ الا يفكر بانه يستطيع دائما ، ان يميز بين الترمومتر والبارومتر بسهولة . هناك بعض الترمومترات ، وبتغيير ادق ، ترموسكوبات ، يحق لنا ان نسمّيها بارومترات ، والعكس بالعكس . ومثال ذلك ، الترموسكوب القديم الذى ابتكره هيرون الاسكندرى (شكل ٨٣) . عندما تسخن اشعة الشمس الكرة الزجاجية ، يتمدد الهواء الموجود فى قسمها العلوى ويضغط على الماء ، فيدفعه الى داخل الانبوبة المنحنية ، ومنها الى الخارج . ويبدأ الماء بالخروج من فتحة الانبوبة على هيئة قطرات ، تنصب فى القمع ، وتنحدر منه الى الصندوق السفلى . اما عندما يكون الجو باردا ، فيحدث العكس ، حيث تقل مرونة الهواء الموجود فى الكرة الزجاجية ، فيؤدى ضغط الهواء الخارجى الى دفع الماء الموجود فى الصندوق ، الى داخل الانبوبة العمودية ، ومنها الى داخل الكرة الزجاجية .

شكل ٨٣ : الترموسكوب (المكشاف الحرارى) الذى اخترعه هيرون الاسكندرى .

الا ان لهذا الجهاز حساسية تجاه تغيرات الضغط البارومترى : عندما يقل الضغط الخارجى ، فان الهواء الموجود فى داخل الكرة – الذى يحافظ على الضغط المرتفع السابق – يتمدد ويدفع قسما من الماء الى داخل الانبوبة ، ومنها الى القمع . وعند ارتفاع الضغط الخارجى يندفع قسم من الماء من الصندوق الى الكرة ، نتيجة للضغط الكبير من الخارج . ان كل درجة حرارة زائدة او ناقصة ، تؤدى تغيرا مماثلا فى حجم

الهواء الموجود فى داخل الكرة ، ويساوى $\frac{٧٦٠}{٢٧٣}$ ، اى حوالى ٢,٥ مم من الفرق فى ارتفاع عمود الزئبق البارومترى .

وفى موسكو ، تصل التقلبات البارومترية الى ٢٠ مم فما فوق . وهذا المقدار يناظر ٨° مئوية ، فى ترموسكوب هيرون الاسكندرى – اى يمكن بسهولة ، اعتبار مثل هذا الانخفاض فى الضغط الجوى ، بمثابة ارتفاع فى درجة الحرارة ، مقداره ٨° مئوية .

وهكذا نرى ان الترموسكوب القديم ، لا يختلف بشىء عن الباروسكوب . وقد بيعت فى الاسواق ذات مرة ، بارومترات مائية ، كانت عبارة عن ترمومترات ، بنفس الدرجة المماثلة ، ولكن لم يشك احد من المشترين فى ذلك ، حتى ان الشك لم يساور مخترع الترمومترات بالذات ، حسبما يظهر .

ما هو الغرض من استخدام زجاجة المصابيح ؟

ان القليل من الناس فقط ، يعرفون ذلك الطريق الطويل الذى مرت به زجاجة المصباح ، قبل ان تأخذ شكلها العصرى الحديث . لقد استخدم الناس الشعلة لاجل الاضاءة ، على مدى عدة آلاف من السنين ، دون اللجوء الى الاستفادة من الزجاج فى هذا المجال . ثم جاء العالم العبقرى ليوناردو دافينشى (١٤٥٢ – ١٥١٩) ، وقام بهذا العمل المهم لتطوير المصباح . ولكن ليوناردو لم يحط الشعلة باسطوانة زجاجية ، بل باسطوانة معدنية ، وقد مرت على ذلك ثلاثة قرون من الزمن ، قبل ان يتوصل الانسان الى استبدال الاسطوانة المعدنية باسطوانة من الزجاج الشفاف . وكما يتضح لنا ، فان زجاجة المصباح هى عبارة عن اختراع عملت على ايجاده عشرات الاجيال من البشر .

ما هو الغرض من استخدام زجاجة المصباح ؟ اننى اشك فى ان جميع القراء ، يستطيعون ان يجيبوا على هذا السؤال الطبيعى ، اجابة صحيحة . ان حماية الشعلة من الريح ، هى الدور الثانوى للزجاجة ، اما الدور الرئيسى لها فيتمثل فى زيادة تألق

الشعلة وفى تعجيل عملية الاحتراق . ان دور الزجاجة هو نفس دور مدخنة الفرن او المصنع ، المتمثل فى تقوية تيار الهواء المندفع نحو الشعلة ، مما يؤدى الى زيادة سحب الهواء .

وسنشرح هذه العملية الآن . ان الشعلة تسخن عمود الهواء الموجود داخل الزجاجة ، اسرع بكثير من تسخينها للهواء المحيط بالمصباح . وعندما يسخن الهواء ويصبح نتيجة لذلك اخف مما هو عليه ، وبموجب قانون ارخميدس ، يطرد الى الاعلى من قبل الهواء الثقيل البارد ، الذى يدخل من الاسفل من خلال الفتحات الموجودة فى قاعدة فتيلة المصباح .

وبهذا الشكل ، يتكون تيار دائم من الهواء ، يتجه من الاسفل الى الاعلى ، ويعمل باستمرار على سحب نواتج الاحتراق الى خارج الزجاجة ، وادخال الهواء النقى اليها . وبزيادة ارتفاع الزجاجة ، يزداد الفرق بين وزنى عمودى الهواء الساخن والبارد ، وتزداد بذلك شدة اندفاع تيار الهواء النقى ، وبالتالى تزداد سرعة الاحتراق . وهذا هو نفس العامل الذى يفسر لنا سبب انشاء المداخن العالية جدا .

ومما يلفت النظر ، ان ليوناردو كان قد ادرك هذه الظاهرة بوضوح ، حيث نجد فى مخطوطاته العلمية ، الملاحظة التالية : « يتكون حول النار اينما وجد ، تيار من الهواء ، يغذيها ويزيد من اشتعالها » .

لماذا لا تنطفىء الشعلة من تلقائها ؟

اذا فكرنا مليّا فى عملية الاحتراق ، سيتبادر الى اذهاننا السؤال التالى ، بصورة لا ارادية : لماذا لا تنطفئ الشعلة من تلقائها ؟ ان نواتج الاحتراق تتكون من غاز ثانى اوكسيد الكربون وبخار الماء ، وهما لا يحترقان ولا يساعدان على الاحتراق . اذن يجب ان تحاط الشعلة فى اللحظة الاولى لاحتراقها ، بمواد لا تحترق ، تعرقل وصول تيار الهواء الى الشعلة ؛ ولما كان استمرار الاحتراق بدون هواء ، يعتبر امرا مستحيلا ، اذن يجب ان تنطفئ الشعلة ؛

ولكن لماذا لا يحدث ذلك ؟ ولماذا يستمر الاحتراق الى ان ينتهى احتياطى الوقود باجمعه ؟ ان هذا يعود الى شىء واحد فقط ، وهو ان الغازات تتمدد بالتسخين ، وبالتالى تصبح اخف مما كانت عليه قبل تسخينها . وبفضل ذلك وحده ، لا تبقى نواتج الاحتراق الساخنة فى المحل الذى تكونت فيه ، بجوار الشعلة مباشرة ، بل تطرد فى الحال الى الاعلى من قبل الهواء النقى . ولو كان قانون ارخميدس لا ينطبق على الغازات (او لولا وجود الجاذبية) ، لاحترقت كل شعلة لوهلة قصيرة ، ثم انطفأت من تلقائها .

ويمكن بسهولة ، التأكد من التأثير الماحق الذى تحدثه نواتج الاحتراق بالنسبة للشعلة . وكثيرا ما يلجأ القارئ الى الاستفادة من هذا التأثير ، عندما يريد اطفاء شعلة المصباح ، دون ان يلتفت الى ذلك . كيف نطفئ شعلة مصباح الغاز؟ ننفخ فيها من الاعلى ، اى نجعل نواتج الاحتراق تهبط الى الاسفل نحو الشعلة ، فتنطفئ من تلقائها ، بعد ان نمنع تيار الهواء من الوصول اليها بحرية .

الفصل الذى لم يفكر جول فيرن فى كتابه

حدثّنا جول فيرن بالتفصيل ، عن ابطاله الثلاثة الشجعان ، وعن كيفية قضائهم الوقت فى داخل القذيفة التى انطلقت بهم نحو القمر . ولكنه لم يحدثنا عن كيفية قيام ميشيل اردان بمهمة الطاهى ، فى هذه الحالة غير الطبيعية . ربما تصور مؤلف الرواية ، ان عملية الطهى داخل القذيفة المنطلقة ، هى من الامور التى لا تستحق الذكر . اذا كان الامر كذلك ، فقد كان جول فيرن على خطأ ، ذلك لان كافة الاشياء الموجودة فى داخل القذيفة المنطلقة ، تصبح عديمة الوزن *. لقد غابت هذه الحالة عن ذهن جول فيرن . واعتقد ان القارئ يتفق معى فى ان الطهى فى مطبخ عديم الوزن ، يمثل مشهدا جديرا بالوصف حقا ، ولا يسعنا الا ان نأسف لان مؤلف رواية « رحلة

* ان هذه الحالة الطريفة ، مشروحة بالتفصيل فى الكتاب الاول من « الفيزياء المسلية » .

الى القمر » لم يتطرق الى هذا الموضوع . وسأحاول بمقدار استطاعتى ان اسد هذا الفراغ الموجود فى رواية جول فيرن ، وذلك بالتطرق الى هذا الموضوع ، لكى اعطى للقراء فكرة بسيطة عن مدى التأثير الذى كان سيحدثه هذا الموضوع ، لو تناوله جول فيرن بقلمه بالذات .

ولا بد للقارئ عند مطالعة هذا الموضوع ، ان يتذكر دائما بان الجاذبية داخل القذيفة معدومة ، كما ذكرنا سابقا ، وبان كافة الاشياء الموجودة داخلها ، عديمة الوزن .

تناول طعام الفطور فى مطبخ عديم الوزن

قال ميشيل اردان ، مخاطبا مرافقيه فى الرحلة الكونية :

— ايها الاصدقاء ، اننا لحد الآن لم نتناول طعام الفطور . اذا كنا قد فقدنا الوزن ونحن فى داخل القذيفة ، فهذا لا يعنى اننا قد فقدنا الشهية مطلقا . اننى ساعد لكم طعام فطور عديم الوزن ، سيتكون بلا شك من اخف اصناف الطعام فى العالم على الاطلاق .

وبدون انتظار جواب الاصدقاء ، بدأ اردان فى اعداد الطعام . وعندما كان يحاول رفع سدادة دورق الماء الكبير تمتم قائلا :

— يبدو ان دورق الماء فارغ ، ولكن منظره هذا ، لن يخدعنى ، لاننى اعرف السبب الذى جعله يبدو خفيفا بهذا الشكل . . . وها انذا قد رفعت السدادة ، فليسمح الدورق بسكب الماء العديم الوزن فى القدر !

وامال دورق الماء الى مختلف الاتجاهات ، ولكن الماء مع ذلك لم ينسكب منه .

واتى نيقولا لمساعدته وهو يقول :

لا تتعب نفسك يا صديقى اردان ، يجب ان تفهم بان الماء الموجود فى ظروف انعدام الجاذبية ، كما هى الحالة فى قديفتنا هذه ، لن ينسكب من الدورق . وعليك ان تصبه برج الدورق ، كما تصب الشراب الكثيف .

ولم يطل اردان التفكير ، واخذ يضرب قاعدة الدورق المقلوب ، براحة يده عدة ضربات . وحدثت مفاجأة جديدة . اذ تكونت عند عنق الدورق فى الحال ، كرة منتفخة من الماء بحجم قبضة اليد . وقال اردان بدهشة :

— ماذا حدث للماء ؟ اننى اعترف بان هذا شئ مدهش حقا ! ارجوكم يا اصدقائى العلماء ان تفسروا لى سبب هذه الظاهرة .

— انها قطرة يا عزيزى اردان ، قطرة ماء عادية . ان القطرات يمكن ان تكون كبيرة جدا ، فى العالم الذى تنعدم فيه الجاذبية . . . وتذكر بان السوائل لا تأخذ شكل الاناء الذى توضع فيه ، ولا تتدفق على هيئة سيل ، الا بتأثير الجاذبية فقط . اما هنا ، فلا وجود للجاذبية ، وقد ترك السائل لتأثير قواه الذرية الداخلية ، مما جعله يأخذ شكلا كرويا ، كشكل قطرة الزيت فى تجربة بلاتو المشهورة . واجاب اردان بانفعال :

— ان تجربة بلاتو لا تهمنى مطلقا ! يجب ان اجعل الماء يغلى لاطهى الحساء ، واقسم لكم بان اية قوى ذرية ، لن تمنعنى من القيام بذلك .

وبدأ ينفض الماء بعنف فوق القدر التى تحوم فى الهواء ، ولكن كل شئ كان ضده على ما يظهر . ان قطرات الماء الكبيرة ، زحفت الى اعلى القدر بمجرد ملامستها لها . ولم ينته الامر عند هذا الحد ، بل جرى الماء من جدران القدر الداخلية ، منتقلا الى الجدران الخارجية وسرعان ما اصبحت القدر مغلفة بطبقة سميكة من الماء . ولم تكن هناك اية امكانية لغلى الماء بهذا الشكل . وقال نيقولا مخاطبا اردان الحانق بصوت هادئ :

— ان هذه تجربة طريفة ، تثبت مدى عظمة قوة التماسك . لا تقلق يا اردان ، فالامر هو عبارة عن عملية تبلل الاجسام الصلبة بالسوائل ، الا ان الجاذبية فى هذه الحالة ، لا تعرقل تطور هذه العملية الى اقصى حد .

واعترض اردان على ذلك قائلا :

— مع مزيد الاسف ، ان الجاذبية لا تعرقل هذه العملية هنا ! ولكن ان كانت هذه عملية تبلل او غيرها من العمليات الاخرى ، فهذا لا يهمنى . لاننى لا بد وان

اجعل الماء يغلي في داخل القدر وليس من حواليها. يا لها من حالة عجيبة ! ان اي طاه في العالم لن يوافق على طهي الحساء في مثل هذه الظروف !

وتدخل باربيكين في الحديث ، وقال بلهجة مهدئة :

— انك تستطيع عرقلة عملية التبلل بسهولة ، اذا كانت تزعجك الى هذا الحد . تذكر بان الماء لا يبلل الاجسام التي تدهن ولو بطبقة رقيقة من الشحم . ادهن القدر من الخارج بطبقة من الشحم ، وسترى بان الماء سيبقى في داخلها .

وهنا ، تهلل وجه اردان من الفرح ، وقال وهو ينفذ نصيحة صديقه :

— مرحى ! هذا هو العلم الحقيقي . ثم بدأ بعد ذلك يغلي الماء على شعلة مصباح الغاز . ان كل شيء يقف بقوة ضد اردان ويعاكسه ، حتى فتيلة مصباح الغاز بدورها ، بدأت تعاكسه . اذ اشتعلت بلهب ضئيل لمدة نصف دقيقة ثم انطفأت لسبب مجهول .

وحاول اردان بكل صبر وأناة ، ان يجعل الفتيلة تعاود الاشتعال ، ولكن جهوده كلها ذهبت ادراج الرياح ، حيث تعذر اشعالها تماما . واستغاث اردان اليائس باصدقائه متسائلا :

— باربيكين ، نيقولا ! يا ترى اليست هناك اية وسيلة لاشعال فتيلة المصباح العنيدة ، طبقا لما تفرضه عليها قوانين الفيزياء ، وانظمة شركات الغاز ؟

وهنا انبرى له نيقولا موضحا :

— ولكن لا يوجد هنا اي شيء غريب او غير متوقع ان هذه الفتيلة تشتعل كما يراد منها بالضبط ، طبقا لقوانين الفيزياء . اما فيما يتعلق بشركات الغاز ، فاعتقد انها كانت ستفلس تماما لولا وجود الجاذبية . انك تعلم بانه عند الاحتراق ، يتكون غاز ثاني اوكسيد الكربون وبخار الماء ، وهما من الغازات التي لا تحترق . وعادة لا تبقى نواتج الاحتراق هذه ، بقرب الشعلة بالذات ، لان تيار الهواء النقي ، يطردها الى الاعلى لانها اخف منه نتيجة لسخونتها . ولكن هنا لا توجد جاذبية . لذا ، فان نواتج الاحتراق هذه تبقى في اماكن نشوئها ، وتحيط الشعلة بطبقة من الغازات التي لا تحترق ، وتمنع وصول الهواء النقي اليها . ولهذا السبب ، فان الفتيلة هنا تشتعل

بضآلة ثم تنطفئ بسرعة . وعلى هذا الاساس يبنى تأثير مطافئ الحريق ، حيث يحاط اللهب بغازات لا تحترق .

وقاطعه اردان قائلا :

— افهم من قولك هذا ، انه لولا وجود الجاذبية الارضية ، لما كنا بحاجة الى فرق اطفاء الحريق على سطح الارض ، لان الحريق سينطفئ من نفسه ، حيث يختنق بانفاسه الخاصة .

— هذا هو عين الصواب . اما الآن ، فلطهي الطعام ، اشعل الفتيلة مرة ثانية وانفخ الشعلة . وارجو ان نتمكن من خلق جاذبية اصطناعية ، وجعل الفتيلة تشتعل كما يحدث على سطح الارض .

وهذا ما تم بالضبط حيث اشعل اردان الفتيلة مرة ثانية وبدأ بطهي الطعام ، وهو يتتبع بشماتة ، كيفية قيام نيقولا وباربيكين بنفخ الشعلة وترويحها على التوالي ، لا يصال الهواء النقي اليها بصورة مستمرة . اما اردان ، فقد كان يفكر في قرارة نفسه ، بان اصدقاءه وعلمهم ، هم المسئولون عن كل هذه المشاكل التي تواجهه .

وهذرم اردان قائلا :

انكما تقومان الى حد ما ، بدور مدخنة المصنع ، وذلك بالابقاء على الجاذبية . انني ارثي لحالكم يا اصدقائي العلماء ، ولكننا اذا اردنا ان نتناول طعام فطور ساخن ، يجب ان نخضع لتعاليم الفيزياء .

وعلى الرغم من هذا ، فقد مضت على هذه العملية ربع ساعة ، ونصف ساعة ، وساعة ولم يغل الماء الموجود في القدر ، ولم يظهر عليه انه سيغلي .

— يجب عليك التسلح بالصبر يا عزيزي اردان . انك تعلم بان الماء العادي الذي له وزن يسخن بسرعة — لماذا ؟ لسبب واحد فقط ، هو اختلاط طبقاته المختلفة ، وذلك بقيام الطبقات الباردة العليا بازاحة الطبقات السفلى الساخنة ، لانها اخف منها . ونتيجة لذلك ، ترتفع درجة حرارة السائل باجمعه بسرعة . هل اتفق لك مرة ان سخنت الماء من الاعلى وليس من الاسفل ؟ في هذه الحالة لن تختلط طبقات الماء المختلفة ،

لان الطبقات العليا الساخنة ، سوف تبقى فى محلها ولا تتحرك . ان موصلية الماء للحرارة ضئيلة جدا ، اذ يمكن تسخين طبقات الماء العليا الى درجة الغليان ، بينما نجد فى طبقاته السفلى قطعا من الجليد غير الذائب . اما فى عالمنا هذا ، الذى ينعدم فيه الوزن ، فليست هناك اية اهمية للجهة التى يسخن منها الماء ، لان طبقات الماء المختلفة لن تختلط مع بعضها فى داخل القدر ، ويجب ان يسخن الماء ببطء شديد . واذا اردت الاسراع من عملية التسخين ، فيجب عليك ان تقوم بتحريك الماء باستمرار .

وحذر نيقولا اردان طالبا منه عدم تسخين الماء الى ١٠٠° مئوية ، والاكتفاء بتسخينه الى درجة تقل عن ذلك بقليل . وعند تسخين الماء الى ١٠٠° مئوية ، يتكون بخار كثير ، يكون له فى هذه الحالة وزن نوعى ، يساوى الوزن النوعى للماء (وكلاهما يساوى صفرا) ، وسوف يختلط هذا البخار مع الماء ، وتنتج عن اختلاطهما رغوة متجانسة .

وقد حدثت مفاجأة مزعجة للحمص . فعندما فتح اردان كيس الحمص ونفضه بهدوء ، تطايرت حبات الحمص فى الهواء واخذت تحوم فى جو الحجرة بلا توقف ، مصطدمة بالجدران ومرتدة عنها ، وهكذا . وكانت حبات الحمص « الطائرة » ، على وشك ان تسبب للرحالة كارثة مروعة ، فقد سحب نيقولا اثناء تنفسه احدى هذه الحبات الى داخل حنجرته بطريق الصدفة ، وسعل بشدة بحيث اصبح على وشك الاختناق . ولتخلص من هذا الخطر وتنقية الجو ، بدأ اصدقاؤنا العمل بمواظبة على اقتناص حبات الحمص الطائرة ، بنفس الشبكة التى اعدها اردان مسبقا ، لاجل « اقتناص مجموعة من الفراشات القمرية » .

ولم تكن عملية الطهى سهلة فى مثل هذه الظروف . وقد كان اردان على حق ، عندما اكد لزملائه بان امهر الطهاة يعجزون عن الطهى هنا . وقد حدثت مضايقات كثيرة عند قلى قطع اللحم . اذ كان لا بد من تثبيت تلك القطع باستمرار بواسطة الشوكة ، والا لكانت ابخرة السمن المرتفعة ، المتكونة تحت قطع اللحم ، ستدفع هذه القطع الى الاعلى ، وتبعدها عن المقلاة وهى نصف مقلية — هذا اذا جاز لنا استخدام كلمة الاعلى ، حيث ليس هناك « اعلى » ولا « اسفل » .

وقد بدت عملية تناول الطعام ، بمظهر غريب فى هذا العالم العديم الجاذبية . فقد تعلق الاصدقاء فى الهواء باوضاع مختلفة للغاية ، بدون ان يفقدوا حيويتهم ، وكانت رؤوسهم تصطدم مع بعضها فى كل دقيقة . ولم يتمكنوا من الجلوس بطبيعة الحال . وليست هناك اية فائدة ترجى من وجود الكراسى والارائك والمقاعد الطويلة وغيرها ، فى عالم تنعدم فيه الجاذبية . وفى الحقيقة ، لم تكن هناك اية حاجة لمنضدة الطعام ، لولا رغبة اردان الملحة فى تناول طعام الفطور « على المائدة » .

وكان من الصعب طهى الحساء ، ولكن تناوله كان اصعب من ذلك . وتكمن الصعوبة الاولى ، فى عدم امكانية صب الحساء العديم الوزن فى الاطباق . وعندما حاول اردان ان يفعل ذلك ، كان على وشك التضحية بجهوده التى بذلها فى الصباح ، ناسيا بان الحساء عديم الوزن ، وضرب بيده قاعدة القدر المقلوب بحنق ، ليطرد منها الحساء العنيد . واخيرا ، خرجت من القدر قطرة كروية كبيرة جدا ، وهى عبارة عن حساء مكور . وكان على اردان ان يصبح مثل البهلوان ، لكى يقبض على الحساء الذى حضره بصعوبة بالغة ، ويعيده الى القدر مرة ثانية .

وقد ذهبت محاولة استخدام الملاعق ، ادراج الرياح ، حيث بلل الحساء الملعقة باجمعها حتى الاصابع ، وتدلى منها مثل حجاب صلب . ودهنوا الملاعق بالسمن لكى يمنعوا حدوث التبلل ، ولكن هذه العملية لم تفد شيئا ، اذ تكور الحساء على الملعقة ، ولم تكن هناك اية امكانية لا يصال هذه الحبة العديمة الوزن ، الى الفم بسلام .

وفى نهاية الامر ، توصل نيقولا الى حل لهذه المشكلة ، حيث جهز انابيب من الورق المشمع ، استطاعوا بواسطتها ان يتناولوا الحساء بسحبه الى الفم بطريقة المص . وبهذه الطريقة ، كان الاصدقاء يشربون الماء والخمر وبقية السوائل بصورة عامة (لقد كتب الى الكثيرون من قراء الطبعات السابقة لهذا الكتاب ، يعبرون عن دهشتهم لما قيل حول امكانية شرب السوائل ، فى الوسط الذى تنعدم فيه الجاذبية — حتى بالطريقة التى اشرت اليها الآن ؛ وذلك لان الهواء الموجود فى داخل القذيفة المنطلقة ، يكون عديم الوزن ، وبالتالى فانه لا يحدث اى ضغط ، وعند عدم وجود الضغط ،

لا يمكن الشرب بامتصاص السائل الى داخل الجسم . وقد ادلى بعض النقاد بارائهم حول هذا الاعتراض بطريقة غريبة ، ونشرت تلك الاراء فى الصحف) .

وبهذه المناسبة، من الواضح جدا ، ان فقدان الهواء لوزنه فى مثل هذه الظروف ، ليس له اى ارتباط بعدم وجود الضغط ، لان ضغط الهواء الموجود فى فراغ مسدود ، لا ينتج عن وزن الهواء ، بل عن محاولة الهواء — كغاز — التمدد الى اقصى حد. اما فى الفراغ المفتوح على سطح الارض ، فتلعب الجاذبية الارضية ، دور الجدران التى تحول دون هذا التمدد . ان هذه العلاقة المألوفة ، هى التى اوقعت النقاد فى الضلال) .

ان مسألة تناول الطعام فى الفضاء الكونى ، اصبحت مادة للدراسة الجدّية عند الاعداد لرحلات كونية طويلة الامد . وقد تم صنع عجائن خاصة للتغذية ، موضوعة داخل انابيب خاصة ، مثل معجون الاسنان . اما الماء الموجود على متن السفن الفضائية ، فيوضع فى خزانات خاصة ، يشرب منها رجال الفضاء بواسطة خراطيم لينة . وفيما يتعلق بالطعام الصلب ، مثل الخبز واللحم ، فانها تعبأ على هيئة قطع صغيرة ، يمكن وضعها فى الفم مباشرة .

لماذا يطفىء الماء النار ؟

ان اجابات القراء على هذا السؤال البسيط جدا ، لا تكون صحيحة دائما . وارجو الا يؤاخذنى القراء ، اذا شرحت لهم باختصار تأثير الماء على النار .

اولا عندما يلمس الماء جسما ملتهبا ، فانه يتحول الى بخار ويأخذ بذلك كمية كبيرة من حرارة الجسم الملتهب . ولتحويل الماء المغلى الى بخار ، نحتاج الى كمية من الحرارة ، تزيد على خمسة اضعاف الحرارة اللازمة لتسخين نفس الكمية من الماء البارد الى ١٠٠° مئوية .

ثانيا . ان حجم الابخرة المتكونة اثناء ذلك ، يزيد على حجم الماء الناتجة عنه بمئات المرات . وعندما تحيط الابخرة بالجسم الملتهب ، تمنع وصول الهواء اليه . وبدون هواء لا يحدث احتراق . ولزيادة قوة اطفاء الماء للنار ، يضاف الى الماء احيانا

قليل من البارود ! قد يبدو هذا التصرف غريبا ، ولكنه معقول تماما ، ذلك لان البارود يحترق بسرعة ، ويحرر كمية كبيرة من الغازات غير المحترقة ، التى تحيط بالجسم الملتهب ، وتعرقل احتراقه فيما بعد .

اطفاء النار بالنار

ربما سمع القراء بان احسن وسيلة — واحيانا الوسيلة الوحيدة — لاطفاء ومكافحة حرائق الغابات او السهول ، هى حرق الغابة او السهل من الجهة المقابلة . وفى هذه الحالة ، سيزحف اللهب الجديد لمقابلة الحريق الهائل الاول . ويلتهم فى طريقه المواد القابلة للاحتراق ، وبذلك يحرم النار من الوقود . وحالما يلتقى الحريقان ، يخمد كلا جدارى النار فى الحال ، كما لو كان كل منهما قد التهم الآخر .

وربما يكون القراء قد طالعوا كتاب « البرية » لمؤلفه كوبر ، ووجدوا فيه وصفا لكيفية استخدام هذه الطريقة ، لاطفاء الحرائق التى تنشب فى السهول الامريكية . ولا يمكن نسيان تلك اللحظة الدراماتيكية ، عندما قام الصياد الشيخ ، بانقاذ حياة السياح من موت محقق ، عندما حاصرتهم النيران فى السهل . ونقدم للقراء هذا المقتطف من كتاب « البرية » :

« وبدا الشيخ فجأة ، وكأنه قد صمم على القيام بعمل ما ، ثم قال :

— لقد حانت لحظة العمل .

وهتف ميدلتون مخاطبا الشيخ :

— انك تذكرت هذا فجأة بعد فوات الاوان ، ايها الشيخ البائس . ان النار تبعد عنا بمسافة ربع ميل ، والريح تقربها منا بسرعة مذهلة !

— النار ! اننى لا اخاف النار كثيرا . هلموا ايها الشجعان ، واقلعوا هذا العشب اليابس من هنا ، حتى تصبح الارض خالية منه تماما .

وخلال فترة قصيرة جدا من الزمن ، تم قلع العشب من مساحة من الارض يبلغ قطرها عشرين قدما ، واصبحت نظيفة تماما . ودعا الشيخ النساء ، الى الوقوف عند

شكل ٨٤ : اطفاء حريق البرية بواسطة النار .

احدى حافات هذه المساحة الصغيرة من الارض ، وطلب منهن ان يغطين ثيابهن الخفيفة بالملاحف ، لحمايتها من النار ، التى يمكن ان تلتهمها . وبعد اخذ الاحتياطات اللازمة ، اتجه الشيخ الى الحافة المقابلة ، حيث كانت النار تحيط السياج بطوق كبير ، وتناول حفنة من العشب اليابس جدا ، واشعل فيه النار . واندلعت النار حالا فى هذه المادة السريعة الالتهاب . وعندئذ قام الشيخ برمى هذه الشعلة فى وسط الخميلة العالية ، وتراجع الى مركز الحلقة ، واخذ ينتظر بصبر نتيجة عمله .

وانقضت النار المهلكة على العشب الجديد لكى تلتهمه بشراهة ، وفى لحظة واحدة مدت اليه السنتها المحرقة .

وقال الشيخ :

— سترون الآن كيف يقضى النار على النار .

وهتف ميدلتون بصوت علته الدهشة :

— ترى ، الا يشكل هذا خطرا علينا ، ويعمل على تقريب العدو منا ، بدلا من ابعاده ؟

وازدادت النار اشتعالا ، واخذت تنتشر فى جهات ثلاث ، فى الوقت الذى همدت فيه عند الجهة الرابعة ، لعدم كفاية العشب . وكلما ازدادت النار اشتعالا واشتد هياجها ، فانها اتت على كل ما وقف فى طريقها ، وتركت وراءها ارضا سوداء يتصاعد منها الدخان ، خالية من العشب ، اكثر مما لو كانت المناجل قد حصدت كل العشب الموجود فيها من جذوره . وكانت حالة الرحالة الهاربين ستزداد خطورة ، لو لم تتوسع رقعة الارض التى نظفوها من العشب ، كلما احاطت بها النار من بقية الجهات الاخرى . وبعد عدة دقائق ، بدأت النار بالتراجع من جميع الجهات ، تاركة الرحالة بعد ان لفتهم بسحابة من الدخان ، ولكنهم اصبحوا فى مأمن تام من السنة النار ، التى ما زالت تندفع الى الامام بشدة .

وقد تطلع المشاهدون الى هذه الطريقة البسيطة ، التى استخدمها الشيخ ، بنفس الدهشة التى تطلع بها ندماء الملك فرناند الى طريقة كولومبس لايقاف البيضة على رأسها » . الا ان طريقة اطفاء حرائق الغابات والسهول هذه ، ليست بسيطة جدا كما يبدو لاول وهلة . ان استخدام النار المضادة لاطفاء الحرائق ، يجب ان يتم على يد شخص خبير فقط ، والا فقد تصبح الكارثة اعظم هولا .

ويستطيع القارئ ان يدرك مدى الحذاقة اللازمة لهذا الغرض ، اذا طرح على نفسه السؤال التالى : لماذا اندفعت النار التى اشعلها الشيخ ، لملاقاة الحريق ، ولم تندفع فى الاتجاه المعاكس ؟ ان الريح هبت من ناحية الحريق ، وساقت النار نحو الرحالة !

ويظهر من ذلك ان النار التى اشعلها الشيخ ، وجب الا تندفع باتجاه الحريق الكبير ، ولكن الى الوراء نحو السهل . ولو حدث هذا الامر ، لاحيط الرحالة بطوق من نار ، وقضوا نحبهم بالتأكيد .

اين يكمن سر ما قام به الشيخ ؟ ان السر يكمن فى معرفة احد قوانين الفيزياء البسيطة . فعلى الرغم من هبوب الريح من ناحية الحريق ، متجهة نحو الرحالة ، ولكن فى الامام ، بالقرب من النار ، يجب ان ينشأ تيار هواء معاكس ، يندفع لملاقاة

الحريق . وفى حقيقة الامر ، بعد ان يسخن الهواء الموجود فوق النار الهائلة ، يصبح اخف مما هو عليه ، ويطرد الى الاعلى من قبل الهواء البارد المندفع من كافة جهات السهل ، البعيدة عن الحريق . ولهذا السبب ينشأ بالقرب من حدود النار ، تيار هواء يندفع نحو اللهب . ويجب اشعال النار المضادة ، فى تلك اللحظة التى يقترب فيها الحريق الى حد ، نحس عنده بوجود تيار الهواء المذكور . وهذا ما يفسر لنا سبب عدم قيام الشيخ باشعال النار مبكرا ، وانتظاره اللحظة المناسبة بهدوء . ولو قام الشيخ باشعال النار فى العشب ، قبل الوقت المناسب بقليل ، حيث لاوجود لتيار الهواء المضاد بعد ، لانتشرت النار فى الاتجاه المعاكس ، وضيقت الخناق على الرحالة واهلكتهم . كما ان القيام بهذه العملية فى وقت متأخر قد لا يقل خطورة عن القيام بها فى وقت مبكر . ذلك لان النار فى هذه الحالة كانت ستقترب جدا من الرحالة .

هل يمكن ان نغلى الماء فى الماء المغلى ؟

ليأخذ القارئ زجاجة صغيرة او قنينة ، ويصب فيها ماء ، ثم يضعها فى داخل قدر موضوع على النار ومملوء بالماء النقى ، بحيث لا تلامس تلك الزجاجة او القنينة قعر القدر . ويجب على القارئ والحالة هذه ، ان يعلق الزجاجة بانشوطة سلكية . وعندما يغلى الماء الموجود فى القدر ، سيتوقع القارئ بان الماء الموجود فى داخل الزجاجة ، سيغلى هو الآخر بعد قليل . ولكن القارئ سوف لن يرى ذلك مهما طال انتظاره ، لان الماء الذى فى داخل القنينة سيصبح حارا جدا ، ولكنه لن يغلى . وبهذا يبدو ان الماء المغلى ليس على درجة كافية من الحرارة ، ليجعل الماء الآخر يغلى .

ان هذه النتيجة تبدو وكأنها غير متوقعة ، بينما كان من الواجب ان نتوقعها . ولكى نجعل الماء يغلى ، يجب الا نكتفى بتسخينه الى ١٠٠° مئوية فقط ، بل يجب تزويده بكمية اخرى كبيرة من الحرارة ، لتحويل الماء الى حالة اخرى من حالاته الدورية ، وهى حالة البخار بالذات .

ان الماء النقى يغلى عند ١٠٠° مئوية،ولا ترتفع درجة حرارته الى اكثر من هذا

الحد فى الظروف العادية ، مهما زدنا من تسخينه . وهذا يعنى ان درجة حرارة مصدر الحرارة ، الذى سخنا بواسطته الماء الموجود فى القنينة ، تبلغ ١٠٠° مئوية ؛ ويمكنه تسخين الماء الموجود فى داخل القنينة الى ١٠٠° مئوية فقط . وعندما تتساوى درجتى الحرارة ، يتوقف انتقال الحرارة من الماء الموجود فى القدر ، الى القنينة . وهكذا نرى انه بتسخين الماء الموجود فى القنينة بهذه الطريقة ، فاننا لا يمكن ان نزوده بكمية الحرارة اللازمة لتحويل الماء الى بخار (لتحويل كل جرام واحد من الماء المسخن الى ١٠٠° مئوية الى بخار ،نحتاج الى كمية اخرى من الحرارة تزيد على ٥٠٠ سعر حرارى) .

وقد يتبادر الى ذهن القارئ السؤال التالى : ما الفرق بين الماء الموجود فى القنينة ، والماء الموجود فى القدر ؟ ان الماء الموجود فى القنينة ، هو نفس الماء الموجود فى القدر ، ولكنه منفصل عن الاخير بواسطة جدران القنينة . اما لماذا لا يحدث له نفس الشئ الذى يحدث للماء الباقى ، فسبب ذلك هو ان جدران القنينة تمنع الماء الموجود فى داخلها ، من الاشتراك فى تلك التيارات التى تحرك الماء الموجود فى القدر باجمعه . ان كل دقيقة من دقائق الماء الموجود فى القدر ، يمكن ان تلامس القعر الحامى مباشرة ، اما دقائق الماء الموجود فى داخل القنينة ، فيمكن ان تلامس الماء المغلى فقط .

وهكذا نرى انه لا يمكن غلى الماء ، بواسطة الماء المغلى النقى وحده . ولكن ما ان نضيف الى ماء القدر قليلا من الملح ، حتى نرى بان الامر قد تغير تماما . ان الماء المالح لا يغلى عند درجة ١٠٠° مئوية ، بل اكثر من ذلك بقليل ، وهكذا يمكنه بدوره ، ان يجعل الماء النقى يغلى فى داخل القنينة الزجاجية .

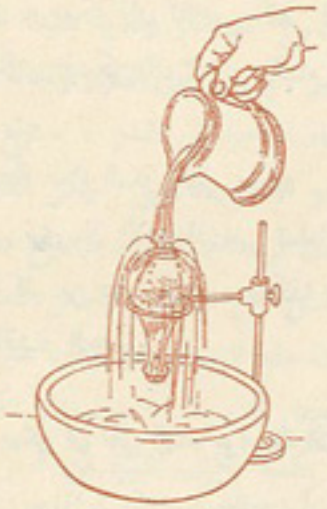
هل يمكن ان نغلى الماء بواسطة الثلج ؟

ان بعض القراء سيجيبون على ذلك بما يلى : « اذا لم يكن باستطاعتنا أن نغلى الماء فى داخل الماء المغلى ، فكيف اذن سنغليه فى الثلج ! » انى انصح القراء بعدم

التسرع فى الاجابة ، والقيام بالتجربة التالية ، ولو باستخدام نفس القنينة الزجاجية ، التى استخدمناها فى التجربة السابقة .

املأ القنينة الى منتصفها بالماء ، واغمرها فى الماء المالح المغلى . وعندما يغلى الماء فى داخل القنينة ، ارفع القنينة من القدر ، وسد فوهتها بسرعة ، بسدادة من الفلين معدة سابقا لهذا الغرض . والآن اقلب القنينة وانتظر الى ان يتوقف غليان الماء الموجود فى داخلها . وبعد حلول هذه اللحظة ، صب الماء المغلى على الزجاجة ، وستجد ان الماء مع ذلك لن يغلى . ولكن اذا وضعت على قاعدة الزجاجة قليلا من الثلج ، او اذا صببت على الزجاجة ماء باردا فقط ، كما هو مبين فى الشكل ٨٥ ، فسترى بان الماء يبدأ بالغليان . وهكذا فعل الثلج ، ما لم يفعله الماء المغلى !

ومما يزيد من حيرة الانسان ، انه لن يشعر بحرارة عالية عندما يلمس الزجاجة ، بينما يشاهد الماء بام عينيه ، وهو يغلى فى داخلها ! إن السر يكمن فى قيام الثلج بتبريد جدران القنينة الزجاجية ؛ ونتيجة لذلك يتكثف البخار ، ويتحول الى قطرات



شكل ٨٥ : ان الماء يغلى فى القنينة ، عندما نصب الماء البارد عليها .

شكل ٨٦ : النتيجة غير المتوقعة لتبريد علبة الصفيح .

من الماء . ولما كان الهواء قد طرد من القنينة الزجاجية قبل ذلك فى مرحلة الغليان ، فان الماء الموجود فى داخلها الآن ، يتعرض لضغط يقل عن السابق بكثير . ومن المعروف ، انه عند تقليل الضغط المؤثر على السائل ، فانه يغلى عند درجة حرارة ، اقل من درجة غليانه الطبيعية بكثير . وهكذا يكون لدينا فى داخل القنينة الزجاجية ، ماء مغلى ، ولكنه غير حار .

اما اذا كانت جدران القنينة الزجاجية رقيقة جدا ، فقد يؤدى تكثف البخار فى داخلها ، الى ما يشبه الانفجار ذلك لان ضغط الهواء الخارجى ، عندما لا يلاقى مقاومة كافية من داخل القنينة ، يمكنه ان يحطمها فى الحال (وبهذه المناسبة ، فان كلمة « انفجار » غير مناسبة فى هذه الحالة) . ولهذا ، من الافضل استخدام قنينة كروية الشكل ، مثلا دورق محدب القعر ، لكى يضغط الهواء الخارجى على الجزء المحدب .

والاكثر امانا ، اجراء هذه التجربة باستخدام علبة من الصفيح . وبعد ان نغلى فى داخلها قليلا من الماء ، نسد فتحتها باحكام ، ونصب عليها ماء باردا . وسوف نرى بان العلبة المحتوية على بخار الماء ، ستتجعد فى الحال تحت تأثير الضغط الخارجى للهواء ، وذلك لان البخار فى داخلها قد تكثف وتحول الى ماء ، بعد ان تعرض للتبريد . وستبدو العلبة بعد ذلك مجعدة كما لو اننا قد طرقناها بمطرقة ثقيلة (شكل ٨٦) .

الحساء الناتج عن غلى البارومتر

حدثنا الكاتب الامريكى الساخر مارك توين ، فى كتابه « رحلة الى الخارج » ، عن احدى وقائع تجواله فى جبال الالب — وهى واقعة وهمية بطبيعة الحال :

« لقد انتهت متاعبنا ، ولهذا استطاع الرجال ان يرتاحوا . اما انا ، فقد اتيحت لى الفرصة اخيرا ، للالتفات الى الناحية العلمية للبعثة الاستكشافية . وقبل كل شىء ، اردت ان اعين ارتفاع الارض التى وقفنا عليها ، بواسطة البارومتر ، ولكن لم احصل على اية نتيجة مع الاسف . لقد عرفت من مطالعاتى العلمية ، بانه يجب ان نغلى اما

شكل ٨٧: ابحاث مارك توين العلمية.

الترمومتر او البارومتر ، للحصول على الدلائل المطلوبة . ولكننى ربما لم اكن متأكدا من غلى هذا او ذاك بالذات . ولهذا ، فقد قررت ان اغلى كليهما معا .

ولكننى مع ذلك ، لم احصل على اية نتيجة . ولما فحصت كلا المقياسين ، رأيت بانهما قد اصيبا بعطب تام حيث لم يبق فى البارومتر سوى المؤشر النحاسى ، اما بصلة الترمومتر ، فقد خلت الا من كتلة منكمشة من الزئبق . . .

وبحثت عن بارومتر آخر ، وكان جديدا للغاية وجيدا جدا . ثم غليته لمدة نصف ساعة فى قدر خزفية ، تحتوى على حساء الفول ، الذى كان الطاهى يعده للطعام . وكانت النتيجة غير متوقعة ، اذ توقف البارومتر عن العمل تماما ، واكتسب الحساء مذاقا حادا ، خاصا بالبارومتر ، الامر الذى جعل رئيس الطهاة — وهو رجل حاد الذكاء — يغير اسم الحساء فى قائمة الطعام . وقد نال هذا الصنف الجديد من الحساء ، استحسان الجميع بلا استثناء ، بحيث امرت الطهاة باعداد حساء من البارومتر فى كل يوم . وكان البارومتر بطبيعة الحال ، قد تلف تماما ، ولكننى لم اعره اهتماما خاصا . وبما انه لم يساعدنى على تعيين ارتفاع الارض ، فانى لست بحاجة اليه بعد الآن » .

والآن ، نترك المزاح جانبا ، ونحاول الاجابة على السؤال التالى : ما الذى يجب غليه فى الواقع ، الترمومتر ام البارومتر ؟

يجب ان نغلى الترمومتر ، اما السبب ، فساشرحه فيما يلى :

لقد رأينا من التجربة السابقة ، بانه كلما قل الضغط المؤثر على الماء ، كلما انخفضت درجة غليانه تبعا لذلك . وبما ان الضغط الجوى يقل ، كلما ارتفعنا الى اعلى الجبال ، اذن ، يجب ان تنخفض درجة غليان الماء فى نفس الوقت . وفى الواقع ،

اثبتت التجارب ان درجة غليان الماء النقى ، تعتمد على مقدار الضغط الجوى ، كما تبينه الارقام المدرجة ادناه :

درجة الغليان (مئوية)	١٠١	١٠٠	٩٨	٩٦	٩٤	٩٢	٩٠	٨٨	٨٦
الضغط فى البارومتر (مم)	٧٨٧,٧	٧٦٠	٧٠٧	٦٥٧,٥	٦١١	٥٦٧	٥٢٥,٥	٤٨٧	٤٥٠

وفى مدينة برن (سويسرا) ، حيث يبلغ معدل الضغط الجوى ٧١٣ مم ، يغلى الماء فى الاوانى المكشوفة ، عند درجة حرارة قدرها ٩٧,٥° مئوية ، اما على قمة الجبل الابيض ، حيث يشير البارومتر الى ضغط قدره ٤٢٤ مم ، فتصل درجة حرارة الماء المغلى الى ٨٤,٥° مئوية فقط . وكلما ارتفعنا بمقدار كيلومتر واحد عن سطح البحر ، كلما انخفضت درجة غليان الماء بمقدار ٣° مئوية . اى اننا اذا قسنا درجة الحرارة ، التى يغلى عندها الماء (او حسب تعبير مارك توين « اذا قمنا بغلى الترمومتر »)، ونظرنا الى ما يقابلها فى الجدول المطابق ، لتمكنا من معرفة ارتفاع المكان الذى نقف عليه . ولهذا الغرض ، يجب بطبيعة الحال ان نزود انفسنا بجدول خاص ، معد سابقا ، الامر الذى نسيه مارك توين بكل بساطة .

ان الاجهزة المستخدمة لهذا الغرض — الابسومترات — تكون سهلة الحمل ، مثل البارومترات المعدنية ، وتعطى نتائج اضبط بكثير .

ومن البديهى ، ان البارومتر ايضا ، يمكن ان يستخدم لتعيين ارتفاع الارض ، وذلك لانه يشير الى الضغط الجوى مباشرة ، بدون اى غليان ، ويتضح انه كلما ارتفعنا الى الاعلى ، كلما قل الضغط الجوى تبعا لذلك . ولكن فى هذه الحالة ، لا بد ، اما من وجود الجدول ، الذى يبين مدى انخفاض الضغط الجوى ، تبعا للارتفاع عن مستوى سطح البحر ، او من معرفة الصيغ الخاصة بذلك . وقد اختلطت كل هذه الاشياء فى ذهن الروائى الساخر ، وحفزته على « طهى حساء من البارومتر » .

هل يكون الماء المغلى حارا دائما ؟

كان الجندى المراسل الشجاع « بن زوف » ، الذى يتذكره كل من طالع رواية جول فيرن « هكتور سرفاداك » ، يعتقد اعتقادا راسخا ، بان الماء المغلى اينما وجد ، يكون دائما بنفس الدرجة من الحرارة . وربما كان سيبقى على اعتقاده هذا ، طوال حياته ، لو لم يجد نفسه ذات مرة على سطح احد المذنبات ، مع قائده سرفاداك ، ان هذا المذنب المتقلب الاطوار ، اصطدم بالكرة الارضية ، واقتطع منها ذلك الجزء ، الذى كان يقف عليه هذان البطلان ، ثم انطلق بهما بعيدا ، ليدور فى مداره الاهليلجى ، وفى هذا الوقت بالذات ، تأكد الجندى المراسل لاول مرة ، بناء على تجربته الخاصة ، ان الماء المغلى لا يكون بنفس الدرجة من الحرارة ، فى كل مكان على السواء . وقد توصل الى هذا الاكتشاف فجأة ، عندما كان يعد طعام الفطور .

« صب بن زوف الماء فى القدر ، ووضعها على النار ، ثم انتظر لحظة غليان الماء ، ليلقى فيه البيض ، الذى بدا له وكأنه لا يحتوى على شئ ، لضآلة وزنه . وفى اقل من دقيقتين ، بدأ الماء بالغليان . وهتف بن زوف قائلا :

ما هذا ! ان النار هنا ، تسخن الماء بشدة !

واجابه سرفاداك بعد تفكير قليل :

ـ ان النار لا تسخن الماء بشدة ، ولكن الماء هو الذى يغلى بسرعة .

وتناول الترمومتر الستنجرادى ، وغمره فى الماء المغلى .

ولم يشر الترمومتر الى اكثر من ٦٦° مئوية . وهتف القائد بدهشة :

ـ ماذا ارى ! ان الماء يغلى عند درجة ٦٦° مئوية ، بدلا من ١٠٠° مئوية .

ـ وما العمل يا سيدى القائد ؟

ـ انصحك يا بن زوف ، بابقاء البيض فى الماء المغلى ، لمدة ربع ساعة .

ـ ولكنه سينسلق كثيرا ، ويتجمّد !

ـ لا يا صديقى ، انه بالكاد سينسلق .

ومن الواضح ، ان سبب هذه الظاهرة ، كان قلة ارتفاع الغلاف الجوى . ان عمود الهواء الموجود فوق الارض ، قل الى الثلث تقريبا ، وهذا هو السبب الذى جعل الماء ـ المعرض لضغط اقل ، يغلى عند درجة حرارة قدرها ٦٦° مئوية ، بدلا من ١٠٠° مئوية . وكانت هذه الظاهرة بالذات ، ستتكرر ، على جبل يبلغ ارتفاعه ١١٠٠م . ولو كان بحوزة القائد بارومتر ، لاستطاع قياس مقدار الانخفاض فى الضغط الجوى » .

اننا سوف لا نشكك فى صحة ملاحظات البطلين ؛ انهما يؤكدان بان الماء قد غلى عند ٦٦° مئوية ، وستتقبل هذا التأكيد على أنه حقيقة ثابتة . ولكن من المشكوك فيه جدا ، انهما شعرا بصحة جيدة فى ذلك الجو المخلخل ، الذى عاشا فيه .

وقد اشار جول فيرن اشارة صحيحة تماما ، الى امكانية ملاحظة مثل هذه الظاهرة ، على ارتفاع ١١٠٠٠م . لان الماء هناك ، كما يظهر من الحساب • ، يجب ان يغلى بالفعل عند ٦٦° مئوية . ولكن الضغط الجوى عند هذه الدرجة من الحرارة ، يجب ان يعادل ١٩٠ مم من عمود الزئبق ، اى ربع الضغط الجوى العادى تماما . وفى مثل هذا الهواء المخلخل الى هذه الدرجة ، يصبح التنفس مستحيلا تقريبا ! لان الحديث هنا يخص الارتفاعات الواقعة فى طبقة الستراتوسفير !

اننا نعلم بان الطيارين الذى وصلوا الى ارتفاع يتراوح بين ٧ ـ ٨ كم ، بدون استخدام اقنعة الاكسجين ، فقدوا رشدهم نتيجة لنقصان الهواء ، بينما استطاع القائد ومراسله تحمل ذلك مع عدم وجود بارومتر فى متناول يديه وكان من حسن حظ سرفاداك ، والا لاضطر جول فيرن الى اكراه مؤشر البارومتر على الوقوف عند الرقم ، الذى لا يجب الوقوف عنده ، طبقا لقوانين الفيزياء .

وقد اتضح بتطور الطب الجوى والفضائى ، بان التأثير المدمر للارتفاعات الشاهقة ، على الكائنات الحية ، لا يتلخص فى نقصان الهواء الضرورى لعملية التنفس فحسب ،

• وفى الواقع ، اذا كانت نقطة غليان الماء ، كما ذكرنا سابقا (ص ١٩١) ، تنخفض بمقدار ٣° مئوية كلما ارتفعنا كيلومترا واحدا ، فنجد انه لكى نخفض درجة غليان الماء الى ٦٦° مئوية ، يجب ان نصعد الى ارتفاع قدره $\frac{٣٤}{٣}$ = ١١ كم تقريبا .

بل ان هناك خطورة كبيرة جدا ، تنتج من جراء انخفاض الضغط الفجائى ، الذى يمكن حدوثه مثلا ، عند اصابة الغلاف الخارجى للمركبة الفضائية بعطب ما ، نتيجة لاصطدامها باحد النيازك . وفى هذه الحالة ، تتحرر الغازات المذابة فى الدم بسرعة ، ويبدأ الدم بالغليان بكل معنى الكلمة .

ويتعرض الغطاسون غير المجربون ، الى نفس هذا الخطر ، اذا صعدوا الى سطح الماء بسرعة كبيرة ، حيث يهددهم « مرض الانسداد الهوائى » — aeroembolism.

واذا فرضنا بان بطلينا لم يظهرا على سطح المذنب الوهمى ، بل ظهرا على كوكب المريخ مثلا ، حيث لا يزيد الضغط الجوى على ٦٠ — ٧٠ مم ، لوجب عليهما ان يشربا ماء مغليا ، تقل درجة حرارته عن الماء السابق بكثير — بمقدار ٤٥° مئوية فقط !

وعلى العكس من ذلك ، يمكن الحصول على ماء مغلى ، شديد الحرارة ، فى المناجم العميقة ، حيث يكون الضغط الجوى اكبر بكثير مما هو عليه عند سطح الارض . ان الماء يغلى عند ١٠١° مئوية ، فى المنجم الذى يبلغ عمقه ٣٠٠ م ؛ ويغلى عند ١٠٢° مئوية ، فى المنجم الذى يبلغ عمقه ٦٠٠م .

وعندما يرتفع الضغط الى درجة كبيرة ، يغلى الماء فى غلاية المكنة البخارية . وعلى سبيل المثال ، عندما يصل الضغط الى ١٤ جوى ، يغلى الماء عند ٢٠٠° مئوية ! وعلى العكس من ذلك ، يمكن غلى الماء الموجود تحت جرس مضخة الهواء ، عند درجة حرارة الغرفة ، وتحصل بذلك على ماء مغلى ، لاتزيد حرارته على ٢٠° مئوية .

الجليد الساخن

لقد تحدثنا الآن عن الماء المغلى المعتدل البرودة . وهناك ما يدعو الى الدهشة اكثر من ذلك ، الا وهو الجليد الساخن . وقد تعودنا على التفكير ، بان الماء لا يمكن ان يوجد فى حالة صلبة ، عند درجة حرارة تزيد على درجة الصفر المئوى . الا ان ابحاث الفيزيائى الانكليزى بيرجمان ، اثبتت خطأ هذا التفكير . ان الماء يتحول الى حالة الصلابة ، عندما يتعرض لضغط كبير جدا ، ويبقى على تلك الحالة ، عند درجة حرارة تزيد على درجة الصفر المئوى بكثير . وبصورة عامة ، اثبتت ابحاث

بيرجمان ، قد تكون هناك عدة انواع من الجليد ، لا نوعا واحدا فقط . ان ذلك النوع من الجليد ، الذى اطلق عليه اسم « الجليد رقم ٥ » ، يتكون تحت ضغط هائل يقدر بـ ٢٠٦٠٠ جوى ، ويبقى على حالته الصلبة عند حرارة قدرها ٧٦° مئوية ، ويمكنه ان يحرق الاصابع ، التى تلمسه فى هذه الحالة . ولكن لمس هذا الجليد غير ممكن ، وذلك لان الجليد رقم ٥ ، يتكون تحت مكبس قوى ، فى وعاء صنعت جدرانه من اشد انواع الفولاذ صلابة .

ومن الطريف ، ان « الجليد الساخن » يكون اكثف فى الجليد العادى ، بل وحتى من الماء ايضا ؛ حيث يبلغ وزنه النوعى ١,٠٥ . ولهذا ، يمكن ان يغطس مثل هذا الجليد فى الماء ، فى حين يطفو الجليد العادى على سطح الماء .

برودة من الفحم

ان استخدام الفحم للحصول على البرودة ، دون الحرارة ، ليس بالامر المستحيل حيث يتم ذلك كل يوم فى المصانع التى تنتج ما يسمى بـ « الجليد الجاف » . وهنا يحرق الفحم فى غلايات خاصة ، وينقى الدخان الناتج من الاحتراق ، ثم يلتقط غاز ثانى اوكسيد الكربون الموجود فيه ، بواسطة محلول قلوى وبعد ذلك يؤخذ غاز ثانى اوكسيد الكربون المنقى بالتسخين ، ويحول بالتبريد والضغط المتتاليين ، الى الحالة السائلة ، تحت ضغط قدره ٧٠ جوى .

وهذا هو نفس ثانى اوكسيد الكربون السائل ، الذى ينقل فى اسطوانات سميكة الجدران ، الى مصانع المشروبات الفوارة ، او يستخدم للاغراض الصناعية الاخرى . وهذا السائل بارد الى درجة تجعل التربة تتجمد ، كما يحدث عند حفر وانشاء انفاق المترو . ولكن هناك صناعات اخرى ، تتطلب وجود هذا السائل فى الحالة الصلبة ، اى كما يسمى بالجليد الجاف .

ان الجليد الجاف ، اى غاز ثانى اوكسيد الكربون الصلب ، يتكون من نفس الغاز السائل ، عند تبخره السريع تحت ضغط منخفض . وقطع الجليد الجاف ، تشبه من حيث المظهر الخارجى ، الثلج المضغوط ، اكثر مما تشبه الجليد ، وبصورة

عامة ، تختلف عن الماء المتصلب كثيرا . ان هذا الجليد ، اثقل من الجليد العادى ، ويغطس كليا فى الماء . وبغض النظر عن درجة حرارته المنخفضة جدا (— ٧٨° مئوية) ، لا تحس الاصابع بالبرد الناتج عنه ، عندما تلمس قطعة منه بلطف . وسبب ذلك يعود الى ان غاز ثانى اوكسيد الكربون الناتج عند ملامسة الاصابع للقطعة ، يحمى البشرة من تأثير البرد الشديد . ولا تتجمد اصابع اليد، الا اذا تناولنا قطعة من ذلك الجليد ، وضغطناها بين اصابعنا وراحة يدنا .

ان تسمية « الجليد الجاف» ، تعبر بنجاح تام عن الخاصية الفيزيائية الرئيسية لهذا الجليد . لانه فى الواقع ، لا يكون مبللا ابدا ، ولا يبلل الاشياء المحيطة به بتاتا . واذا اثرت عليه الحرارة ، فانه يتحول توا الى غاز ، دون ان يمر بالحالة السائلة . ذلك لان ثانى اوكسيد الكربون ، لا يمكن ان يوجد فى الحالة السائلة ، تحت الضغط الجوى الاعتيادى . ان خاصية الجليد الجاف هذه ، بالاضافة الى درجة حرارته المنخفضة ، تجعل منه مادة تبريدية لا يمكن الاستغناء عنها ، فى الاغراض العملية . ان الاطعمة والمنتجات ، التى تحفظ بواسطة جليد ثانى اوكسيد الكربون ، لا تصيبها الرطوبة ، وكذلك تتم حمايتها من التلف والتعفن . لان وجود غاز ثانى اوكسيد الكربون فى ذلك الوسط ، يمنع تكاثر الكائنات الحية الدقيقة . ولذلك لا تظهر على الاطعمة والمنتجات اية عفونة او بكتريا . ولا تستطيع الحشرات والقوارض بدورها ، ان تعيش فى مثل هذا الجو . واخيرا ، فان ثانى اوكسيد الكربون يعتبر بمثابة مادة ناجحة لمكافحة الحرائق ، حيث يمكن اخماد النار المشتعلة فى البترين ، برمى عدة قطع من الجليد الجاف ، فى تلك النار . ان هذا كله ، ادى الى اتساع نطاق استخدام الجليد الجاف ، الى درجة كبيرة جدا ، فى الصناعة وفى اغراض التدبير المنزلى .

الفصل الثامن | المغنطيسية والكهرباء

«الحجر العاشق»

لقد أطلق الصينيون على المغنطيس الطبيعى اسم « الحجر العاشق » . ويقول الصينيون بان هذا الحجر (تشو — شى) ، يجذب الحديد ، كما تستميل الام الحنون أطفالها الصغار . ومن الجدير بالذكر ، ان الفرنسيين — الشعب الذى يعيش فى القسم الاخر من العالم القديم — كانوا يطلقون على هذا الحجر اسما مشابها للاسم الصينى . ان كلمة «aimant» باللغة الفرنسية ، تعنى « مغنطيس » و « عاشق » .

ان قوة هذا « الحب » عند المغنطيس الطبيعي ، ليست كبيرة . ولهذا ، فان التسمية الاغريقية للمغنطيس تعتبر ساذجة جدا ، حيث اطلقوا عليه اسم « حجر هرقل » . واذا كان الاغريقيون القدماء قد بهتوا لقوة الجذب المعتدلة للمغنطيس الطبيعى ، فما الذى كانوا سيقولونه لو رأوا المغنطيس ، الذى يرفع كتلا يصل وزنها الى عدة أطنان ، فى مصانع الميتالورجيا الحديثة ! وفى الحقيقة ، فان هذا المغنطيس ليس طبيعيا ، ولكنه مغنطيس كهربائى ، أى عبارة عن كتل حديدية ، ممغنطة بواسطة تيار كهربائى ، يمر فى ملف يحيط بتلك الكتل . الا ان القوة الطبيعية المؤثرة فى كلتا الحالتين ، هى المغنطيسية وحدها .

ولا يجب التفكير بان المغنطيس يؤثر على الحديد فقط ، حيث يوجد عدد من المواد الاخرى التى تتأثر بالمغنطيس القوى ، ولو لم يكن بنفس الدرجة التى يتأثر بها الحديد .

ويؤثر المغنطيس تأثيرا ضعيفا ، على المعادن التالية : النيكل ، الكوبلت ، المنجنيز ، البلاتين ، الذهب ، الفضة والالومنيوم . والاغرب من ذلك ، خواص

المواد المسماة بالاجسام الدايامغنطيسية، مثل الزنك ، الرصاص ، الكبريت والبزموث . ان هذه المواد تتنافر بتأثير المغنطيس القوى!

والغازات والسوائل تتأثر بالمغنطيس هى الاخرى . فاما ان تنجذب او ان تنفر ، ولكن بدرجة ضعيفة جدا . ويجب ان يكون المغنطيس قويا جدا ، كى يكون بامكانه التأثير على هذه المواد بشكل ظاهر. ويمكن على سبيل المثال ، جذب الاكسيجين بواسطة المغنطيس . فاذا ملأنا فقاعة صابون بالاكسيجين ، ووضعناها بين قطبى مغنطيس كهربائى قوى ، لرأينا بان الفقاعة تمتّط بوضوح من قطب الى آخر ، متأثرة بالقوى المغنطيسية الخفية . كما ان لهب الشمعة ، الموضوع بين قطبى مغنطيس قوى ، يغير شكله الطبيعى ، مما يدل بوضوح على حساسيته تجاه القوى المغنطيسية (شكل ٨٨) .

شكل٨٨ : لهب الشمعة بين قطبى مغنطيس كهربائى.

مسألة حول البوصلة

لقد اعتدنا على التفكير بان احد طرفى ابرة البوصلة ، يشير الى الشمال دائما ، بينما يشير الطرف الاخر الى الجنوب . ولذلك يبدو لنا بان السؤال التالى غير معقول بالمرة :

فى اى مكان من الكرة الارضية ، يشير كلا طرفى الابرة المغنطيسية ، الى الشمال ؟

واليك سؤالا آخر غير معقول ايضا :

فى اى مكان من الكرة الارضية ، يشير كلا طرفى الابرة المغنطيسية الى الجنوب ؟

ربما يكون القارئ قد استعد للتأكيد بان مثل هذين المكانين ، لا ولن يوجدا على سطح الكرة الارضية . فى حين انها موجودان فى الحقيقة .

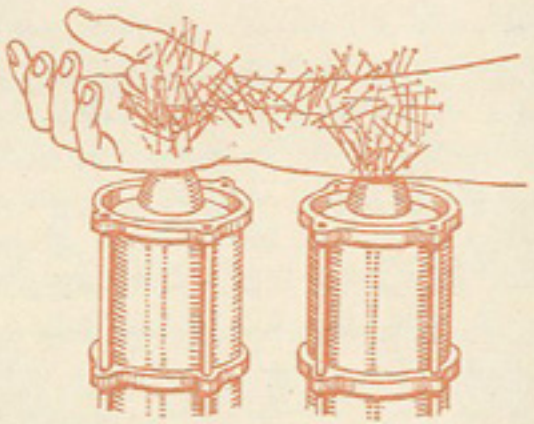
واذا تذكّر القارئ ، بان قطبى الارض المغنطيسيين ، لا ينطبقان مع قطبيها الجغرافيين ، فانه ربما سيعرف من تلقاء نفسه عن اى مكانين من الكرة الارضية يجرى

الحديث فى هذه المسألة . الى اى اتجاه ستشير ابرة البوصلة ، الموضوعة على القطب الجغرافى الجنوبى ؟ فى هذه الحالة سيكون احد طرفيها متجها نحو أقرب قطب مغنطيسى ، وسيتجه الطرف الاخر ، فى الاتجاه المعاكس . ولكن مهما كان الاتجاه ، الذى ستبتعد فيه عن القطب الجغرافى الجنوبى ، فاننا سنجد انفسنا سائرين نحو الشمال ، وذلك لعدم وجود اى اتجاه آخر يبدأ من القطب الجغرافى الجنوبى ، حيث لا يحيط به الا الشمال . وهذا يعنى بان كلا طرفى الابرة المغنطيسية الموضوعة هناك ، سيشيران الى الشمال .

وكذلك الحال بالنسبة لكلا طرفى الابرة المغنطيسية الموضوعة على القطب الجغرافى الشمالى ، اذ انهما سيشيران الى الجنوب حتما .

خطوط القوى المغنطيسية

ان الشكل ٨٩ ، المنقول عن احدى الصور الفوتوغرافية ، يمثل مشهدا طريفا ، حيث نرى كيف برزت حزم المسامير الكبيرة الى الاعلى ، نابعة من اليد الموضوعة على قطبى مغنطيس كهربائى ، وكأنها شعرات خشنة . ان اليد بالذات لا تشعر بالقوى المغنطيسية بتاتا ، لان هذه القوى الخفية تخترق اليد دون ان تترك اثرا يدل على وجودها .



شكل ٨٩ : مرور القوى المغنطيسية من خلال اليد .

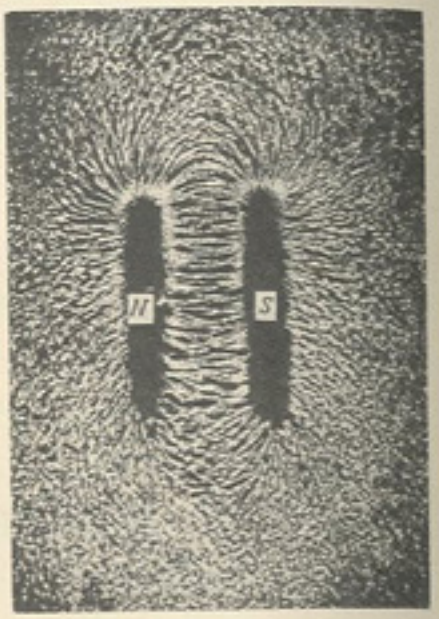
اما المسامير الحديدية ، فتخضع لتأثير هذه القوى تماما ، وتنتظم فى شكل معين ، مبيّنة لنا اتجاه القوى المغنطيسية .

ولا يوجد فى جسم الانسان ، اى عضو من اعضاء الحس ، يمكن للمجال المغنطيسى ان يؤثر فيه ، لاننا لا نعلم بوجود القوى المغنطيسية ، المحيطة بالمغنطيس ، الا بالحدس والتخمين فقط * . ولكن من السهل ان نتوصل مباشرة ، الى رسم شكل توزيع هذه القوى المغنطيسية . ومن الافضل ، ان نحقق الشكل المذكور ، باستخدام برادة الحديد الناعمة . اذ نذرّ طبقة رقيقة منتظمة من برادة الحديد ، على قطعة ملساء من الورق المقوّى ، او على لوح من الزجاج ، ثم نمرر تحت قطعة الورق المقوى او اللوح الزجاجى مغنطيسا عاديا ، ونحرك البرادة بضربات خفيفة . ان القوى المغنطيسية تمر بحرية من خلال الورق المقوى والزجاج ، ونتيجة لذلك ، تتمغنط برادة الحديد بتأثير هذا المغنطيس . وعندما نحركها بضربة خفيفة ، فانها تنفصل عن اللوح الزجاجى للحظة قصيرة ، ثم تعود لتغير من وضعيتها ، وتأخذ الوضعية التى كانت ستأخذها الابرة المغنطيسية ، فيما لو وجدت فى هذا المكان بالذات ، اى بمحاذاة خطوط القوى المغنطيسية . وفى النتيجة ، تنتظم البرادة فى صفوف ، تبيّن بوضوح توزيع الخطوط المغنطيسية الخفية (شكل ٩٠) .

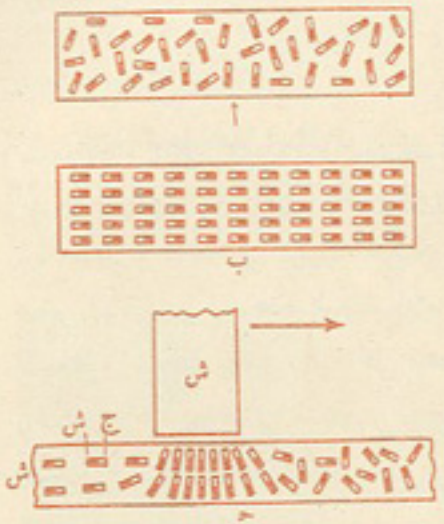
---

* من الطريف ان نتصور الانفعالات التى كانت ستنتابنا ، لو كنا نتمتع بحاسية مغنطيسية مباشرة . وقد تمكن العالم كريدل ، من تلقيح حيوان السرطان النهرى بنوع من الحاسية المغنطيسية . وقد لاحظ بعد ذلك ، ان السرطان النهرى القصير العمر ، يحشر فى آذنه احجارا ناعمة ، تضغط بثقلها على الشعرة الحساسة ، التى تمثل الجزء الرئيسى لعضو التوازن عنده . ان مثل هذه الاحجار ، التى تسمى بالحصيات الاذنية ، موجودة فى اذن الانسان ايضا ، بالقرب من عضو الحس الرئيسى . وعندما تؤثر هذه الاحجار الصغيرة فى الاتجاه العمودى ، فانها تشير إلى اتجاه قوة الجاذبية . وقد وضع كريدل فى اذن السرطان النهرى قليلا من برادة الحديد ، بدلا من الاحجار الناعمة ، بدون ان يشعر الحيوان بذلك . وعند تقريب المغنطيس من السرطان ، اتخذ وضعا عموديا على محصلة القوة المغنطيسية وقوة الجاذبية .

« وفى السنوات الاخيرة ، تمكن العلماء من اجراء تجارب مماثلة – بشكل آخر – على الانسان . وقد قام العالم كيلر ، بلصق دقائق صغيرة من الحديد ، بطبلة الاذن ، وكانت النتيجة ان شعرت الاذن بذبذبات القوة المغنطيسية ، مثلما تشعر بالصوت » – من ابحاث البروفيسور وينير .



شكل ٩٠ : ترتيب (وضعية) برادة الحديد على الورق المقوى الموضوع فوق قطبى المغنطيس (نسخة من صورة فوتوغرافية) .



شكل ٩١ : أ–ترتيب (وضعية) المغنطيسات الذرية فى قطعة فولاذية غير ممغنطة ؛ ب–ترتيب المغنطيسات الذرية فى قطعة فولاذية ممغنطة ؛ حـ– تأثير القطب المغنطيسى على المغنطيسات الصغيرة لقطعة فولاذية ممغنطة .

ان القوى المغنطيسية تشكل نظاما معقدا من الخطوط المنحنية . ويتضح من الشكل السابق ، كيف تخرج هذه الخطوط من كل قطب من قطبى المغنطيس ، وتتفرق مثل الاشعة ، وكيف تتحد البرادة مع بعضها ، وتشكّل أقواسا طويلة او قصيرة بين قطبى المغنطيس . ان برادة الحديد ، تبيّن للعين المجردة ، تلك الخطوط التى يرسمها الفيزيائى فى مخيلته ، وهى الخطوط الخفية التى توجد حول كل مغنطيس . وكلما زاد الاقتراب من القطب المغنطيسى ، اصبحت خطوط برادة الحديد ، اكثر كثافة ودقة . ويحدث العكس ، كلما ابتعدت عن القطب المغنطيسى ، حيث

تقل كثافتها وتتلاشى دقتها ، الامر الذى يدل بوضوح على ضعف القوى المغنطيسية ، كلما زاد الابتعاد عن القطب .

كيف يتمغنط الفولاذ ؟

للاجابة على هذا السؤال ، الذى غالبا ما يطرحه القراء ، يجب قبل كل شئ ، ان نوضح الفرق بين الفولاذ الممغنط والمغنطيس بالذات . ويمكننا ان نعتبر كل ذرة حديد ، داخلة فى تركيب الفولاذ – الممغنط او غير الممغنط – بمثابة مغنطيس صغير للغاية . وتكون هذه المغنطيسات الصغيرة ، مرتبة بغير انتظام فى الفولاذ غير الممغنط ، بحيث يقضى تأثير كل مغنطيس منها ، على تأثير المغنطيس الذى يقابله (شكل ٩١ ، أ) . اما فى المغنطيس ، فيحدث العكس ، حيث تكون كافة المغنطيسات الصغيرة ، مرتبة بانتظام ، على هيئة أقطاب تحمل نفس الاسم ، وتتجه فى نفس الاتجاه (شكل ٩١ ، ب) .

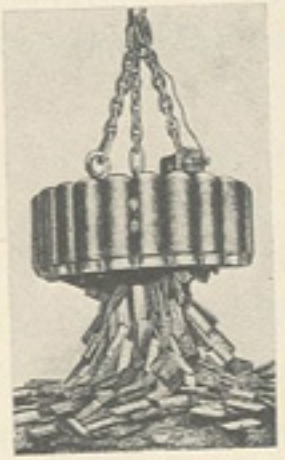
والآن ، ما الذى يحدث فى قطعة الفولاذ ، عندما تمغنط ؟ تعمل قوة جذب المغنطيس على تحريك المغنطيسات الصغيرة لقطعة الفولاذ ، وترتبها على هيئة أقطاب تحمل نفس الاسم وتتجه فى نفس الاتجاه. ويبين الشكل (٩١ ، حـ) بوضوح كيفية حدوث هذه العملية : ان المغنطيسات الصغيرة (الاولية) ، تستدير فى البداية ، متجهة بأقطابها الجنوبية نحو القطب الشمالى للمغنطيس ، وعندما نحرك المغنطيس الى مسافة أبعد ، تترتب تلك المغنطيسات طوليا ، باتجاه حركته ، متجهة بأقطابها الجنوبية نحو مركز القطعة الفولاذية .

ومن هنا نفهم بسهولة ، كيف يجب تحريك المغنطيس عند مغنطة قطعة الفولاذ ، وذلك بوضع احد قطبى المغنطيس عند طرف قطعة الفولاذ ، ونحرك المغنطيس على طول القطعة ، مع المحافظة على التصاقه الجيد بها . وهذه الطريقة ، هى احدى الطرق البسيطة والقديمة لعملية المغنطة ، ولكنها صالحة فقط للحصول على مغنطيس ضعيف وصغير الحجم . ويمكن الحصول على مغنطيس قوى ، باستخدام خواص التيار الكهربائى .

وقد تمكن العلماء فى السنوات الاخيرة من تحضير بعض السبائك التى لها خواص مغنطيسية قوية جدا – تزيد قوتها بعشرات ومئات المرات على قوة المغنطيس الطبيعى .

المغنطيس الكهربائى الجبار

ان باستطاعة كل من يزور مصانع الميتالورجيا ، مشاهدة الاوناش (الرافعات) المغنطيسية الكهربائية ، وهى تنقل احمالا ثقيلة جدا . وتقوم هذه الاوناش بخدمات لا تضاهى ، عند رفع ونقل الكتل الحديدية فى مصانع صهر الفولاذ وما شابهها . ان الكتل الحديدية الثقيلة او اجزاء المكنات ، التى يبلغ وزنها عشرات الاطنان ، تنقل بواسطة هذه الاوناش المغنطيسية الرافعة ، بدون شد او تثبيت . وبنفس الطريقة تقوم هذه الاوناش بنقل رزم الصفائح



شكل ٩٢ : ونش مغنطيسى كهربائى يحمل كومة من القطع الحديدية .

شكل ٩٣ : ونش مغنطيسى كهربائى يحمل كتلة حديدية هائلة .

المعدنية والاسلاك والمسامير وقراضة الحديد وغيرها من المواد ، بدون ان تعبأ فى صناديق ، الامر الذى يوفر لنا كثيرا من الجهد ، الذى يبذل عند نقلها بطريقة اخرى .

ويبين الشكلان ٩٢ و٩٣ ، الخدمات المفيدة التى يقدمها لنا المغنطيس . لقد كنا سنتجشم كثيرا من العناء فى جمع ونقل كومة القطع الحديدية ، التى جمعها ونقلها على الفور ذلك الونش المغنطيسى الجبار ، المبين فى الشكل ٩٢ . ولا تتلخص الفائدة هنا فى توفير القوى فحسب ، بل وفى تسهيل العمل ايضا . ويوضح الشكل ٩٣ كيف ينقل الونش المغنطيسى بكل سهولة ، كتلة حديدية هائلة دون شد او تثبيت . ان وجود اربعة اوناش مغنطيسية ، يحمل كل منها عشرة من قضبان السكة الحديدية دفعة واحدة ، يعوض عن الجهد اليدوى الذى يبذله ٢٠٠ عامل ، فى مصنع واحد من مصانع الميتالورجيا . ولا حاجة للتفكير بشد او ربط هذه الاحمال الى الونش الرافع ، وذلك لانه طالما كان التيار الكهربائى مارا فى ملف المغنطيس الكهربائى ، فليس هناك خوف من سقوط اية شظية من ذلك الونش .

ولكن اذا توقف التيار عن المرور فى الملف لسبب ما ، فلا بد من وقوع حادثة مؤسفة . وقد وقعت مثل هذه الحوادث فى بداية الامر . وذات مرة طالعتنا احدى المجلات العلمية بما يلى :

« كان المغنطيس الكهربائى فى احد المصانع الامريكية ، يرفع السبائك الحديدية من عربات القطار ، ويلقيها فى الفرن . وفجأة ، حدث خلل طارئ فى محطمة توليد القوى الكهربائية ، الواقعة بالقرب من شلالات نياجارا ، والتى تمد المغنطيس بالتيار الكهربائى ، الامر الذى أدى الى انقطاع التيار . وهنا انفصلت كتلة معدنية عن المغنطيس الكهربائى ، وسقطت بكل ثقلها على رأس احد العمال . ولكى نمنع تكرر مثل هذه الحوادث المؤسفة ، وللتقليل من كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة ، يجب ان نلحق بالمغنطيس الكهربائى بعض الترتيبات الخاصة . فبعد ان يقوم المغنطيس برفع المواد المراد نقلها ، تتدلى من جانبه كماشات فولاذية قوية ، ما تلبث ان تحيط

بالحمل ثم تقفل باحكام ، وتقوم فيما بعد باسناد الحمل ومنعه من السقوط ، وخلال عملية النقل يقطع التيار الكهربائى بغية الاقتصاد فى الطاقة » .

والشكلان ٩٢ و٩٣ يبينان نوعين من المغنطيس الكهربائى ، يصل قطر كل منهما الى ١,٥ م ، مع قابليته لرفع حمل يصل وزنه الى ١٦ طنا . ان مثل هذا المغنطيس ينقل فى اليوم الواحد اكثر من ٦٠٠ طن من الاحمال . وتوجد مغنطيسات كهربائية ، يمكن ان ترفع حملا يزن ٧٥ طنا ، دفعة واحدة ، اى تكون بمثابة قاطرة بخارية !

وعند التأمل فى هذا العمل ، الذى تقوم به المغنطيسات الكهربائية ، قد تتبادر الى ذهن بعض القراء فكرة ، مفادها ان نقل السبائك الحديدية الحامية ، بواسطة المغنطيسات الكهربائية ، سيكون من الامور السهلة للغاية ! ولكن للاسف ، ان هذا الامر ممكن فقط عند درجة حرارة محددة . ذلك لان الحديد الحامى (المسخن حتى الاحمرار) ، يفقد خواصه المغنطيسية الظاهرة بوضوح . واذا سخن المغنطيس الى ٨٠٠° مئوية ، فانه يفقد خواصه المغنطيسية فى الحال .

ان المغنطيسات الكهربائية تستخدم فى مصانع تشغيل المعادن ، استخداما واسع النطاق ، لتثبيت ونقل المصنوعات الفولاذية والحديدية ومصنوعات حديد الزهر . وقد تم تصميم مئات الانواع المختلفة من نماذج المغنطيسات الكهربائية ، التى تسهل وتعجل العمليات الصناعية .

الخدع المغنطيسية

ان قوة المغنطيس الكهربائى ، تستخدم احيانا للقيام ببعض الخدع ؛ ويمكن بسهولة ، تصور تلك الخدع المؤثرة ، التى يمكن القيام بها بمساعدة هذه القوة الخفية . ويروى لنا « دارى » مؤلف الكتاب المشهور فى ذلك الوقت « الكهرباء ومجالات استخدامها » ، القصة التالية ، التى حدثه بها مشعوذ فرنسى ، وتدور حول عرض قدمه ذلك المشعوذ فى الجزائر . وقد ترك ذلك العرض فى نفوس الجماهير غير الملمة بعلم الهندسة الكهربائية ، انطباعا لا يقل عن الانطباع الذى يتركه السحرة .

« ويتحدث المشعوذ فيقول : وضعت على المسرح صندوقا حديديا صغيرا ، ركبت أطرافه بقلابات ، وله مقبض مثبت على الغطاء . ودعوت شخصا قويا من المتفرجين ، ليتقدم الى المسرح ، وقد لبى دعوتى شاب عربى متوسط القامة ، قوى البنية ، كان بمثابة هرقل عربى . وصعد الى المسرح بنشاط وهو يبتسم بتهكم ، ثم وقف بالقرب منى .

وسألته وانا اتفحصه من قدميه الى رأسه ؟

— هل انت قوى جدا ؟

فأجاب على الفور :

— نعم .

— وهل انت واثق من قوتك دائما ؟

— اننى واثق من ذلك تماما .

— انك مخطئ ، لاننى استطيع فى لحظة واحدة ، ان أسلبك قوتك ، فتصبح بعد ذلك ضعيفا مثل الطفل الصغير .

وابتسم الشاب العربى ، معبرا عن عدم ثقته فى كلامى .

وقلت له :

— تفضل هنا ، وارفع هذا الصندوق .

وانحنى الشاب العربى ورفع الصندوق ، ثم سألنى :

— أهذا كل ما فى الامر ؟

فأجبته :

— تمهل قليلا .

وتظاهرت بالجد ، وأومأت باشارة آمرة ، ثم قلت بلهجة المنتصر :

— انك الان أضعف من المرأة . حاول ان ترفع الصندوق مرة أخرى .

وبدون ان يهتم الشاب القوى بسحرى ، حاول رفع الصندوق مرة ثانية ، ولكن الصندوق فى هذه المرة ، أبدى مقاومة ، وبغض النظر عن الجهود المستميتة التى بذلها

الشاب العربى ، بقى الصندوق ثابتا ، وكأنه تسمر فى محله . وحاول العربى رفع الصندوق بقوة كبيرة ، تكفى لرفع حمل ثقيل جدا ، ولكن جهوده ذهبت هباء . وبعد ان أعيته المحاولة وبدأ يلهث ، توقف اخيرا عن محاولته .

وربما بدأ الشاب العربى بعد ذلك ، يؤمن بقوة السحر » .

ان سر السحر الذى زاوله مندوب « المجتمع المتمدن » ، بسيط جدا . لقد كانت قاعدة الصندوق الحديدية ، موضوعة على منصة ، هى فى الحقيقة عبارة عن قطب لمغنطيس كهربائى قوى . وعند عدم وجود تيار كهربائى ، يسهل رفع الصندوق . ولكن ما ان يمرر التيار فى ملف المغنطيس الكهربائى ، الا ويصعب رفع الصندوق حتى من قبل ثلاثة رجال أقوياء .

استخدام المغنطيس فى الزراعة

والاكثر غرابة مما سبق ، هى الخدمة المفيدة التى يقدمها المغنطيس فى مجال الزراعة ، حيث يساعد المزارع على تخليص بذور المحاصيل الزراعية من بذور الطفيليات . ان لبذور الطفيليات شعيرات دقيقة ، تتعلق بأصواف الحيوانات المارة بقربها . وبفضل ذلك ، تنتشر الى مسافات بعيدة عن العشب الذى تكونت منه . وقد تمكن الخبراء الزراعيون من الاستفادة من هذه الخاصية ، التى ساعدت الطفيليات على تنازع البقاء خلال عدة ملايين من السنين ، لفصل البذور الشعرية للطفيليات عن البذور الملساء للنباتات النافعة ، مثل الكتان والبرسيم والفصفصة ، بواسطة المغنطيس . واذا ذررنا مسحوق الحديد على بذور المزروعات ، التى تحتوى على بذور الطفيليات ، فان دقائق مسحوق الحديد ستطوق بذور الطفيليات باحكام ، بدون ان تؤثر على البذور الملساء للمزروعات النافعة . وبعد تعريض الخليط المذكور لمجال مغنطيسى كهربائى قوى لدرجة كافية ، تنفصل البذور تلقائيا ، الى قسمين ، حيث يسحب المغنطيس بذور الطفيليات العالقة بدقائق مسحوق الحديد ، وتبقى بذور المزروعات النافعة وحدها ، خالية من الشوائب .

المكنة المغنطيسية الطائرة

قدمت فى بداية هذا الكتاب ، بعض المقتطفات من رواية الكاتب الفرنسى سيرانو دى برجراك « تاريخ حكومة على القمر والشمس » . ويوجد فى تلك الرواية ، وصف طريف لاحدى المكنات الطائرة ، التى يقوم عملها على اساس الجذب المغنطيسى ، وهى المكنة التى انطلقت بأحد ابطال الرواية ، فى رحلة الى القمر . وأقدم الى القراء فيما يلى ، ذلك الوصف كما جاء فى الرواية حرفيا :

« أمرت بصنع عربة خفيفة من الحديد . وحالما دخلت الى تلك العربة وجلست على المقعد براحة تامة ، قذفت كرة مغنطيسية الى ارتفاع كبير فوق رأسى . وارتفعت العربة توا الى الاعلى . وكلما اقتربت من ذلك المكان الذى جذبتنى اليه الكرة المغنطيسية ، قذفت الكرة الى الاعلى مرة اخرى . حتى اننى عندما كنت ارفع الكرة بيدى ، كانت العربة ترتفع ، محاولة الاقتراب من الكرة . وبعد قذف الكرة الى الاعلى عدة مرات ، وارتفاع العربة تبعا لذلك ، اقتربت من المكان الذى بدأ منه هبوطى على سطح القمر . وبما اننى كنت فى تلك اللحظة ماسكا الكرة المغنطيسية بيدى ، فقد التصقت العربة بى ولم تتركنى . ولتلافى التحطم عند الهبوط على سطح القمر ، بدأت بقذف الكرة الى الاعلى بنفس الطريقة السابقة ، وذلك لتخفيف سرعة هبوط العربة بتأثير جاذبية الكرة المغنطيسية . وعندما اصبحت على ارتفاع ٦٠٠ او ٧٠٠ ياردة عن سطح القمر ، اخذت أرمى الكرة بصورة عمودية على اتجاه الهبوط ، الى ان اصبحت العربة على مقربة تامة من سطح القمر . وهنا قفزت من العربة ، وهبطت على الرمل برفق » .

وبطبيعة الحال ، ليس هناك من لا يشك فى عدم صلاحية تلك المكنة الطائرة — حتى مؤلف الرواية بالذات . ولكننى لا اعتقد بان الكثيرين من القراء ، يستطيعون ان يبينوا بصورة صحيحة سبب عدم امكانية تحقيق مثل هذا المشروع . هل السبب هو عدم المقدرة على قذف المغنطيس عند وجود الانسان فى داخل العربة الحديدية ؟ ام عدم انجذاب العربة نحو المغنطيس ؟ ام لأى سبب آخر ؟

ان باستطاعة الانسان قذف المغنطيس الى الاعلى . وسيؤدى المغنطيس بدوره الى جذب العربة ، اذا كان قويا لدرجة كافية ، ولكن مع ذلك سوف لن ترتفع العربة الى الاعلى ولو قيد شعرة. هل حدث ان قام القارئ برمى جسم ثقيل الى الساحل، اثناء وجوده فى قارب ؟ لا شك ان يكون القارئ قد لاحظ فى هذه الحالة ، بان القارب بالذات يندفع مبتعدا عن الساحل . ان عضلات الانسان التى تدفع الجسم المرمى ، فى اتجاه معين ، تدفع فى الوقت نفسه ، جسم الانسان (والقارب معه) فى الاتجاه المعاكس . وهنا يظهر قانون تساوى الفعل ورد الفعل،الذى تحدثنا عنه عدة مرات. ويحدث نفس الشىء عند قذف المغنطيس الى الاعلى ، لانه عندما يقوم الشخص الجالس فى العربة ، بقذف الكرة المغنطيسية الى الاعلى (يبذل جهود كبيرة ، وذلك لان الكرة تنجذب نحو العربة) فانه لا بد وان يدفع العربة برمتها الى الاسفل . وبعد ذلك ، عندما تقترب الكرة والعربة من بعضهما بالتجاذب المتبادل ، فانهما تعودان الى مكانيهما السابقين فقط . ويتضح من ذلك ، انه حتى لو كانت العربة عديمة الوزن ، فسوف لا ينتج عن قذف الكرة الى الاعلى ، سوى تأرجح العربة الى الاعلى والاسفل ، حول نقطة تعادل معينة . وهكذا لا نستطيع بهذه الطريقة ان نجعل العربة تتحرك الى الاعلى حركة انتقالية .

وعندما ألف سيرانو دى برجراك روايته هذه (فى منتصف القرن السابع عشر)، لم يكن قانون الفعل ورد الفعل قد اكتشف بعد . ولهذا السبب بالذات ، نشك فى ان المؤلف الفرنسى كان قادرا على تفسير سبب افلاس مشروعه الساخر .

السلسلة الحديدية المنتصبة عموديا على الارض !

وقعت ذات مرة حادثة طريفة ، اثناء تشغيل ونش مغنطيسى كهربائى رافع . فقد لاحظ احد العمال بان المغنطيس الكهربائى رفع كرة حديدية ثقيلة ، كانت مثبتة فى الارض بسلسلة حديدية قصيرة ، منعت الكرة من الالتصاق التام بالمغنطيس . وبقيت بين الكرة والمغنطيس مسافة تقدر بعرض راحة اليد . وكان المشهد غريبا ، حيث انتصبت السلسلة الحديدية عموديا على الارض ! وقد كان المغنطيس قويا الى درجة

جعلت السلسلة تحافظ على وضعها العمودى على الارض ، حتى عندما تسلق عليها ذلك العامل * . وقد أسرع احد المصورين القريبين من موقع الحادث ، بالتقاط صورة لذلك المشهد الرائع (شكل ٩٤) ، وقد ظهر فى الصورة العامل المذكور وهو معلق فى الهواء .

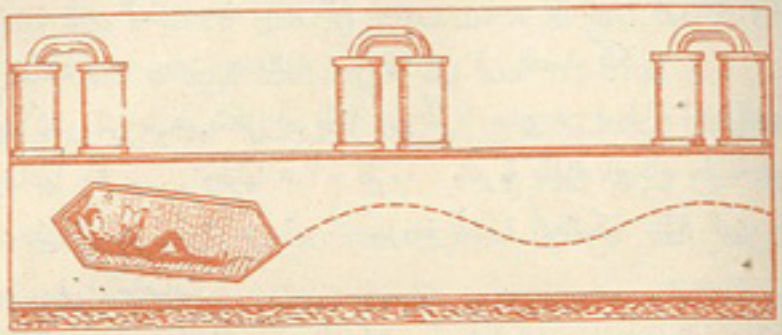
شكل ٩٤ : سلسلة حديدية منتصبة الى الاعلى مع الثقل المربوط فيها.

النقل المغنطيسى الكهربائى

لقد وضع العالم الفيزيائى السوفيتى واينبرج ، مشروعا للنقل المغنطيسى الكهربائى . ولاحتواء هذا المشروع على فكرة علمية جيدة ، رأينا ان نقدمه للقراء فيما يلى ، لانه جدير باطلاع كل من يهتم بعلم الفيزياء .

ان عربات السكة الحديدية ، التى اقترح البروفيسور واينبرج انشاءها ، ستكون عديمة الوزن تماما ، حيث يتلاشى وزنها بتأثير جاذبية المغنطيس الكهربائى . ولذلك ، يجب الا يندهش القارئ ، اذا علم بان العربات — حسب التصميم الموضوع — سوف لا تسير على السكة الحديدية ، ولا تطفو على سطح الماء ، وحتى لا تحلق فى الجو ،

* ان هذا يدل على قوة المغنطيس الكهربائى الهائلة ، لان قوة جذب المغنطيس تقل كثيرا ، كلما زادت المسافة بين القطب المغنطيسى والجسم المجذوب . ان المغنطيس المصنوع على هيئة حدوة الفرس ، والذى يمكن ان يرفع ثقلا قدره ١٠٠ جم بالتماس المباشر ، يفقد نصف قوته عندما توضع بينه وبين الثقل المذكور ، قطعة من الورق . ولهذا السبب لا يطل طرفا المغنطيس بالدهان ، مع ان الدهان يحافظ عليهما من الصدأ .



شكل ٩٥ : عربة تتحرك بدون احتكاك . لقد صمم هذه السكة الحديدية البروفيسور واينبرج .

ولكنها سوف تطير بدون ان يكون لها مسند ، وبدون ان تلامس اى شئ كان ، حيث ستتعلق بالخطوط الخفية للقوى المغنطيسية الجبارة . وسوف لا تتعرض الى اى احتكاك مهما كان قليلا ، وبالتالى فانها اذا تحركت ، فسوف تحافظ على سرعتها بالقصور الذاتى ، بدون حاجة الى قاطرة تسحبها .

ويتم تحقيق ذلك بالطريقة التالية : تتحرك العربات فى داخل ماسورة نحاسية ، مفرغة من الهواء ، للتخلص من مقاومته لحركة العربات . وبتلاشى الاحتكاك مع القاعدة ، لان العربات فى هذه الحالة ، تتحرك بدون ان تلامس جدران الماسورة ، وذلك لانها ثابتة على وضعها فى الفراغ ، بقوة المغنطيس الكهربائى . ولهذا الغرض ، وضعت فوق الماسورة ، بمحاذاة الطريق كله ، عدة مغنطيسات قوية للغاية ، مرتبة على مسافات معينة من بعضها البعض . وهذه المغنطيسات تجذب اليها العربات الحديدية ، المتحركة فى داخل الماسورة ، وتمنعها من السقوط . وقد جرى حساب قوة المغنطيسات ، بحيث تحافظ على بقاء العربة المتحركة فى داخل الماسورة ، معلقة بين « سقف » الماسورة و « أرضيتها » ، بدون ان تلامس هذا او تلك . ان المغنطيس الكهربائى يجذب العربة المتحركة تحته ، الى الاعلى — ولكن العربة لن تصطدم بالسقف ، لان قوة الجاذبية الارضية تسحبها الى الاسفل . ولكن ما ان تقترب لتلامس أرضية الماسورة ، حتى ترفعها جاذبية المغنطيس الكهربائى الاخر ، وهلم جرا . وهكذا نرى ان العربة

الواقعة تحت تأثير المغنطيسات الكهربائية باستمرار ، تسير فى الفراغ على خط متموج ، بدون احتكاك وبلا رجات ، مثلما تسبح الارض فى الفضاء الكونى .

والآن ، لنر ما هو شكل العربة ؟ ان العربة عبارة عن اسطوانة تشبه السيجار ، يبلغ ارتفاعها ٩٠ سم ، وطولها ٢,٥ م تقريبا . والعربة مقفلة باحكام بطبيعة الحال — لانها تتحرك فى جو مفرغ من الهواء — ومزودة بأجهزة أتوماتيكية لتنقية الهواء ، كما هو الحال فى الغواصات .

وكذلك تختلف طريقة تسيير العربات على خطوطها ، اختلافا تاما عما عهدناه حتى الآن ، حيث لا تقارن الا بطريقة اطلاق قذيفة المدفع . وفى حقيقة الامر ، فان هذه العربات « تطلق» مثل القذيفة تماما ، ولكن من « مدفع » مغنطيسى كهربائى . ويتم انشاء محطات الانطلاق على اساس الخاصية المتمثلة فى قابلية الملف اللولبى المزود بالطاقة الكهربائية ، لسحب قضيب حديدى الى داخله ، بسرعة كبيرة جدا ، تزداد بزيادة طول الملف وقوة التيار . وهذه هى القوة التى ستقوم باطلاق العربات ، فى هذا الطريق المغنطيسى الجديد . ولما كان الاحتكاك معدوما فى داخل النفق ، فان سرعة العربات سوف لا تقل ، وستبقى منطلقة بقصورها الذاتى ، حتى يوقفها الملف اللولبى للمحطة المقصودة .

ونقدم الى القراء فيما يلى ، بعض التفصيلات ، التى نشرها مصمم هذا المشروع :

« ان التجارب التى اجريتها فى الفترة الواقعة بين عامى ١٩١١ و ١٩١٣ ، فى مختبر الفيزياء التابع للمعهد التكنولوجى فى مدينة تومسك ، تمت باستخدام ماسورة نحاسية قطرها ٣٢ سم ، وضعت فوقها مغنطيسات كهربائية ، توجد تحتها عربة صغيرة مسندة ، بلغ وزنها ١٠ كجم — وهى عبارة عن قطعة من ماسورة حديدية ، مزودة بعجلات صغيرة من الامام ومن الخلف ، ولها مقدمة مخروطية تستخدم لايقافها ، وذلك باصطدامها بلوحة خشبية مستندة الى كيس مملوء بالرمل . ولم يكن من المستطاع تسيير العربة الصغيرة ، بسرعة تزيد على ٦ كم/ساعة ، وذلك لضيق مساحة الغرفة ، وقلة محيط الخط الدائرى الماسورى (بلغ قطر الدائرة الماسورية ٦ر٥ م) . وعلى الرغم

من ذلك ، يمكن منح العربة حسب المشروع الذى صممته ، سرعة تتراوح بين ٨٠٠ — ١٠٠٠ كم/ساعة ، عندما يبلغ طول الملفات اللولبية ٣ اميال . ونظرا لعدم وجود الاحتكاك مع ارضية الطريق او سقفه ، فسوف لا نحتاج الى صرف اية طاقة للمحافظة على السرعة المذكورة .

وبغض النظر عن ارتفاع تكاليف انشاء مثل هذا الطريق ، وخاصة تكاليف الماسورة النحاسية ، سوف لا تخصص اية مبالغ للمحافظة على السرعة الابتدائية للعربة ، او لاستخدام سائق او جباة وغير ذلك ، وسوف لا تزيد تكاليف الكيلومتر الواحد من هذا الخط على ما يتراوح بين عدة آلاف ومئة او مئتين من الكوبيكات ، فى الوقت الذى يمكن فيه نقل ١٥ ٠٠٠ مسافر او ١٠ ٠٠٠ طن من الاحمال فى اليوم الواحد ، فى اتجاه واحد ، باستخدام خط مكون من ماسورتين » .

قتال بين سكان المريخ وسكان الارض

يروى العالم الرومانى القديم بلينى احدى القصص الشائعة فى عصره ، عن صخرة مغنطيسية كبيرة توجد فى مكان ما من الهند ، على ساحل احد البحار . وكانت هذه الصخرة تجذب اليها كل المواد الحديدية ، بقوة هائلة . وكانت الكوارث تحل بكل بحار يجرأ على الاقتراب بسفينته من تلك الصخرة ، لانها كانت تنتزع من السفينة كل المسامير والمشابك الحديدية الموجودة فيها ، وتؤدى بذلك الى تفكك الالواح الخشبية للسفينة وغرقها فى البحر . وقد اصبحت هذه القصة فيما بعد ، احدى قصص الف ليلة وليلة .

وما هذه القصة فى الواقع ، الا اسطورة خرافية .

من البديهى اننا نعلم الان بان الجبال المغنطيسية ، اى تلك الجبال الغنية بمادة المنغنيتيت ، موجودة بالفعل . ونتذكر بهذه المناسبة الجبل المغنطيسى الشهير فى الاورال ، حيث تشمخ الافران العالية لمدينة مغنيتوجورسك السوفييتية . ولكن قوة جذب مثل هذه الجبال ، ضعيفة للغاية ، بل معدومة تقريبا . اما الجبال او الصخور ،

التى تحدث عنها العالم الرومانى بلينى ، فلم يكن لها وجود على سطح الكرة الارضية مطلقا . واذا كانت بعض السفن تصنع فى الوقت الحاضر ، بدون اجزاء حديدية او فولاذية ، فليس ذلك خوفا من الصخور المغنطيسية ، بل لدراسة طبيعة المغنطيس الارضى ، بطريقة سهلة .

ان السفينة السوفييتية « زاريا » ، التى شاركت فى تنفيذ برنامج السنة الجيوفيزيائية الدولية ، فى الفترة الواقعة بين عامى ١٩٥٧ و ١٩٥٩ ، كانت مصنوعة برمتها ، من مواد لا تتأثر بالمغنطيس، حيث استبدل الفولاذ والحديد ، بالنحاس والبرونز والالمنيوم وغيرها من المعادن غير المغنطيسية .

وقد استفاد مؤلف الروايات العلمية كورت لاسفيتس من فكرة اسطورة بلينى ، فى العمل على اختراع سلاح حربى خطير ، يلجأ القادمون من المريخ – فى رواية المؤلف المعنونة بـ « على سطح كوكبين » – الى استخدامه فى القتال مع جيوش الكرة الارضية . وبواسطة هذا السلاح المغنطيسى (او بالاحرى المغنطيسى الكهربائى) ، لا يعمد سكان المريخ الى القتال المباشر مع سكان الارض ، بل يقومون بنزع سلاح جيوش الارض ، قبل الالتحام معها فى اى قتال .

واليكم مشهد القتال بين سكان المريخ وسكان الارض ، كما يصفه لنا مؤلف الرواية :

« وتقدمت صفوف الفرسان الزاهية مندفعة الى الامام بثبات وعزم . وكان يظهر ان عزمهم المتفانى قد جعل أعداءهم الجبابرة – سكان المريخ – يتهيأون للانسحاب ، وذلك لاضطراب تحليق سفنهم الفضائية ، وطيرانها بتشكيلات جديدة ، حيث حلقت فى اعالى الجو ، وكأنها تلوذ بالفرار .

ولكن فى نفس الوقت ، هبط من السماء غطاء من مادة داكنة سوداء ، وأصبح للتو يظلل ساحة القتال ، تحيط به السفن الفضائية من جميع الجهات ، وما ان وقع الصف الاول من الفرسان تحت تأثير هذه المكنة الغريبة ، حتى امتد تأثيرها فى الحال ، الى بقية الفوج بأجمعه . وقد كان ذلك التأثير غير متوقع ، وعلى درجة كبيرة من الفظاعة !

ولقد شقت صيحات الرعب عنان السماء ، وتبعثر الفرسان مع خيولهم فى ساحة القتال ، وتشبع الجو بغيوم كثيفة من الحراب والسيوف والبنادق ، التى طارت الى الاعلى مصحوبة بقرقعة هائلة ، والتصقت بتلك المكنة الغريبة .

ثم انحرفت المكنة مبتعدة الى مسافة قليلة عن ساحة القتال ، وألقت بكل ما تحملها من أسلحة على الارض . وعادت الى الساحة مرتين اخريين ، وجمعت كل الاسلحة الموجودة هناك على الاطلاق . ولم تستطع أية يد ، مهما كانت قوية ، ان تحتفظ بالسيف او الرمح ، الذى تمسك به . وكانت هذه المكنة ، عبارة عن اختراع جديد ، حققه سكان المريخ . وقد جذبته اليها بقوة لا تقهر ، كل المواد المصنوعة من الحديد والفولاذ . وقد تمكن سكان المريخ ، بواسطة هذا المغنطيس الطائر فى الهواء ، ان ينتزعوا الاسلحة من ايدى سكان الارض ، بدون ان يسببوا لها اى أذى .

وانطلق المغنطيس الطائر الى ابعد من ذلك ، واقترب من فرق المشاة . وحاول الجنود التشبث بأسلحتهم بكل ما لديهم من القوة ، ولكن جهودهم ذهبت هباء ، حيث انتزعت قوة المغنطيس الخارقة ، الاسلحة من ايديهم . وكثير من الجنود الذين استطاعوا مع ذلك ان يحتفظوا بأسلحتهم فى ايديهم ، طاروا فى الفضاء مع اسلحتهم ، منجذبين نحو المغنطيس . وخلال عدة دقائق ، كانت اسلحة الفوج الاول بأجمعه ، قد انتزعت من ايدى الجنود . وانطلقت المكنة بعد ذلك ، تلاحق الافواج الاخرى السائرة فى طرقات المدينة ، لتعد لهم نفس الاستقبال الرهيب .

وقد تعرضت المدفعية لنفس المصير ، الذى حل بالجيوش السابقة » .

الساعات والمغنطيسية

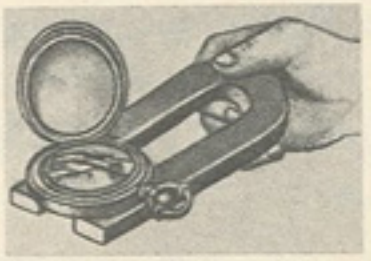
عند مطالعة الموضوع السابق ، سيتبادر الى ذهن القارئ حتما السؤال التالى : ألا يمكن وقاية المواد الحديدية من تأثير القوى المغنطيسية ، بتغطيتها بحاجز لا تخترقه تلك القوى ؟

ان هذا ممكن تماما ، وكان بالامكان جعل السلاح المغنطيسى لسكان المريخ ، عديم الفائدة ، لو اتخذت التدابير الوقائية مسبقا .

ومن الغريب جدا ، ان تكون المادة التى لا تخترقها القوى المغنطيسية ، هى نفس المادة الحديدية ، التى تتمغنط بسهولة ! ان ابرة البوصلة ، الموضوعة داخل حلقة حديدية ، لا تتأثر بالمغنطيس ، الموجود خارج تلك الحلقة .

ويمكن حماية الاليات الفولاذية الدقيقة لساعة الجيب ، من تأثير القوى المغنطيسية ، باستخدام علبة حديدية (غلاف حديدى) . واذا وضعنا سلعة ذهبية على قطبى مغنطيس قوى على هيئة حدوة الفرس (شكل ٩٦) ، فان كافة الاجزاء الفولاذية لآلية الساعة ، وقبل كل شئ زنبركها الشعرى الدقيق ، ستتمغنط فى الحال ، وسوف لا تعمل الساعة بصورة صحيحة * . وعند ابعاد المغنطيس ، لا تعود الساعة الى حالتها السابقة ، لان الاجزاء الفولاذية لآليتها تبقى ممغنطة ، وتصبح الساعة بحاجة الى اصلاح جذرى ، بتبديل اجزاء كثيرة من اليتها ، بأجزاء اخرى جديدة . ولهذا السبب ، لا يجوز اجراء مثل هذه التجربة ، باستخدام ساعة ذهبية ، لانها ستكلف ثمنا باهظا .

وعلى العكس من ذلك ، يمكن اجراء مثل هذه التجربة ، باستخدام ساعة تكون آليتها مغطاة باحكام ، بغطاء حديدى او فولاذى ، وذلك لان القوى المغنطيسية لا تخترق الحديد او الفولاذ . واذا قربنا مثل هذه الساعة من ملف مولد كهربائى قوى جدا ، فان ذلك سوف لا يؤثر على عمل الساعة مطلقا . ان هذه الساعات الحديدية الرخيصة ، تعتبر ساعات مثالية بالنسبة للعمال والمهندسين الكهربائيين ، فى الوقت الذى تتعطل فيه الساعات الذهبية او الفضية ، نتيجة لتأثير القوى المغنطيسية .



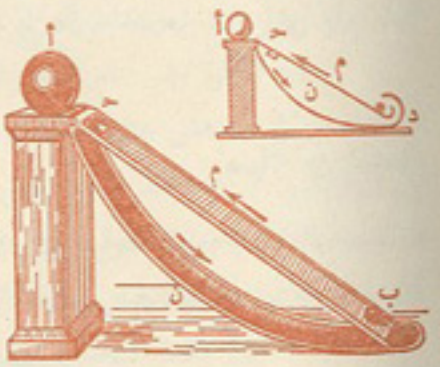
شكل ٩٦ : ما الذى يحول دون تمغنط آلية الساعة الحديدية .

* الا اذا لم يكن هذا الزنبرك الشعرى مصنوعا من سبيكة خاصة تسمى بالانفار ، وهى سبيكة لا تتمغنط ، ولو ان الحديد والنيكل يدخلان فى تركيبها .

المحرك المغنطيسى «الدائم الحركة»

لقد لعب المغنطيس دورا مهما فى محاولات اختراع المحرك « الدائم الحركة » . وقد حاول المخترعون الفاشلون ، بكل ما فى وسعهم من جهود ، استخدام المغنطيس لتصميم وانشاء آلية ذاتية الحركة . ونقدم الى القراء الان تصميم احدى هذه الاليات (كما وصفه الاسقف الانكليزى جون ويلكونسن ، فى القرن السابع عشر) .

نضع المغنطيس القوى أ ، فوق عمود صغير ، كما هو مبين فى الشكل ٩٧ . وقد اسندت الى العمود ، قناتان م و ن ، وضعت احداهما فوق الاخرى . وتحتوى القناة العليا على فتحة صغيرة ح فى القسم العلوى ، اما القناة السفلى ، فهى مقوسة الشكل . وكانت فكرة المخترع كما يلى : اذا وضعنا على القناة العليا ، كرة حديدية صغيرة ب ، فسوف تتدحرج الكرة الى الاعلى ، نتيجة لجذب المغنطيس أ . ولكنها عندما تصل الى الفتحة ح ، تسقط منها الى القناة السفلى ن ، وتتدحرج الى الاسفل ، حتى تدخل فى طرفها المقوس د ، وتهبط على القناة العليا م ، فيجذبها المغنطيس أ الى الاعلى ، حيث تسقط فى الفتحة ح وتصل الى القناة السفلى ثم تتدحرج الى الاسفل ، وتدخل فى الطرف المقوس لهذه القناة ، حيث تهبط على القناة العليا ، فيجذبها المغنطيس الى الاعلى من جديد ، لتعاود حركتها على هذا المنوال . وبهذه الطريقة ، ستستمر الكرة فى حركتها الى الاعلى والاسفل ، فنحصل بذلك على « حركة دائمية » .



شكل ٩٧ : محرك خيالى « دائم الحركة » .

أين يكمن الخطأ الذى وقع فيه المخترع ؟

ان من السهل الاشارة الى هذا الخطأ لماذا تصور المخترع بان الكرة المتدحرجة على القناة ن ، الى طرفها السفلى ، ستنطلق بعدئذ بسرعة كافية ، تمكنها من الارتفاع الى الاعلى ، عن طريق الطرف المقوس د ؟ كان من الممكن ان يحدث ذلك ،

لو كانت الكرة تتدحرج بتأثير الجاذبية الارضية وحدها ، حيث كانت ستتدحرج بتسارع معين . ولكن هذه الكرة واقعة تحت تأثير قوتين ، وهما قوة الجاذبية الارضية وقوة جذب المغنطيس . ومن المفروض فى قوة المغنطيس ان تكون كبيرة جدا ، بحيث يمكنها رفع الكرة من النقطة ب الى النقطة حـ . ولهذا ، فان الكرة سوف لا تتدحرج على القناة ن ، بتسارع ، بل بتباطؤ ، وحتى فى حالة وصولها الى الطرف السفلى للقناة ، فانها على كل حال لن توفر سرعة كافية لتسلق الطرف المقوس د . وقد ظهرت نماذج متنوعة عديدة من هذا المشروع ، من وقت لآخر .

ومن الغريب جدا ان احد هذه المشاريع المماثلة ، قد سجل رسميا فى المانيا عام ١٨٧٨ ، اى بعد ثلاثين عاما من اكتشاف قانون حفظ الطاقة ! وقد اخفى المخترع بدهاء ، الفكرة الاساسية السخيفة لمحركه المغنطيسى «الدائم الحركة» ، بحيث استطاع تضليل اعضاء اللجنة الفنية المسئولة عن منح براءات الاختراع .

وبالرغم مما يقره النظام ، من ان البراءات يجب الا تمنح للاختراعات التى تتعارض مبادئها وقوانين الطبيعة ، الا ان الاختراع المذكور كان قد سجل رسميا فى سجلات الدولة . وعلى كل حال ، فان صاحب براءة الاختراع ، الوحيدة من نوعها فى العالم ، قد اصيب بخيبة أمل فى اختراعه هذا ، حيث توقف عن دفع الرسوم بعد مرور عامين فقط . وبذلك فقدت براءة الاختراع الطريقة مفعولها القانونى الذى يخول جميع الناس الاستفادة من ذلك «الاختراع» . ولم يكن احد من الناس فى يوم ما ، بحاجة الى ذلك الاختراع مطلقا .

مسألة من المتحف

كثيرا ما تدعو الحاجة خبراء المتاحف ، الى مراجعة وقراءة بعض المخطوطات القديمة جدا والمتهرئة التى تتمزق عند أقل محاولة لتقليب صفحاتها وفصلها عن بعضها . كيف يمكن القيام بفصل الصفحات عن بعضها فى هذه الحالة ؟

يوجد فى اكاديمية العلوم السوفييتية ، مختبر لتجديد الوثائق ، تحل فيه مثل

هذه المسائل . وفى مثل حالتنا السابقة ، يقوم الفنيون فى هذا المختبر ، باستخدام الكهرباء لفصل صفحات تلك المخطوطات القديمة عن بعضها كما يلى : يمرر التيار الكهربائى فى المخطوطة المراد تقليب صفحاتها ، وعندئذ تتنافر الصفحات المشحونة بشحنات متماثلة ، وتنفصل عن بعضها بكل هدوء ، بدون ان تصاب بأى تمزق . وبعد ذلك يستطيع الشخص الخبير ، ان يفصل الاوراق عن بعضها بسهولة ، ويلصقها على ورق مقوى .

محرك آخر موهوم من المحركات «الدائمة الحركة»

فى السنوات الاخيرة ، حصلت فكرة ربط المولد بالموتور الكهربائى ، على شعبية واسعة لدى الباحثين عن المحرك الدائم الحركة . ويأتى الى فى كل سنة حوالى ستة من هؤلاء الباحثين ، يعرضون على تصاميم محركاتهم هذه . ويخرج هؤلاء جميعا بنتيجة واحدة وهى : يجب ربط بكرة المولد ببكرة الموتور الكهربائى بواسطة سير ، وربط موصلات المولد بموصلات الموتور الكهربائى . والفكرة ، هى انه اذا اكسبنا المولد دفعة أولية ، فان التيار الناتج عن ذلك ، يسرى فى الموتور الكهربائى ويحركه ، ثم تنتقل الطاقة الحركية للموتور الى بكرة المولد بواسطة السير ، الامر الذى يجعل المولد يتحرك . وبهذه الطريقة — كما يتصور المخترعون — ستحرك كل مكنة ، المكنة الاخرى ، وتستمر هذه الحركة الى ما لا نهاية ، حتى تبلى المكنتان .

ان هذه الفكرة تبدو امام المخترعين ، بحلة مغرية جدا . ولكن كل من حاول تحقيقها عمليا ، دهش عندما تأكد له بالذات ، بان اية مكنة من هاتين المكنتين لن تعمل فى مثل هذه الظروف . وليس فى وسع الانسان ان ينتظر من هذا المشروع اكثر من ذلك . وحتى اذا فرضنا بان معامل كفاية كل مكنة من المكنتين المربوطتين يساوى ١٠٠ ٪ ، لما تمكنا من جعلهما تتحركان بالطريقة المذكورة ، الا بعد التخلص من الاحتكاك كليا . ان ربط المكنتين المذكورتين — او تجميعهما كما يقول المهندسون — يؤدى فى الحقيقة الى تكوين مكنة واحدة ، يجب ان تحرك نفسها بنفسها . اما

عند عدم وجود الاحتكاك ، فان هذه المجموعة ستتحرك – كأية بكرة عادية – حركة دائمية ، ولكن بدون اية فائدة ترجى من هذه الحركة . لاننا اذا جعلنا هذا « المحرك » يقوم بأى عمل خارجى ، فانه سيتوقف فى الحال . وكنا سنحصل فى هذه الحالة على « حركة دائمية » وليس على محرك دائم الحركة . اما عند وجود الاحتكاك ، فان المجموعة المذكورة (المكنة المتكونة) لن تتحرك مطلقا . ومن الغريب ان الناس الذين تستهويهم هذه الفكرة ، لا يتطلعون الى تحقيقها بطريقة اسهل من طريقتهم المتبعة ، وذلك بلف سير حول اية بكرتين وتدوير احداهما . واذا انطلقنا من نفس المبدأ ، الذى استندنا اليه فى حالة تجميع المكنتين ، فيجب ان نتوقع قيام البكرة الاولى بتدوير البكرة الثانية . وبدوران البكرة الثانية ، تدور معها البكرة الاولى . ويمكن الاكتفاء ببكرة واحدة ، حيث نبدأ بتدويرها ، لنرى بعد ذلك بان نصفها الايمن سيقوم بتدوير النصف الايسر ويعمل النصف الايسر بدورانه ، على ادامة دوران النصف الايمن . وسخافة الفكرة واضحة ، فى الحالتين الاخيرتين ، ولذا فان مثل هذه المشاريع ، لا توحى لاحد باى شىء . ولكن فى حقيقة الامر ، نرى ان مصدر هذه المحركات الثلاثة « الدائمة الحركة » ، ينبع من نفس الفكرة الخاطئة .

محرك شبيه جدا بالمحرك «الدائم الحركة»

ان عبارة « شبه دائم » لا تمثل شيئا مغريا ، بالنسبة للرياضيات . لان الحركة اما ان تكون دائمية ، او غير دائمية ، وعبارة « شبه دائمية » تعنى فى الحقيقة غير دائمية . ولكن الامر ليس كذلك بالنسبة للحياة العملية . وربما كان الكثير من الناس ، سيشعر بالقناعة التامة ، عند الحصول لا على محرك « دائم الحركة » ، بل على محرك شبيه جدا بالمحرك الدائم الحركة ، يمكنه ان يعمل ولو لمدة ألف سنة مثلا . ان حياة الانسان قصيرة ، بحيث تصبح الالف سنة ، بمثابة « حياة دائمية » تقريبا ، بالنسبة لعمر الانسان . وربما سيعتقد الناس العمليون ، بان مسألة المحرك الدائم الحركة قد وجدت لها حلا ، ولا داعى للتفكير فيها بعد الآن .

شكل ٩٨ : ساعة راديوية يمكن اعتبارها « دائمية الحركة » تقريبا حيث يمكنها ان تعمل لمدة ١٦٠٠ سنة .

ويمكن ان نبشر هؤلاء الناس بان المحرك الذى يعمل لمدة ألف سنة قد اصبح جاهزا فى الواقع ، ويستطيع كل شخص ان يحصل عليه ، بصرف مبلغ معين من النقود . ولم يحصل اى انسان على براءة اختراع هذا المحرك لحد الان ، وهو لا يحتوى على اية أسرار . لقد اخترع هذا الجهاز البروفيسور ستيرت فى عام ١٩٠٣ ، ويطلق عليه عادة اسم « الساعة الراديومية » ، وتركيبه بسيط للغاية (شكل ٩٨) . ويتكون من قنينة زجاجية مفرغة من الهواء ، وقد علقت فى داخلها أنبوبة زجاجية صغيرة أ ، بواسطة خيط من الكوارتز ب (ان الكوارتز عديم الموصلية للكهرباء) ، وتحتوى الانبوبة على بضعة أجزاء من الالف من الجرام من ملح الراديوم وقد علقت فى نهاية الانبوبة السفلى ، صفيحتان من الذهب ، كما هو الحال فى المكشاف الكهربائى (الالكتروسكوب) . والراديوم كما هو معروف ، يبعث ثلاثة انواع من الاشعة ، وهى أشعة « ألفا » و « بيتا » و « جاما » . وفى هذه الحالة ، تلعب الدور الرئيسى ، أشعة « بيتا » ، التى تخترق الزجاج بسهولة ، والمتكونة من تيار من الدقائق (الالكترونات) المشحونة بشحنات سالبة . ان هذه الدقائق التى يبعثها الراديوم فى جميع الاتجاهات ، تحمل معها الشحنات السالبة . ولذا ، فان الانبوبة المحتوية على الراديوم ، تشحن تدريجيا بالشحنة الموجبة . وتنتقل هذه الشحنة الموجبة الى الصفيحتين الذهبيتين ، وتؤدى الى انفراجهما . وعندما تنفرج الصفيحتان ، فانهما تلامسان جدران القنينة الزجاجية ، وتفقدان شحنتهما فى مواضع التلامس (تلصق على جدران القنينة فى مواضع التلامس ، اوراق مفضضة رقيقة ، لتنتقل الشحنة الكهربائية عن طريقها) ، ثم

تعودان الى الانطباق من جديد . وسرعان ما تتكون شحنة جديدة ، تؤدى الى انفراج الصفيحتين مرة اخرى ، وبانفراجهما تفقدان هذه الشحنة ، فتعودان الى الانطباق ، وهنا تتزودان بالشحنة الكهربائية من جديد وهلم جرا . وفى كل دقيقتين او ثلاث تتذبذب الصفيحتان الذهبيتان ذبذبة واحدة ، مثلما يتذبذب بندول الساعة — ومن هنا جاءت تسمية هذا الجهاز بـ« الساعة الراديومية » . وتستمر هذه الذبذبات عشرات ومئات السنين ، حتى يتوقف الراديوم عن بعث أشعته المذكورة .

وهكذا يرى القارئ ، بان المحرك الذى امامه ، ليس محركا « دائم الحركة » مطلقا ، ولكنه من النوع الذى يعمل بالطاقة الممنوحة .

الى متى يستمر انبعاث الاشعة من الراديوم ؟

لقد ثبت بان قابلية الراديوم لبعث الاشعة ، تقل الى النصف خلال ١٦٠٠ سنة . ولذا ، فان الساعة الراديومية ستستمر فى عملها لمدة لا تقل عن ألف سنة ، مع تضاؤل تردد الحركة الاهتزازية بالتدريج ، نتيجة لضعف الشحنة الكهربائية . ولو كانت هذه الساعة الراديومية قد صنعت فى بداية قيام أول دولة روسية ، لاستمرت فى عملها حتى يومنا هذا !

والآن ، هل يمكن استخدام محرك الطاقة الممنوحة هذا ، لبعض الاغراض العملية ؟ ان ذلك غير ممكن مع الاسف . ان قدرة هذا المحرك (اى مقدار العمل الذى ينجزه فى الثانية) ضئيلة الى درجة لا تسمح له بتشغيل اية آلية ، مهما كانت صغيرة . ولاجل الحصول على بعض النتائج الملموسة ، يجب استخدام احتياطى كبير من الراديوم ، يزيد عما سبق بكثير . واذا علمنا بان الراديوم هو عنصر نادر الوجود وباهظ الثمن ، لوافقنا على ان مثل هذا المحرك الذى يعمل بالطاقة الممنوحة ، لا يجلب لصاحبه الا الافلاس والخراب .

ان فى داخل الذرة ، احتياطات هائلة من الطاقة ، تكمن فى نواتها . ونستطيع باستخدام الطاقة الذرية ، الحصول على احتياطات لا تنضب من الطاقة ، وهذا يحدث امام أعيننا فى هذه الايام ، حيث تم انشاء العديد من المحطات الكهرذرية ، وكانت المحطة الاولى من هذا النوع قد انشئت فى الاتحاد السوفييتى عام ١٩٥٦ .

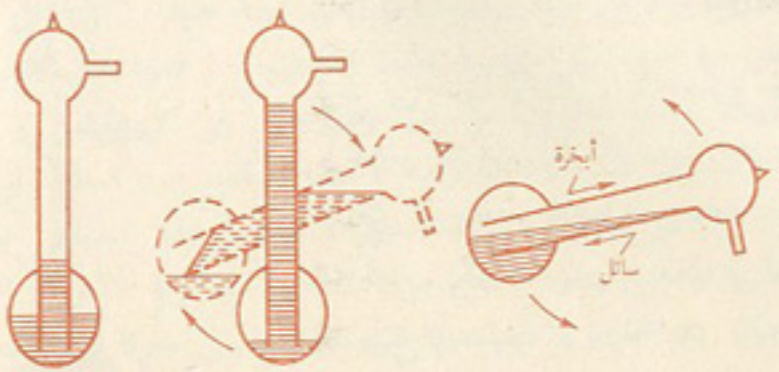
الطير الشريب

شكل ٩٩ : الطير الشريب .

توجد بين ألعاب الاطفال ، لعبة صغيرة مصدرها الصين ، تدهش كل من يراها اثناء عملها . وهذه اللعبة تسمى « الطير الشريب » . وعندما نضع امام هذا الطير كأسا من الماء ، فانه ينحنى ويغمر منقاره فى الماء ، ثم يشرب ويرفع رأسه ليعود الى وضعه السابق . وبعد ان يقف قليلا يبدأ بالانحناء ببطء حتى يغمر منقاره فى الماء فيشرب ثم يعود الى وضعه السابق من جديد . . وهكذا .

ان هذه اللعبة هى عبارة عن نموذج للمحركات ، التى تعمل بالطاقة الممنوحة . ان آلية الحركة فى هذه اللعبة ، ظريفة جدا . اذ يتكون جسم الطير (شكل ٩٩) ، من انبوبة زجاجية ، تنتهى من الاعلى بكرة صغيرة ، صنعت على شكل رأس يحتوى على منقار . وتنتهى الانبوبة من الاسفل ، بنهاية مفتوحة ، داخلة فى وعاء كروى ، أوسع من الكرة الاولى ، وهو مغلق باحكام ايضا . وهذا الوعاء مملوء بالاثير ، بحيث يكون مستوى الاثير أعلى من النهاية المفتوحة للانبوبة بقليل .

والآن ، لكى نجعل الطير يبدأ بالشرب ، يجب ان نبلل رأسه بالماء . وسيبقى الطير بعد ذلك ، محافظا على وضعه العمودى لفترة قليلة ، ذلك لان الوعاء السفلى ، الذى يحتوى على الاثير ، أثقل من الرأس . ولنرى الان ما الذى سيحدث بعد ذلك . نلاحظ قبل كل شىء ، بان الاثير بدأ يرتفع الى اعلى الانبوبة (شكل ١٠٠) . وعندما يصل الى الحافة العليا للانبوبة ، يصبح الجزء العلوى اثقل من الجزء السفلى ، وبذلك ينحنى الطير ليغمر منقاره فى كأس الماء. وبعد ان يصبح الطير فى وضع أفقى ، تصبح النهاية المفتوحة للانبوبة ، أعلى من مستوى الاثير الموجود فى الوعاء السفلى ،



شكل ١٠٠ : سر تركيب الطير الشريب .

وبذلك يجرى الاثير من الانبوبة ، ليعود الى الوعاء من جديد . ويصبح « الذيل » اثقل من الرأس مرة اخرى ، ويعود الطير الى الوضع العمودى .

ان الناحية الميكانيكية لهذه المسألة، قد اصبحت الان مفهومة لدى القارئ، وتتلخص فى ان حركة الاثير تغير توزيع الاثقال حول المحور ، اى تزيح مركز الثقل. ولكن ما الذى يجعل الاثير يرتفع الى الاعلى ؟

ان الاثير الموجود فى داخل الطير ، يتبخر بسهولة عند درجة حرارة الغرفة . اما ضغط الابخرة المشبعة ، فيتغير بحدة مع تغير درجة الحرارة .

وعندما يصبح الطير فى وضع عمودى ، يمكن ملاحظة منطقتين منفصلتين من أبخرة الاثير : الانبوبة مع الرأس ، والوعاء الذيلى .

ان لرأس الطير خاصية رائعة ، وهى انه عند تبلله بالماء ، تصبح درجة حرارته ، أقل من درجة حرارة الوسط المحيط بقليل . ومن السهل التوصل الى ذلك ، اذا صنعت قمة رأس الطير من مادة مسامية ، تمتص الرطوبة جيدا ، وتبخرها بسرعة .

وليتذكر القارئ ما قلناه عن التبخر فى الفصل السابع . ان التبخر السريع يكون مصحوبا بانخفاض فى درجة حرارة رأس الطير ، بالنسبة لدرجة حرارة الانبوبة ووعاء الاثير السفلى . وهذا بدوره يؤدى الى انخفاض ضغط البخار المشبع ، الموجود فى

رأس الطير ، ويندفع الاثير الى أعلى الانبوبة ، بتأثير الضغط المرتفع للابخرة الموجودة فى وعاء الاثير السفلى . وبذلك يتزاح مركز الثقل ، وبالتالى . يأخذ الطير الوضع الافقى . وفى هذا الوضع ،تجرى عمليتان منفصلتان عن بعضهما تماما.اولا — يغمر الطير منقاره فى كأس الماء ، وبذلك يبلل الغطاء القطنى ، الموضوع على رأسه . وثانيا — يختلط البخار المشبع الموجود فى رأس الطير ، مع البخار المشبع الموجود فى الوعاء السفلى ، ويصبح الضغط متعادلا (ترتفع درجة حرارة الابخرة قليلا ، على حساب حرارة الهواء المحيط) ، ويسيل الاثير من الانبوبة الى الوعاء السفلى ، وذلك بتأثير وزنه الذاتى . وهنا يأخذ الطير الوضع العمودى من جديد .

وهكذا ستتحرك اللعبة باستمرار ، ما زال الغطاء القطنى الموضوع على الرأس يتبلل على الدوام ، وعلى شرط ان لا تكون رطوبة الهواء المحيط عالية جدا . وهذان العاملان ضروريان لاستمرار عملية التبخر بصورة طبيعية ، وبالتالى تأمين الانخفاض النسبى لدرجة حرارة الرأس . وبهذا الشكل ، فان حرارة الهواء المحيط المنتقلة الى اللعبة باستمرار ، تكون بمثابة مصدر لحركة الطير السحرى .

وهكذا نرى بان هذه اللعبة ، هى عبارة عن نموذج صادق للمحرك الذى يعمل بالطاقة الممنوحة ، وهى أبعد ما تكون عن المحرك « الدائم الحركة » .

كم يبلغ عمر الارض ؟

ان دراسة قوانين انحلال العناصر ذات الفاعلية الاشعاعية ، زودت الباحثين بطريقة ناجحة لحساب عمر الارض .

ما هو الانحلال ذو الفاعلية الاشعاعية ؟ انه عبارة عن تحول الذرات ذاتيا — اى بدون تأثير خارجى — الى ذرات من نوع آخر . ومن الغريب ان نلاحظ ، بان هذا التحول لا يخضع لاية مؤثرات خارجية . ان انخفاض او ارتفاع درجة الحرارة او الضغط وغير ذلك ، لا يؤثر مطلقا على سرعة حدوث عملية التحول * . ان عناصر اليورانيوم

* لتأثير على عملية التحول ، نحتاج الى درجة حرارة تساوى عشرات المليارات من درجات الحرارة المئوية.

والثوريوم والاكتينيوم، الموجودة فى بعض المعادن ، تعتبر من ابرز الاعضاء الاوائل ، فى صفوف العناصر ذات الفاعلية الاشعاعية . وكل صف من الصفوف ، يتكون نتيجة لتعاقب تحول العناصر ذات الفاعلية الاشعاعية ، تحولا ذاتيا من عنصر لاخر . والنتيجة النهائية لهذه التحولات ، بالنسبة للعناصر الثلاثة المذكورة ، هى تكون الرصاص . والرصاص الناتج عن تحول كل عنصر من العناصر الثلاثة المذكورة ، وزن ذرى يختلف قليلا عن الوزن الذرى للرصاص العادى . ان ذرة الرصاص العادى ، اثقل من ذرة الايدروجين بـ ٢٠٧ مرات ، وذرة الرصاص الناتج من اليورانيوم اثقل من ذرة الايدروجين بـ ٢٠٦ مرات ، وذرة الرصاص الناتج من الثوريوم اثقل من ذرة الايدروجين بـ ٢٠٨ مرات . اما ذرة الرصاص الناتج من الاكتينيوم ، فهى أثقل من ذرة الايدروجين بـ ٢٠٧ مرات . ولذا ، يمكن بسهولة التمييز بين هذه الانواع الثلاثة من الرصاص .

ويكون التحول المذكور مصحوبا بابتعاث ما يسمى بأشعة « ألفا » ، من الذرات المنحلة . وهذه الاشعة — تيار الدقائق المادية المشحونة — هى عبارة عن ذرات غاز الهليوم الخفيف الخامل . وبما ان سرعة هذه الدقائق المشحونة فى لحظة تحررها ، كبيرة جدا ، فانها تفقد شحنتها الكهربائية الموجبة ، وتبقى فى داخل المعدن على هيئة غاز الهليوم العادى . وهذا ما يفسر لنا سبب وجود غاز الهليوم ، فى جميع المعادن ذات الفاعلية الاشعاعية .

الا ان تقدير عمر المعادن ، بموجب ما تحتويه من غاز الهليوم ، يمكن ان يؤدى الى نتيجة غير مضبوطة الى حد بعيد . ذلك لان لغاز الهليوم قابلية للتصعيد (التطاير) كبقية الغازات الاخرى الخفيفة . ويظهر ان الحصول على أضبط نتيجة لتقرير عمر المعدن ، يتم بقياس كمية الرصاص المتراكم فى ذلك المعدن .

وفى بداية اربعينيات القرن العشرين ، قام العالم الجيولوجى الانكليزى هولمز ، بدراسة وتقدير كمية مختلف انواع الرصاص ، الموجودة فى مكامن المعادن المختلفة ، وخرج منها بنتيجة ، مفادها ان عمر الارض يبلغ ٣ مليارات ونصف مليار سنة .

وفى الواقع ، فان هولمز لم يحدد عمر الارض بالذات ، ولكنه حدد عمر قشرتها ، مستندا فى ذلك الى بعض النظريات القديمة ، حول تكون الارض من كتلة من الغازات الساخنة ، المنفصلة عن الشمس .

وقد قام الاكاديمى السوفييتى فينوجرادوف ، فى الفترة الواقعة بين عامى ١٩٥١ و ١٩٥٢ ، بدراسة وتحليل كافة المعطيات بصورة دقيقة ، وتوصل الى نتيجة مفادها انه لا يمكن تقدير عمر القشرة الارضية ، استنادا الى المعطيات الخاصة بالرصاص فقط . ويمكن التأكيد فى هذه الحالة ، على ان عمر الارض لا يزيد على ٥ مليارات سنة . وقد امكن فى نفس الوقت ، العثور على بعض المعادن ، التى يقدر عمرها بثلاثة مليارات سنة . وبالاستناد الى المعطيات الخاصة بسرعة انحلال نظيرين من نظائر اليورانيوم وكميتهما (وزنهما الذرى يساوى ٢٣٥ و ٢٣٨ على التوالى) ، يقدر عمر الارض بما يتراوح بين ٥ و ٧ مليارات سنة .

وبناء على هذه المعطيات وغيرها ، يمكن تقدير عمر الارض بستة مليارات سنة . ومما يثبت صحة هذا التقدير ، امكانية الحصول على نفس النتيجة ، باتباع طرق مختلفة تماما .

ان العمر الذى يقدر بستة مليارات سنة ، هو عمر مهول ، ليس عند مقارنته بعمر انسان واحد فحسب ، بل وعند مقارنته بتاريخ الانسانية جمعاء .

الطيور الجالسة على الاسلاك الكهربائية

ان الجميع يدركون مدى الخطر الذى يتعرض له الانسان عندما يلمس الاسلاك الكهربائية للترام ، او شبكة الاسلاك الكهربائية ذات الفلطية العالية اثناء مرور التيار الكهربائى خلالها . ان هذا العمل مميت ، ليس بالنسبة للانسان فحسب ، بل وبالنسبة لاضخم الحيوانات ايضا . وهناك كثير من حوادث الموت ، الناجمة عن لمس الاسلاك الكهربائية المقطوعة .

شكل ١٠١ : بماذا يفسر جلوس الطيور عل الاسلاك الكهربائية دون ان تصاب باذى ؟

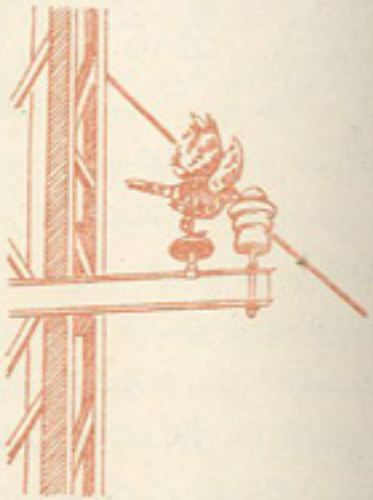
ولكن ، بماذا تفسر ظاهرة جلوس الطيور على الاسلاك الكهربائية ، بكل هدوء وبدون ان تصاب باى اذى ؟ يمكن ملاحظة هذه الظاهرة بكثرة ، وخاصة فى المدن (شكل ١٠١) .

ولكى نفهم سبب مثل هذه التناقضات ، يجب ان نأخذ فى الاعتبار ما يلى : ان جسم الطير الجالس على السلك الكهربائى ، يكون بمثابة خط فرعى للدائرة الكهربائية ، وله مقاومة كبيرة جدا ، بالنسبة لمقاومة الخط الفرعى الاخر (المسافة القصيرة ، الموجودة بين رجلى الطير) . ولهذا السبب تكون قوة التيار الكهربائى فى هذا الخط الفرعى (فى جسم الطير) ، ضئيلة ولا تسبب اى اذى . ولكن اذا قام الطير الجالس على السلك الكهربائى ، بلمس عمود الكهرباء بجناحه او بذيله او بمنقاره — وبصورة عامة اذا اتصل بالارض باية وسيلة كانت — فان التيار الكهربائى سيصعقه فى الحال ، وذلك بانتقاله الى الارض خلال جسم الطير . وهذه الظاهرة كثيرة الحدوث * .

وقد تعودت الطيور على حك مناقيرها باسلاك الكهرباء ، اثناء جلوسها على محامل خطوط النقل العالية الفلطية .

ولما كانت المحامل المذكورة ، غير معزولة عن الارض ، فان الطير يتعرض للموت ، حالما يمس الاسلاك المكهربة . وهذه الظاهرة كثيرة الحدوث ، بحيث

* ان التيار المار خلال الجسم ، هو المسئول كليا عن موت الخلايا الحية لذلك الجسم . وبما ان للجسم الحى ، مقاومة كهربائية محدودة ، اذن يحدد التيار المار خلاله ، بنسبة الجهد الارضى .



شكل ١٠٢ : جلوس الطيور على محامل خطوط النقل الكهربائى ذات الفلطية العالية .

جعلت الالمان فى وقت من الاوقات ، يحتاطون لهذا الامر باجراءات خاصة ، تحول دون هلاك الطيور فى هذه الحالة . ولاجل ذلك ، اقاموا على محامل خطوط النقل العالية الفلطية ، مجاثم معزولة ، لكى تجلس عليها الطيور وتحك مناقيرها باسلاك الكهرباء ، دون ان تصاب بأذى (شكل ١٠٢) . وفى حالات أخرى ، تغلف الاسلاك الكهربائية ، فى الاماكن الخطرة ، بأغلفة عازلة ، بحيث يتعذر على الطيور ان تلامس الاسلاك المذكورة .

تحت ضوء البرق

هل حدث ان شاهد القارئ منظر الشوارع الزاخرة بالحركة ، كما تبدو تحت ضوء البرق المتقطع ، اثناء حدوث العواصف الرعدية ؟ ليتصور القارئ بان عاصفة رعدية باغتته اثناء سيره فى شارع مدينة قديمة . سيلاحظ القارئ بالطبع ، ظاهرة غريبة عند وميض البرق ، وهى ان الشارع الذى كان قبل برهة يزخر بالحركة ، اصبح فى لحظات الوميض ، خاليا من الحركة تماما . وتبدو الخيل واقفة فى وضع متوتر وقد ارتفت قوائمها فى الهواء ، وتتوقف العربات عن الحركة ، بحيث يمكن بوضوح تمييز كل برمق من برامق عجلاتها .

ان سبب توقف الحركة الظاهر ، يتلخص فى ضآلة الوقت الذى يستغرقه حدوث البرق . ان الوقت الذى يستغرقه حدوث البرق ، كأية شرارة كهربائية اخرى ، ضئيل للغاية ، بحيث لا يمكن قياسه بالاجهزة العادية . غير ان العلماء تمكنوا بطرق غير

مباشرة، من تحديد الوقت الذى يستغرقه حدوث البرق ، ويتراوح بين ٠,٠٠١ — ٠,٠٢ ثانية (ان حدوث البرق بين الغيوم ، يستغرق وقتا يصل الى ١,٥ ثانية) . والاشياء التى يمكنها التحرك بصورة ملحوظة ، خلال تلك الفترات الزمنية القصيرة للغاية ، نادرة الوجود فى الطبيعة . ولذلك يجب الا نستغرب عندما نرى بان الشارع الزاخر بالحركة ، قد استحال عند وميض البرق ، الى شارع خال من الحركة تماما ، لاننا لا نحس فى هذه الحالة ، الا بالحركات التى تستغرق من الوقت ما يقل عن جزء من الف من الثانية !

ان كل برمق من برامق العجلات السريعة الحركة ، لا يمكن ان يتحرك خلال الفترة الزمنية المذكورة ، الا لمسافة جزء ضئيل من الملمتر ، يمكن اعتباره بمثابة الصفر بالنسبة للعين ، اى سكون مطلق . ومما يؤدى الى زيادة عمق هذا الانطباع ، ان تأثير هذه الصورة على شبكية العين ، يدوم لفترة تزيد بكثير عن الفترة التى يستغرقها وميض البرق .

كم يبلغ ثمن البرق ؟

كان البرق فى الازمان الغابرة ، يعتبر شيئا الهيا مقدسا ، ولهذا فان سؤالنا كان سيعتبر نوعا من الكفر فى ذلك الوقت . اما فى عصرنا هذا ، فقد تحولت الطاقة الكهربائية الى بضاعة تقاس وتقيم كأية بضاعة اخرى . ولهذا ، فان السؤال عن ثمن البرق ليس بعديم المعنى ابدا . وتتلخص المسألة فى حساب الطاقة الكهربائية المستهلكة عند تفريغ شحنة الصاعقة ، وتقدير ثمنها ولو بموجب تسعيرة الاضاءة الكهربائية .

ويقدر جهد تفريغ شحنة الصاعقة ، حسبما تشير اليه احدث المعطيات بخمسين مليون فلط . كما تقدر شدة التيار القصوى فى هذه الحالة بـ ٢٠٠ الف امبير (تحدد شدة التيار بدرجة تمغنط قضيب من الفولاذ ، عندما يمر فى ملف القضيب ، ذلك التيار الكهربائى الناتج من اصطدام الصاعقة بموصل الصواعق) . ونحصل على القدرة مقاسة بالواطات ، بضرب عدد الفلطات فى عدد الامبيرات ؛ ولكن عند القيام بذلك ، يجب ان نأخذ فى الاعتبار ، هبوط الجهد الى الصفر ، اثناء عملية تفريغ الشحنة .

ولذلك يجب عند القيام بحساب القدرة الكهربائية للتفريغ ، أخذ متوسط الجهد ، او بعبارة اخرى أخذ نصف الجهد الابتدائى . وهكذا ، نحصل على قدرة تفريغ تساوى ما يلى :

$$\frac{٢٠٠٠٠٠ \times ٥٠٠٠٠٠٠٠}{٢} = ٥٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ \text{ واط ،}$$

او ٥ مليارات كيلوواط .

وبالحصول على هذا العدد الكبير من الاصفار ، يتوقع القارئ ان يكون ثمن البرق — طبقا لذلك — باهظا جدا . ولكن للحصول على الطاقة مقاسة بالكيلوواط — ساعة (وهى وحدة قياس الاضاءة الكهربائية) ، لا بد من أخذ الفترة الزمنية فى الاعتبار . ان تفريغ شحنة الصاعقة ، يستغرق حوالى جزء من الف من الثانية (٠,٠٠١ ثانية) . وخلال هذه الفترة الزمنية القصيرة ، يصل مقدار الطاقة الكهربائية المستهلكة الى

$$\frac{٥٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠}{٣٦٠٠٠٠٠٠}$$ كيلوواط — ساعة ، اى حوالى ١٤٠٠ كيلوواط — ساعة .

ان سعر الكيلوواط — ساعة ، يساوى ٤ كوبيكات حسب تسعيرة الاضاءة الكهربائية فى الاتحاد السوفييتى . ومن هنا نستطيع بسهولة حساب ثمن البرق ، كما يلى :

١٤٠٠ × ٤ = ٥٦٠٠ كوبيك = ٥٦ روبلا *

وهذه النتيجة مدهشة بلا شك . ان البرق الذى تزيد طاقته بمئة مرة ، على رمية المدفع الثقيل ، لا يساوى — حسب تسعيرة الاضاءة الكهربائية — سوى ٥٦ روبلا !

ومن الجدير بالذكر ، ان علم الهندسة الكهربائية الحديث ، قد مكن الانسان من الاقتراب من استحداث البرق صناعيا . فقد تمكن العلماء فى مختبراتهم ، من التوصل الى جهد كهربائى قدره ١٠ ملايين فلط ، ونتجت عن ذلك شرارة كهربائية طولها ١٥ م ، وكلا الامرين لا يقلان عما هو عليه فى البرق الطبيعى ، الا بعدة عشرات من المرات .

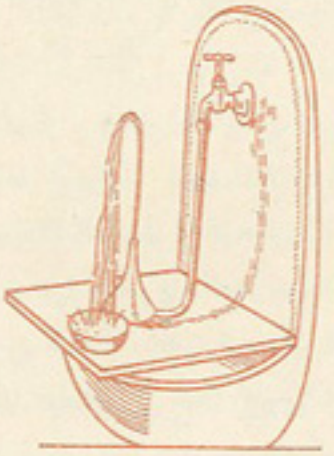
---

* اى حوالى ٦٠ دولارا — المترجم

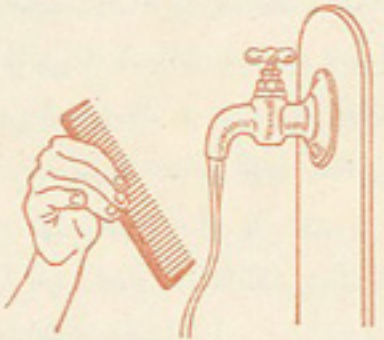
عاصفة رعدية فى الغرفة

يمكن بسهولة ، صنع نافورة فى البيت ، وذلك باستخدام أنبوبة مطاطية ، وغمر احد طرفيها فى سطل ماء موضوع فى مكان مرتفع ، او ادخال ذلك الطرف فى صنبور الماء . ويجب ان تكون فتحة خروج الماء من الطرف الثانى للانبوبة ، صغيرة جدا ، بحيث يتدفق الماء من النافورة على هيئة رشاش . واسهل طريقة للقيام بذلك ، هى ان ندخل فى طرف الانبوبة الثانى ، قلما من اقلام الرصاص ، بعد اخراج لبابه الغرافيتى . ولسهولة استخدام النافورة ، يثبت الطرف الحر للانبوبة ، فى داخل قمع مقلوب ، كما هو مبين فى الشكل ١٠٣ .

والآن لنجعل الماء يتدفق من النافورة بصورة عمودية ، الى ارتفاع نصف متر ، ونقرب منه قضيبا من شمع الختم ، او مشطا من الابونيت ، بعد فركهما مسبقا بقطعة من الجوخ . سوف نرى فى الحال شيئا غير متوقع ، حيث تلتحم تيارات الماء المتفرقة ، فى تيار واحد متماسك ، يرتطم بقعر الصحن الموضوع تحته ، ويحدث صوتا قويا ، أشبه ما يكون بصوت العاصفة الرعدية . ويقول العالم الفيزيائى بويس بهذه المناسبة :



شكل ١٠٣ : عاصفة رعدية فى الغرفة .



شكل ١٠٤ : عند تقريب مشط مكهرب من تيار مائى نجد بان ذلك التيار ينحنى مبتعدا عن المشط .

« ليس هناك شك فى ان هذا السبب بالذات ، هو الذى يجعل حجم قطرات المطر يزداد كثيرا اثناء العواصف الرعدية » . وعندما نبعد شمع الختم عن النافورة ، نرى ان تدفق الماء يعود حالا الى وضعه السابق ، ويختفى الصوت الرعدى ليحل محله صوت تدفق الماء بنعومة .

ويستطيع القارئ ان يجعل من قضيب شمع الختم ، عصا سحرية بالنسبة لغير المطلعين على حقيقة الامر ، كما فعل المشعوذ الفرنسى ، عندما استخدم الصندوق الحديدى ليثبت للجماهير قدرته السحرية العظيمة .

وسبب حدوث هذه الظاهرة غير المتوقعة ، يعود الى كهربة القطرات بالحث . ان القطرات القريبة من شمع الختم ، تشحن بشحنة موجبة ، اما القطرات البعيدة عنه ، فتشحن بشحنة سالبة . وهذا هو الامر الذى يجعل القطرات تندفع مع بعضها ، نتيجة للتجاذب المتبادل بين القطرات المختلفة الشحنة .

وهناك طريقة ابسط من ذلك ، نستطيع بواسطتها اكتشاف تأثير الكهرباء على تيار الماء المنهمر . نمشط شعرنا بمشط من الابونيت ، ثم نقربه من تيار الماء الجارى من الحنفية . وسنرى فى هذه الحالة ، كيف يصبح تيار الماء متماسكا ، ويتقعر نحو المشط ، مبتعدا عنه (شكل ١٠٤) .

ان تفسير هذه الظاهرة ، اصعب من تفسير الظاهرة السابقة ، لانها مرتبطة بتغير الشد السطحى ، تحت تأثير الشحنة الكهربائية .

ونشير بهذه المناسبة ، الى ان سهولة تراكم الشحنة الكهربائية عند الاحتكاك ، تفسر لنا سبب تكهرب السيور عندما تحتك بالبكرات . وفى الشرارات الكهربائية الناتجة عن ذلك ، يكمن خطر حقيقى يتعلق بنشوب الحرائق فى بعض المصانع . ولتلافى هذا الخطر ، تطلى السيور بطبقة رقيقة من الفضة ، تجعلها موصلة للكهرباء ، وبذلك تحول دون تراكم الشحنة الكهربائية فيها .

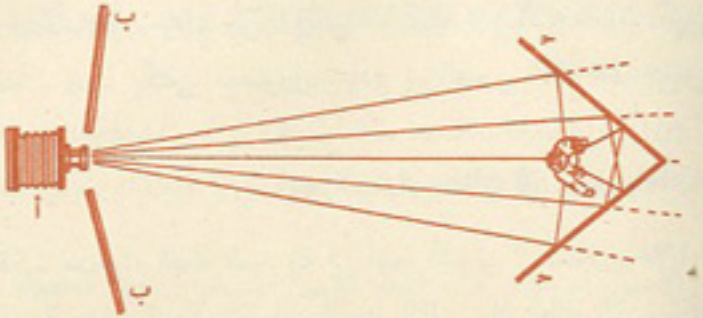
الفصل التاسع

انعكاس وانكسار الضوء . الابصار

الصورة المضاعفة خمس مرات

ان احدى عجائب فن التصوير الفوتوغرافى ، تتمثل فى الصورة التى يظهر فيها الشخص الواحد ، فى خمسة اوضاع مختلفة (شكل ١٠٥) . ومثل هذه الصور ، تكون بلا شك افضل من الصور العادية ، لانها تعطى انطباعا اعمق ، عن ملامح الشخص الاصلى . ويعرف الجميع مدى الجهد الذى يبذله المصورون الفوتوغرافيون للحصول على افضل وضع للوجه المراد تصويره ؛ اما فى هذه الحالة ، فنحصل فى الحال على

شكل ١٠٥ : صورة مضاعفة خمس مرات .



شكل ١٠٦ : طريقة الحصول على صور مضاعفة خمس مرات . يجلس الشخص المراد تصويره بين المرآتين حـ حـ .

خمسة اوضاع مختلفة لذلك الوجه ، يمكن ان نختار من بينها افضل وضع ، يعبر عن ملامح الوجه بدقة .

كيف نحصل على هذه الصور ؟ طبعا باستخدام المرايا (شكل ١٠٦) . يجلس الشخص المراد تصويره ، بحيث يدير ظهره الى عدسة التصوير أ ، بينما يكون وجهه امام مرآتين مستويتين عموديتين على الارض ، تشكلان مع بعضهما زاوية تقدر بخمس الزاوية ٣٦٠° ، اى ٧٢° . ان مثل هاتين المرآتين ، تعطيان اربعة انعكاسات ، باتجاهات مختلفة بالنسبة لعدسة التصوير . وتلتقط هذه العدسة صور الانعكاسات الاربعة بالاضافة الى صورة الشخص بالذات . اما المرآتان (وهما بدون اطار) فلا تظهران فى الصورة ، بطبيعة الحال . وللحيلولة دون انعكاس صورة آلة التصوير الفوتوغرافية فى المرآتين المذكورتين ، تخفى الالة وراء ستارين ب ب ، فيهما فتحة صغيرة تبرز منها العدسة .

ان عدد الانعكاسات (الصور فى المرآة) يعتمد على الزاوية الموجودة بين المرآتين ، فكلما قلت هذه الزاوية ، كلما زاد عدد الانعكاسات الناتجة .

وعندما تبلغ الزاوية $\frac{٣٦٠^\circ}{٤} = ٩٠^\circ$ ، نحصل على اربعة انعكاسات ، وعندما تبلغ $\frac{٣٦٠^\circ}{٦} = ٦٠^\circ$ ، نحصل على ستة انعكاسات . اما عندما تبلغ $\frac{٣٦٠^\circ}{٨} = ٤٥^\circ$ ، فنحصل

على ثمانية انعكاسات ، وهلم جرا . ولكن اذا كان عدد الانعكاسات كبيرا ، تكون الصور باهتة . ولهذا يكتفى المصورون عادة ، بالصور المضاعفة خمس مرات .

المحركات والمسخنات التى تعمل بالطاقة الشمسية

ان فكرة استخدام الطاقة المخزونة فى اشعة الشمس ، لتسخين غلاية المحرك ، هى فكرة مغرية جدا . لنجرى الحساب البسيط التالى : ان الطاقة التى تمنحها الشمس فى الدقيقة الواحدة لكل سنتمتر مربع من السطح الخارجى لجو الارض ، عند سقوطها عليه بصورة عمودية ، محسوبة بدقة من قبل العلماء . ويظهر ان كمية هذه الطاقة ثابتة على الدوام . ولهذا السبب ، اطلق عليها العلماء اسم « الثابت الشمسى » ، وقيمته (مع التقريب) تساوى سعرين لكل سنتمتر مربع واحد ، فى الدقيقة الواحدة . وهذه الكمية الحرارية التى تنبعث من الشمس بصورة منتظمة ، لا تصل الى سطح الارض كاملة ، لان الجو يمتص حوالى نصف سعر منها . ولكن ، يمكن اعتبار ان كل سنتمتر مربع من سطح الارض ، الذى تسقط عليه أشعة الشمس بصورة عمودية ، يحصل على كمية من الحرارة تساوى ١,٤ سعر فى الدقيقة الواحدة . واذا قيست بمقياس اكبر ، نجد ان كل متر مربع من السطح المذكور ، يحصل على ١٤٠٠٠ سعر صغير ، او ١٤ سعرا كبيرا فى الدقيقة الواحدة ، وعلى حوالى $\frac{1}{4}$ سعر كبير فى الثانية الواحدة . وبما ان كل سعر حرارى كبير يتحول كليا الى شغل ميكانيكى قدره ٤٢٧ كجم م ، فان أشعة الشمس الساقطة عموديا على رقعة من الارض تبلغ مساحتها ١ م^2 ، يمكن ان تعطى طاقة تزيد على ١٠٠ كجم م فى الثانية الواحدة ، وبعبارة اخرى ، تزيد تلك الطاقة على ١,٣٣ قدرة حصانية .

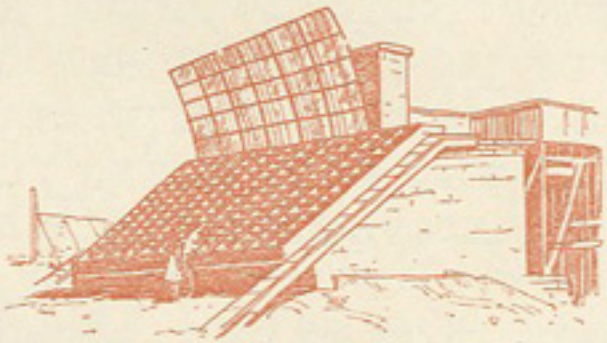
وهذا هو مقدار الشغل الذى يمكن ان تنجزه طاقة اشعة الشمس ، فى افضل الظروف الملائمة — عند سقوط الاشعة بصورة عمودية ، وتحولها كليا الى شغل ميكانيكى . ولكن ، لحد الآن ، لا تزال محاولات استخدام اشعة الشمس لتشغيل المحركات

بصورة مباشرة ، بعيدة عن الظروف المثالية السابقة الذكر ، حيث لم تزد كفاية المحركات المصممة على هذا الاساس ، على ٥ — ٦ ٪ .

وقد كان احسن المحركات المصممة المذكورة ، من حيث الكفاية ، هو المحرك الذى يعمل بالطاقة الشمسية ، الذى اخترعه البروفيسور جارلز أبوت ، حيث بلغت كفايته ١٥ ٪ .

ومن الاسهل استخدام طاقة اشعة الشمس للتسخين ، لا للحصول على شغل ميكانيكى . وتجد هذه المسألة اهتماما كبيرا لدى العلماء السوفييت ، حيث يوجد فى مدينة سمرقند معهد خاص لدراسة الطاقة الشمسية ، يقوم فيه العلماء بابحاث واسعة فى هذا المجال . وقد اخترعت واستخدمت عدة أجهزة تعمل بالطاقة الشمسية ، ومن ضمنها مسخنات الماء . ان معدل كفاية مسخنات الماء ، مرتفع نوعا ما ، حيث يبلغ ٤٧ ٪ . اما الكفاية القصوى فتصل الى ٦١ ٪ .

وقد اختبر العلماء فى جمهورية تركمانيا السوفييتية ، ثلاجة تعمل بالطاقة الشمسية ، حيث وصلت درجة حرارة بطاريات التبريد فى مرافق الثلاجة الى ما يتراوح بين ٢ و٣ تحت الصفر ، فى الوقت الذى كانت فيه درجة حرارة الجو ، قد بلغت ٤٢ مئوية فى الظل . وقد كانت هذه الثلاجة اول مثال لوحدة التبريد الصناعية ، التى تعمل بالطاقة الشمسية .



شكل ١٠٧ : مخزن للتبريد بالطاقة الشمسية فى جمهورية تركمانيا السوفييتية .

وقد اعطت تجارب صهر الكبريت بالطاقة الشمسية نتائج ممتازة (درجة حرارة الانصهار ١٢٠° مئوية) . وتجدر الاشارة هنا ، الى وحدات تقطير الماء ، التى تعمل بالطاقة الشمسية ، والتى تنتشر على سواحل بحر قزوين وبحر آرال فى الاتحاد السوفييتى ، وكذلك الى المضخات التى تعمل بالطاقة الشمسية ، بدلا من المضخات البدائية فى آسيا الوسطى ، والى مجففات الفواكه والاسماك ، والى المطابخ التى تحضر فيها كافة الاطعمة بواسطة « اشعة الشمس » . . وهلم جرا . ان كل ذلك يدخل فى عداد الطرق المتنوعة لاستخدام أشعة الشمس التى تلتقط بالوسائل الفنية . وسوف تلعب هذه الاشعة دورا هاما فى الاقتصاد الوطنى .

وفى السنوات الاخيرة ، تمكن العلماء من اختراع « بطاريات شمسية » تتكون من الواح شبه موصلة ، تعمل على تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كهربائية . وتستخدم البطاريات الشمسية على نطاق واسع ، فى الاجهزة والسفن الفضائية . وقد جرت اولى المحاولات ، لاستخدام هذه البطاريات لتغذية أجهزة الراديو ، التى تلازم الانسان فى سفره وتنقلاته .

طاقية الاخفاء

هناك اسطورة قديمة جدا ، تدور حول طاقية مدهشة ، تجعل كل من يعتمرها ، يختفى عن الانظار . وقد أحيا الشاعر الروسى العظيم بوشكين ، تلك الاسطورة القديمة ، فى روايته الشعرية « روسلان ولودميلا » . ويروى لنا بوشكين كيف ارتدت لودميلا الجميلة ، طاقية الاخفاء وهى تقف امام المرآة ، فاصابتها دهشة بالغة عندما اختفت صورتها المنعكسة فى المرآة . وعندما نزعت لودميلا الطاقية عن رأسها ، رأت صورتها الجميلة فى المرآة ثانية . وفرحت لودميلا بهذه الطاقية لانها جعلتها فى مأمن من الاعداء ، الذين وقعت فى أسرهم .

وكانت قابلية الاختفاء ، هى طريق الخلاص الوحيد ، بالنسبة للودميلا الاسيرة . وقد استخدمت لودميلا الطاقية المذكورة ، واستعانت بها على الهرب بعيدا عن أعين

الرقباء . ولم يستطع هؤلاء الرقباء ان يشعروا بوجود لودميلا ، الا بالحركات التى كانت تأتى بها ، فى غدوها ورواحها .

وقد تحقق منذ زمن بعيد ، الكثير من أحلام البشرية القديمة ، وتمكن العلم من تحويل كثير من المعجزات الخيالية ، الى حقائق واقعية . ونستطيع فى هذا العصر ان نحفر الجبال ، ونلتقط البرق ، ونطير على متن بساط الريح . . أفلا يمكننا اختراع « طاقية الأخفاء » ، اى ايجاد وسيلة لاخفاء جسم الانسان عن الانظار بصورة تامة ؟

الرجل غير المرئى

يحاول الكاتب الانجليزى ويلز ، فى روايته المعنونة « الرجل غير المرئى » ان يقنع القراء بان امكانية جعل الانسان غير مرئى ، متوفرة فى الواقع تماما . ان بطل هذه الرواية (ويقدمه ويلز للقراء على انه من أكبر عباقرة الفيزياء الموجودين على سطح الارض قاطبة ، ولم يسبق له مثيل ابدا) اكتشف وسيلة تجعل جسم الانسان غير مرئى . واليكم شرح مبدأ هذا الاكتشاف ، كما قدمه بطل الرواية لاحد اصدقائه الاطباء :

« تعتمد الرؤية على تصرف الاجسام المرئية فى الضوء . وانت تعرف بان الاجسام اما ان تمتص الضوء ، او ان تعكسه او تكسره . واذا كان الجسم لا يمتص الضوء ولا يعكسه ولا يكسره ، فانه لا يمكن ان يكون مرئيا بطبيعة الحال . وانك مثلا ، ترى الصندوق الاحمر غير الشفاف ، لان الصبغة تمتص جزءا قليلا من الضوء ، وتعكس (تشتت) الاشعة الباقية منه . واذا لم يمتص الصندوق اى جزء من الضوء ، وعكسه برمته ، لكان سيبدو امام العين وكأنه ناصع البياض كالفضة . ان الصندوق المصنوع من الماس ، يمتص قليلا من الضوء ، ومساحته الكلية تعكس قليلا من الضوء ايضا ، ولكن توجد اماكن معينة من اضلاع الصندوق ، تعكس الضوء وتكسره فى آن واحد ، فتعطى بذلك مظهرا متألقا للانعكاسات البراقة — ويتكون لدينا شكل أشبه ما يكون بالهيكل المتلألئ . اما الصندوق الزجاجى ، فهو اقل لمعانا ، ورؤيته

أقل وضوحا من رؤية الصندوق الماسى ، ذلك لان نسبة الانعكاس والانكسار فيه أقل مما هى عليه بالنسبة للصندوق الماسى . واذا وضعنا قطعة من الزجاج العادى الابيض فى الماء ، وخصوصا اذا وضعناها فى سائل أكثف من الماء ، فانها ستختفى عن الانظار تماما على وجه التقريب . ذلك لان الضوء الساقط على قطعة الزجاج من خلال الماء ، ينكسر وينعكس بصورة ضعيفة جدا . وتصبح قطعة الزجاج غير مرئية ، مثل تيار من غاز ثانى اكسيد الكربون او غاز الايدروجين ، الموجودين فى الهواء ، وذلك لنفس السبب السابق .

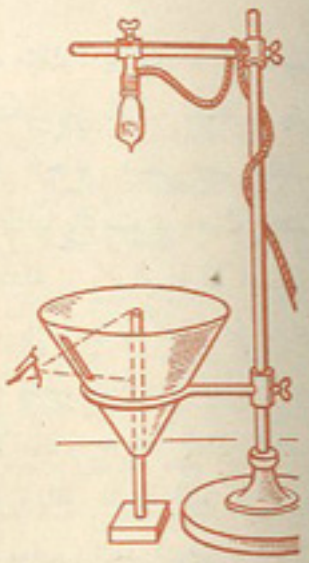
وقال الطبيب كيمب لصديقه المكتشف :

— نعم ، ان كل ما ذكرته يعتبر فى منتهى البساطة ، وهو فى ايامنا هذه معروف لدى كل تلميذ مدرسة .

وواصل المكتشف حديثه قائلا :

— وهذه حقيقة اخرى ، معروفة ايضا لدى كل تلميذ مدرسة ، وهى اننا اذا سحقنا قطعة من الزجاج ، وحولناها الى مسحوق زجاجى ، فان رؤيتها فى الهواء ستصبح اكثر وضوحا — ستصبح مسحوقا ابيض غير شفاف . ويحدث ذلك لان عملية السحق ، تؤدى الى مضاعفة سطوح قطعة الزجاج ، التى تعكس الضوء وتكسره . ويوجد فى اللوح الزجاجى سطحان فقط . اما فى المسحوق ، فان كل دقيقة من دقائقه تعكس الضوء الذى يمر من خلالها وتكسره ، ولا ينفذ من خلال المسحوق برمته ، غير جزء قليل جدا من الضوء . ولكننا اذا وضعنا المسحوق الزجاجى الابيض فى داخل الماء ، فانه سيختفى عن الانظار فى الحال . ان لكل من المسحوق الزجاجى والماء ، معامل انكسار واحد تقريبا ، بحيث لا يعانى الضوء المنتقل من احدهما الى الاخر ، الا قليلا جدا من الانكسار والانعكاس .

واذا وضعنا الزجاج فى سائل ذى معامل انكسار يساوى معامل انكسار الزجاج تقريبا ، فاننا نرى ان الزجاج يختفى عن الانظار . ان كل مادة شفافة تصبح غير مرئية ، اذا وضعت فى وسط ، معامل انكساره يساوى معامل انكسار تلك المادة . واذا ما



شكل ١٠٨ : القضيب الزجاجى غير المرئى.

تعمق المرء قليلا فى هذه المسألة ، فانه يقتنع بامكانية جعل الزجاج غير مرئى ، عند وجوده فى الهواء ايضا . ويتم التوصل الى ذلك ، اذا جعلنا معامل انكسار الزجاج مساويا لمعامل انكسار الهواء . ذلك لان الضوء فى هذه الحالة، سوف لا يتعرض للانعكاس او الانكسار مطلقا* ، عند انتقاله من الزجاج الى الهواء .

ورد الطبيب كيمب على ذلك بقوله :

— ولكن جسم الانسان يختلف عن الزجاج .

— لا ، ان جسم الانسان شفاف اكثر من الزجاج .

---

* يمكننا جعل الجسم الشفاف للغاية، يختفى عن الانظار بالمرة ، وذلك باحاطته بجدران تشتت الضوء بشكل منتظم تماما. ان العين التى تنظر الى الداخل من خلال فتحة جانبية صغيرة ، ستتلقى عندئذ من كافة نقاط الجسم، كمية متساوية من الضوء ، كما لو كان الجسم غير موجود مطلقا ، وذلك لعدم وجود بريق او ظلال يشيران الى وجوده .

ونشرح للقراء الان كيف يمكن اجراء مثل هذه التجربة. نأخذ قمعا من الكارتون الابيض ، قطره ٥٠ سم، ونثبته على مسافة قليلة من مصباح كهربائى قوته ٢٥ واط (شكل ١٠٨) . وندخل فى القمع من الاسفل، قضيبا زجاجيا ، بحيث يكون عموديا تماما قدر الامكان . ذلك لان اقل انحراف عن الوضع العمودى، يؤدى الى ان يظهر القضيب الزجاجى معتما عند محوره ، ومضيئا عند حافاته ، او مضيئا عند محوره ومعتما عند حافاته. وتتحول هاتان الصورتان من واحدة الى اخرى عند اقل تغيير يطرأ على وضع القضيب العمودى. وبعد عدة محاولات متكررة ، يمكن التوصل الى اضاءة القضيب بصورة منتظمة تماما ، وفى هذه الحالة، سيبدو القضيب الزجاجى بالنسبة للعين التى تنظر اليه من خلال فتحة جانبية صغيرة (لا يزيد عرضها على ١ سم) ، وكأنه قد اختفى تماما. وعند اجراء التجربة فى مثل هذه الظروف ، يصبح القضيب الزجاجى غير مرئى، على الرغم من الاختلاف الشديد بين معامل انكسار الزجاج ومعامل انكسار الهواء . وهناك طريقة اخرى ، يمكن بواسطتها ان نجعل قطعة مفلطحة من الزجاج مثلا ، تختفى عن الانظار ، وذلك بوضعها فى داخل صندوق ، طليت جدرانه من الداخل ، بطلاء براق .

– هذا كلام فارغ !

– انني استغرب ان تصدر هذه العبارة من طبيب مثلك ! يا ترى ، هل نسيت علم الفيزياء خلال عشر سنوات ؟ ان الورقة مثلا ، تتكون من الياف شفافة ، وهى بيضاء وغير منفذة ، لنفس السبب الذى جعل المسحوق الزجاجى ابيض وغير منفذ . واذا زيتنا الورقة البيضاء ، وملأنا الفراغات الموجودة بين الياقها بالزيت ، بحيث يحدث الانكسار والانعكاس على سطحها فقط ، فسوف نرى عندئذ ، بان الورقة قد اصبحت شفافة مثل الزجاج . وهذا لا ينطبق على الورقة فحسب ، بل وينطبق كذلك على ألياف الكتان والصوف والشجر ، وعلى عظام الانسان وعضلاته وشعره واظافره واعصابه ! وفى الحقيقة ، فان جميع المواد التى يتركب منها جسم الانسان – ما عدا المادة الحمراء فى الدم والخضاب الاسود للشعر – تتألف من انسجة شفافة عديمة اللون . وهكذا نجد بان هاتين المادتين القليلتين ، تجعلان الناس يرون بعضهم البعض بوضوح تام ! »

ومما يؤكد هذه التصورات ، ان الحيوانات ذات البشرة البيضاء ، والتى لا يغطى جسمها الصوف (وهى الحيوانات التى لا تحتوى أنسجتها على المواد الملونة) ، تمتاز بشفافيتها الواضحة . وقد وصف احد علماء الحيوان ، ضفدعة ذات بشرة بيضاء عثر عليها فى صيف عام ١٩٣٤ ، بالقرب من منطقة ديتسكويا سيلو ، كما يلى : « ان انسجتها الجلدية والعضلية الرقيقة ، شفافة جدا ، بحيث يتمكن المرء من رؤية الاعضاء الداخلية والهيكل العظمى للضفدعة . . . ويمكن بوضوح تام رؤية تقلص عضلات القلب والامعاء ، من خلال الحاجز البطنى » .

ان بطل رواية ويلز ، اخترع وسيلة تجعل كافة انسجة جسم الانسان ، وبضمنها المواد الملونة (الخضاب) شفافة تماما . وقد نجح فى تطبيق هذا الاختراع ، على نفسه بالذات . وكانت التجربة رائعة جدا ، بحيث اصبح المخترع شخصا غير مرئى بالمرة . وسوف نتحدث الان عن مصير هذا الانسان غير المرئى .

القوة الخارقة للرجل غير المرئى

ان مؤلف رواية « الرجل غير المرئى » يؤكد للقراء بحذاقة فائقة ومنطق معقول ، بان الرجل الشفاف غير المرئى ، يتمتع بفضل ذلك ، بقوة خارقة لا حدود لها . ويستطيع هذا الرجل ، الدخول خفية الى أية بناية وسرقة اى شئ يريد . ويستطيع هذا الرجل المتخفى ، بفضل عدم التمكن من رؤيته ، ان يقاتل بنجاح جماعة كاملة من الرجال المسلحين . وعندما يهدد هذا الرجل جميع الناس المرئيين بالضرب المبرح ، فانه يسيطر بذلك على سكان مدينة بأكملها . ويستطيع هذا الرجل الذى لا يطعن فى نفس الوقت ، ان يلحق الاذى بجميع الناس الاخرين ، مهما تفننوا فى الدفاع عن أنفسهم ، لان الرجل غير المرئى سيداهمهم ويدحرهم عاجلا ام آجلا .

ويستطيع الرجل غير المرئى الحصول على امتيازات خاصة ، خلافا لبقية الانكليز ، وذلك عندما يوجه الى سكان مدينته المذعورين انذارا من هذا القبيل ، مثلا :

« ان المدينة لم تعد تحت سيطرة الملكة مطلقا ! اخبروا مدير البوليس وجميع الناس بان المدينة قد اصبحت الان تحت سيطرتى ! وهذا هو اليوم الاول من السنة الاولى من العصر الجديد – عصر الانسان غير المرئى ! وانا اول انسان غير مرئى . وسيكون شعارى فى اول يوم من الحكم ، هو العطف والتسامح . وسوف اعدم فى اليوم الاول شخصا واحدا فقط ، ليكون عبرة للاخرين ، واسم هذا الشخص ، كيمب . وفى هذا اليوم بالذات سيلاقى حتفه . ولن ينقذه اى شئ من الموت ، الموت غير المرئى ، الذى يزحف نحوه باصرار ويدركه ، حتى اذا اقفل على نفسه الابواب او اختفى فى مكان ما ، او احاط نفسه بالحراس او ارتدى درعا واقعيا ! وليحتاط لامره كما يشاء – ان هذا سيولد انطباعا لدى رعيتى . ان الموت يزحف نحوه ! ولا يجوز لاى احد ان يساعده ، والا كان الموت مصيره ايضا » .

وهكذا كان النصر فى بداية الامر ، حليف الرجل غير المرئى . ولم يستطع سكان المدينة المذعورين ، ان يتخلصوا من عدوهم غير المرئى ، الذى أراد السيطرة عليهم ، الا بصعوبة بالغة .

مستحضرات شفافة

هل ان الافكار الفيزيائية ، التى تقوم عليها أسس هذه الرواية الخيالية ، صحيحة علميا ؟ نعم ، بدون اى شك . ان كل جسم شفاف ، موضوع فى وسط شفاف ، يصبح غير مرئى ، عندما يقل الفرق بين معاملى الانكسار عن ٠,٠٥ . وبعد مرور عشر سنوات على صدور رواية « الرجل غير المرئى » ، تمكن عالم التشريح الالمانى البروفيسور شبالتيجولتز ، من تحقيق فكرة المؤلف عمليا — ولكن فى الحقيقة ليس بالنسبة للاجسام الحية ، بل بالنسبة لمستحضرات من النماذج غير الحية . اما الآن ، فيمكن مشاهدة النماذج الشفافة المستحضرة من اعضاء الاجسام الحية ، بل يمكن مشاهدة اجسام شفافة لحيوانات بكاملها ، فى عدة متاحف خاصة بذلك .

ان طريقة تحضير النماذج الشفافة ، التى اكتشفها البروفيسور شبالتيجولتز فى عام ١٩١١ ، تتلخص باختصار ، فى انه بعد معالجة النموذج المراد تحضيره معالجة خاصة — التبييض والغسل — يشبع بسائل ساليسيلات الميثيل (وهو عبارة عن سائل عديم اللون ، له معامل انكسار كبير) . ان النماذج المحضرة بهذه الطريقة ، مثل الجرذان والاسماك والاعضاء المختلفة لجسم الانسان وغيرها ، تغمر فى وعاء مملوء بنفس السائل المذكور .

وعند القيام بذلك ، لا يحاول العلماء بطبيعة الحال ، ان يجعلوا النموذج شفافا للغاية ، وذلك لانه سيصبح فى هذه الحالة غير مرئى ، الامر الذى لا يفيد عالم التشريح بتاتا . ولكن عندما يرغب العالم فى ذلك ، يمكنه ان يجعل النموذج غير مرئى بالمرة .

وهذا بطبيعة الحال ، بعيد عن تحقيق حلم ويلز ، المتعلق بالانسان الشفاف جدا ، الى الدرجة التى تجعله غير مرئى تماما . وهذا البعد يعود اولا ، الى حاجتنا الى طريقة ما لمعالجة الانسجة الحية بذلك السائل الشفاف ، بدون ان نجعلها تعجز عن القيام بوظائفها الحيوية . وثانيا ، لان النماذج التى حضرها البروفيسور شبالتيجولتز ، هى نماذج شفافة فقط ، وليست غير مرئية . ويمكن ان تكون انسجة هذه النماذج

غير مرئية ، طالما كانت مغمورة فى وعاء مملوء بالسائل ، ذى معامل الانكسار المناسب . وستكون غير مرئية فى الهواء ، فقط عندما يصبح معامل انكسارها مساويا لمعامل انكسار الهواء ؛ ولم يستطع احد ان يتوصل الى حل هذه المسألة لحد الآن .

ولكن ، لنفترض اننا ستوصل بعد مضى زمن معين ، الى ايجاد حل للمسألتين المذكورتين ، ونحقق بذلك حلم الروائى الانكليزى ويلز .

وقد بحث مؤلف الرواية هذه المسألة ، بحثا دقيقا وافيا ، يجعل القارئ يصدق وقائعها بصورة لاارادية . ويبدو فى الظاهر بان الرجل غير المرئى ، لا بد وان يكون أقوى من جميع الناس على الاطلاق .

الا ان الامر ليس كذلك ، اذ ثمة مسألة صغيرة ، قد غابت عن ذهن مؤلف الرواية الحاذق ، وتتعلق بقابلية الانسان غير المرئى ، لرؤية الاشياء المحيطة به .

هل يستطيع الرجل غير المرئى ، ان يرى ما حوله ؟

لو طرح ويلز على نفسه هذا السؤال قبل ان يبدأ فى كتابة روايته المذكورة ، لما قدر لقصة « الرجل غير المرئى » المدهشة ، ان ترى النور مطلقا .

وفى الحقيقة ، فان هذه المسألة تحطم جميع الآمال المعقودة على القوة الخارقة للرجل غير المرئى . ان الرجل غير المرئى يجب ان يكون أعمى !

ما هو السبب الذى يجعل الرجل غير مرئى ؟ يتلخص السبب فى ان كافة اعضاء جسمه — ومن ضمنها العينان ايضا — تصبح شفافة ، ويكون معامل انكسارها مساويا لمعامل انكسار الهواء . ولنتذكر الان الدور الذى تقوم به العين . ان عدسة العين واعضاء البصر الاخرى تكسر اشعة الضوء ، بحيث تنعكس صورة الاجسام الخارجية ، وتسقط على شبكية العين . ولكن عندما يتساوى معامل انكسار العين مع معامل انكسار الهواء ، يزول بذلك السبب الوحيد ، المؤدى الى حدوث الانكسار . وهكذا ، بانتقال الاشعة من وسط الى آخر له نفس معامل الانكسار ، فانها لا تغير اتجاهها . ولذلك لا يمكن ان تتجمع فى نقطة واحدة . وسوف تمر الاشعة من خلال

عينى الرجل غير المرئى ، بدون ان يعترض طريقها اى حاجز بتاتا ، وسوف لا تنكسر الاشعة فيهما او تحتجز ، وذلك لعدم وجود اى خضاب * ، وبالتالى لا يمكن ان تولد هذه الاشعة اى احساس بصرى لدى الرجل غير المرئى .

وهكذا ، فان الرجل غير المرئى ، لا يستطيع ان يرى اى شئ من حوله . وبذلك تكون كافة الميزات التى يتمتع بها ، عديمة الفائدة بالنسبة له . وكان هذا الرجل الذى يطمع بالسلطة المطلقة سيسير متحسسا طريقه باللمس ، سائلا الناس ان يتصدقوا عليه ، مع ان اى انسان لن يستطيع مساعدته ، لانه غير مرئى . وهكذا نرى بان هذا الرجل ، الذى اريد له ان يكون أقوى انسان على الارض ، قد استحال الى رجل عاجز ، لا حول له ولا قوة ** .

وقد اتضح لنا الآن ، عدم جدوى الاستمرار فى البحث عن طاقية الاخفاء ، واتباع خطى ويلز فى هذا المجال ، لانها حتى اذا قادتنا الى العثور على تلك الطاقية ، فانها لن تفيدنا بشئ بتاتا .

---

* لاحداث اى احساس بصرى لدى الحيوان ، لا بد ان تولد الاشعة فى عينه بعض التغييرات ، مهما كانت ضئيلة ، اى تقوم الاشعة بانجاز عمل معين . ولهذا الغرض يجب ان تحجز العين ، ولو كمية قليلة من الاشعة . ولكن العين الشفافة تماما ، لا تتمكن بطبيعة الحال ، من حجز الاشعة ، والا لما اصبحت شفافة . وفى جميع الكائنات الحية الشفافة ، التى تعتمد على شفافيتها فى الدفاع عن نفسها ، تكون العيون – ان وجدت – غير مطلقة الشفافية . ويقول عالم المحيطات المشهور ميرى ، بهذا الصدد : « ان اكثر الحيوانات التى تعيش تحت سطح الماء مباشرة ، تكون شفافة وعديمة اللون . وعندما تقع فى شباك الصيادين ، لا يمكن تمييزها بوضوح ، الا من عيونها السوداء الصغيرة ، ذلك لان دماءها لا تحتوى على مادة الهيموجلوبين (خضاب الدم) ، بالاضافة الى كونها شفافة تماما » .

** من المحتمل ان يكون ويلز قد اهمل الاشارة الى هذه المسألة عن قصد. والمعروف عن ويلز ، انه يحاول فى كافة رواياته الخيالية ، اخفاء العيب الرئيسى ، وراء جملة من التفاصيل الحقيقية ، التى يسردها للقراء بدقة تامة . وقد كتب فى مقدمة مجموعة رواياته الخيالية المطبوعة فى الولايات المتحدة ، ما يلى : « بعد ان تتم الخدعة السحرية مباشرة ، يجب ان تظهر بقية الاشياء الاخرى ، بمظهر طبيعى بعيد عن التكلف . ويجب على الانسان ان لا يعتمد على قوة الحجج المنطقية ، بل على التخيل الفنى » .

ولكن ثمة طريقة اخرى لحل مسألة « طاقية الاخفاء » . وتتلخص هذه الطريقة ، فى صبغ الاجسام باللون المناسب ، لجعلها غير مرئية بالنسبة للعين . وتلجأ الطبيعة الى هذه الطريقة باستمرار ، عندما تضفى على كائناتها ، صبغة واقية . وتستخدم الطبيعة هذه الطريقة البسيطة ، على نطاق واسع جدا ، لكى تحمى كائناتها من الاعداء ، او لكى تساعدهم فى عملية تنازع البقاء الشاقة .

ان ما يسميه العسكريون اليوم بـ « اللون الواقى » ، كان علماء الحيوان منذ عهد دارون يسمونه بالصبغة الواقية ، او بالتنكر البيئى . ويمكن ان نقدم آلاف الامثلة على ذلك ، من عالم الحيوان ، حيث تقابلنا فى كل خطوة من خطواتنا . ان الحيوانات التى تقطن الصحارى ، تتميز بالصفرة فى أكبر مساحة من جسمها ، وهذه الصفرة هى « لون الصحارى » . ونجد بان هذا اللون الاصفر يطغى على جسم الاسد وأجسام العصافير والحراذين والعناكب والديدان ، وبصورة عامة على جميع الحيوانات ، التى تقطن الصحارى بصورة خاصة . وعلى العكس من ذلك ، نرى بان الحيوانات التى تقطن فى المناطق الجليدية فى الشمال – أكانت الدببة الخطرة فى المناطق القطبية ، ام الطيور الغطاسة المسالمة – مصبوغة باللون الابيض الطبيعى ، الذى يجعل من الصعب اكتشافها عند وجودها فوق الجليد . والفراشات والاساريع ، التى تعيش على قشرة الاشجار ، لون مناسب ، يشبه لون القشرة التى حد بعيد – مثل الفراشات وغيرها . ان كل من يهتم بجمع الحشرات ، يعرف مدى صعوبة العثور عليها ، بسبب « اللون الواقى » الذى أضفته عليها الطبيعة (اى بسبب التنكر البيئى) . واذا حاول الشخص ان يمسك صرصورا اخضر اللون يصرصر فى العشب عند قدميه ، فانه لن يستطيع تمييزه عن العشب الاخضر ، الذى يندمج فيه لون الصرصور .

وينطبق نفس الشئ على الحيوانات التى تعيش فى المياه . ان لجميع الحيوانات البحرية ، التى تعيش وسط اعشاب البحر السمراء الداكنة ، لونا اسمر « واقيا » ،

يجعلها غير مرئية بالنسبة للعين . اما فى المناطق التى تكثر فيها اعشاب البحر الحمراء فيكون اللون « الواقى » المكتسب ، هو اللون الاحمر . ويعتبر اللون القضى لحراشف الاسماك ، بمثابة لون واق ايضا . وهو يحمى الاسماك من الطيور الجارحة ، التى تراقبها من فوق الماء ، ومن الوحوش المفترسة التى تعيش فى اعماق البحار ، وتهددها من الاسفل: ان لصفحة الماء مظهرا براقا، ليس عند النظر اليها من الاعلى فحسب، بل والاكثر من ذلك ، عندما تنظر اليها من الاسفل (حيث يكون الانعكاس كليا) . وهكذا ، فان اللون الفضى لحراشف الاسماك ، يندمج كليا مع اللون المعدنى البراق لصفحة الماء .

اما قناديل البحر وغيرها من الحيوانات المائية ، مثل الديدان والمحار والرخويات وغيرها ، فقد اختارت لنفسها الشفافية وانعدام اللون التام ، لتكون غير مرئية فى وسط البيئة الشفافة ، العديمة اللون ، التى تعيش فيها .

ان « ابتكارات » الطبيعة فى هذا المجال ، تفوق ابتكارات الانسان الى حد بعيد . ولكثير من الحيوانات ، قابلية لتغيير لونها الواقى ، طبقا لتغير الوسط الذى يحيطها . ان القاقم * القضى الابيض ، الذى لا يمكن تمييزه عند وقوفه على الجليد ، كان سيفقد كل مزايا لونه الواقى ، لو لم يغير لون فروته ، عند ذوبان الثلوج . وهكذا ترى بان هذا الحيوان الابيض ، يحصل فى كل موسم ربيعى على فروة جديدة خمرية اللون ، يندمج لونها مع لون الارض ، التى ذابت عنها الثلوج . وعند حلول فصل الشتاء ، يتحول لون الفروة الخمرى الى لون ابيض كالثلج .

اللون الواقى (التمويه)

لقد تعلم الناس من الطبيعة المبدعة ، فن اخفاء اجسامهم ، وذلك بجعل لونها يندمج مع لون الوسط ، الذى توجد فيه . ان الالوان المرقشة للملابس العسكرية البراقة للعصور الماضية ، التى كانت تضفى على المعركة جوا من الروعة والبهاء ، قد

* حيوان من فصيلة بنات عرس.

ذهبت الى الابد بلا رجعة . وقد استعيض عنها بملابس عسكرية ذات لون واحد ، هو اللون الخاكى المعروف . وان لون السفن الحربية الرمادى ، يعتبر بمثابة لون واق ، يجعل السفن صعبة التمييز بالنسبة للعين ، عند وجودها فى البحر . ويدخل فى هذا المجال ايضا ، ما يسمى بـ « التمويه التكتيكى » ، وهو عبارة عن عملية اخفاء الاليات الحربية ، مثل التحصينات والاسلحة والدبابات والسفن ، باستخدام الضباب الصناعى وأغصان الاشجار وغير ذلك من وسائل تضليل العدو . وتخفى المعسكرات بتغطيتها بشبكات خاصة ، ثبتت فى خلاياها حزم من الاعشاب ؛ اما الجنود فيرتدون ملابس خارجية مع حزم من ألياف النباتات ، الملونة بلون الاعشاب ، وهلم جرا . ويستخدم كل من اللون الواقى والتمويه على نطاق واسع فى الطيران الحربى الحديث .

وعندما ننظر من الجو الى الطائرة الجاثمة على الارض ، والمصبوغة باللون البنى او الاخضر الداكن او البنفسجى (طبقا للون سطح الارض) ، فاننا لا نكاد نميزها عن سطح الارض الا بصعوبة .

وكذلك ، فان اخفاء السطوح السفلية للطائرة ، عن الرقابة الارضية ، يتم بصبغها بالالوان التى تطابق لون السماء ؛ وهى الازرق الفاتح والوردى الفاتح والابيض . وتوضع هذه الاصباغ على سطح الطائرة السفلى ، على هيئة بقع صغيرة . وعندما تصبح الطائرة على ارتفاع ٧٥٠ م عن سطح الارض ، تندمج هذه الالوان فى لون واحد ، يصعب تمييزه عن لون السماء . اما على ارتفاع ٣٠٠٠ م ، فان الطائرات المصبوغة بهذه الالوان ، تصبح غير مرئية تماما . وتصبغ قاذفات القنابل ، المعدة للهجوم الليلى ، باللون الاسود .

ان اللون الواقى ينفع فى جميع الاحوال ، اذا وجد هناك سطح صقيل ، يعكس الالوان الخلفية . ان الشئ الذى يكون سطحه مطليا بهذا اللون الواقى ، يكتسب شكل ولون المحيط الذى يوجد فيه بصورة تلقائية ، ولا يمكن تمييزه من مسافة بعيدة . وقد لجأ الالمان فى الحرب العالمية الاولى ، الى استخدام هذه الطريقة لاخفاء مناطيد زبلن * عن الاعداء، وذلك بصبغ سطوحها بصبغة من معدن الالمنيوم الصقيل، الذى

* وهى عبارة عن مناطيد مسيرة اخترعها الكونت زبلن – المترجم .

يعكس صفحة السماء والغيوم . ان ملاحظة هذه المناطيد اثناء طيرانها ، هو امر فى منتهى الصعوبة ، الا اذا دل عليها هدير محركها .

وهكذا نرى بان احلام كتاب القصص الخيالية المتعلقة بطاقية الاخفاء ، تتحقق باستمرار فى الطبيعة وفى المجالات العسكرية .

عين الانسان تحت الماء

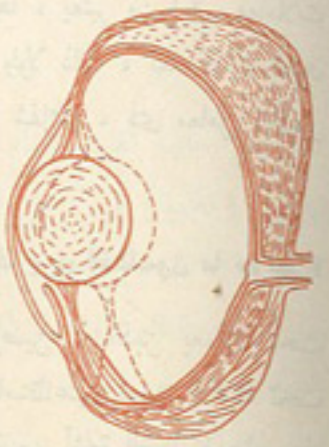
ليتصور القارئ ان بامكانه ان يبقى تحت سطح الماء لمدة طويلة جدا ، وان عينيه ستكونان مفتوحتين طوال هذه المدة من الزمن . هل سيتمكن فى هذه الحالة من ان يرى شيئا ما ؟

يبدو فى الظاهر بان الرؤية ممكنة تحت الماء ، كما هى ممكنة فى الهواء ، وذلك لان الماء شفاف .

ولكن ليتذكر القارئ عماء « الرجل غير المرئى » ، الذى لا يستطيع الرؤية ، لان معامل انكسار عينه يساوى معامل انكسار الهواء . وعند وجودنا تحت سطح الماء ، فاننا نخضع لنفس الظروف ، تقريبا ، التى احاطت بالرجل غير المرئى ، عند وجوده فى الهواء . واذا عدنا الى المعطيات الحسابية ، فسيصبح الامر اكثر وضوحا . ان معامل انكسار الماء يساوى ١,٣٤ . ونقدم فيما يلى ، معاملات انكسار الاوساط الشفافة لعين الانسان :

قرنية العين والرطوبة الزجاجية	١,٣٤
عدسة العين	١,٤٣
الرطوبة المائية	١,٣٤

ويلاحظ القارئ بان معامل انكسار عدسة العين ، لا يزيد على معامل انكسار الماء الا بمقدار $\frac{1}{10}$ فقط ، بينما يكون معامل انكسار الاجزاء الباقية للعين ، مساويا لمعامل انكسار الماء . ولهذا السبب ، فان بؤرة الاشعة الساقطة على العين الموجودة



شكل ١٠٩ : مقطع عرضى لعين السمكة . ان عدسة العين كروية الشكل ولا يتغير هذا الشكل عند تكيف العين بالنسبة للمسافة . وبدلا من تغير الشكل الكروى يتغير موضع العدسة فى داخل العين ، كما يتضح من الخطوط المنقطة .

تحت الماء ، تقع وراء شبكية العين بمسافة بعيدة . ولهذا ، تكون الصورة المنعكسة على شبكية العين بالذات ، مضطربة ولا يمكن تمييز أى شئ منها الا بصعوبة بالغة . والمصابون بقصر النظر الحاد يستطيعون الرؤية تحت سطح الماء ، بصورة طبيعية نوعا ما .

واذا اراد القارئ ان يرى بنفسه كيف تبدو الاشياء للعين تحت سطح الماء ، فعليه ان يضع على عينيه نظارة ، ذات عدسات قوية التشتيت للضوء (مقعرة الوجهين). عندئذ ستصبح بؤرة الاشعة المنكسرة فى العين ، بعيدة خلف شبكية العين ، وتبدو الاشياء المحيطة بنا، بأشكال غير واضحة ومضطربة.

ولكن ، ألا يستطيع الشخص الموجود تحت سطح الماء، استخدام عدسات ذات معامل انكسار كبير ، لمساعدة عينيه على الرؤية الواضحة ؟

ان العدسات العادية ، المستخدمة فى النظارات ، لا تنفع كثيرا فى هذه الحالة ، لان معامل انكسار العدسة البسيطة يساوى ١,٥ ، اى اكبر بقليل من معامل انكسار الماء (١,٣٤) . ان مثل هذه العدسات تكسر أشعة الضوء تحت سطح الماء ، بدرجة قليلة جدا . ولا بد فى هذه الحالة من الحصول على عدسات خاصة ، تمتاز بمعامل انكسار كبير جدا (وتصنع من الزجاج الظرانى الثقيل ، الذى يساوى معامل انكساره ٢) . وباستخدام مثل هذه النظارات ، يكون باستطاعتنا ان نرى الاشياء تحت سطح الماء ، بوضوح كاف نوعا ما (سوف نتحدث فيما بعد عن النظارات الخاصة — النظارات الواقية — التى يستخدمها الغواصون) .

والآن ، يتضح سبب تحدب عدسة عين السمكة ، تحدبا شديدا ، بحيث

اصبحت كروية فى الحقيقة ، كما ان معامل انكسارها ، يعتبر من اكبر معاملات الانكسار الموجودة فى عيون بقية الحيوانات الاخرى . ولولا ذلك ، لما كانت العيون تفيد الاسماك ، التى كتب عليها ان تعيش فى وسط شفاف ، ذى معامل انكسار كبير .

كيف يرى الغطاسون ما حولهم ؟

ربما يتساءل الكثيرون عن الرؤية بالنسبة للغواصين ، الذين يعملون تحت الماء ، وهم يرتدون ملابس الغوص ، وعما اذا كان باستطاعتهم تمييز الاشياء تحت الماء ، فى الوقت الذى لا تكسر فيه عيونهم اية كمية من أشعة الضوء تقريبا . هذا مع العلم بان خوذة ملابس الغوص ، مزودة بقطعة زجاج مسطحة وليست محدبة . والآن ، هل كان باستطاعة ركاب غواصة جول فيرن « ناوتيلوس » ان يتمتعوا بمشاهدة مناظر البحر الداخلية ، من خلال النافذة ؟

ان هذا سؤال جديد ، ليس من الصعب ان نجيب عليه . ان الاجابة تصبح واضحة ، اذا اخذنا فى الاعتبار ، باننا عندما نغطس فى الماء بدون خوذة الغوص او قناع الماء ، يكون الماء ملاصقا للعين مباشرة . اما عندما نرتدى خوذة الغوص (او نكون مثلا ، فى داخل الغواصة ناوتيلوس) ، فان العين تكون معزولة عن الماء بطبقة من الهواء (والزجاج) . وهذا يغير المسألة تغييرا جوهريا . فعندما تخرج أشعة الضوء من الماء وتمر من خلال الزجاج ، تصطدم بالهواء قبل ان تصل الى العين . وبخروج الاشعة من الماء ومرورها من خلال الزجاج المسطح المتوازى ، بزاوية معينة ، فانها — حسب قوانين البصريات — تخرج من الزجاج دون ان تغير اتجاهها . ولكنها بعد ذلك عندما تمر من الهواء الى العين ، تنكسر بطبيعة الحال — وهنا تقوم العين بنفس المهمة ، التى تقوم بها عند وجود الانسان على اليابسة . وهذا هو سر التناقض الذى جعلنا فى حيرة من امرنا . واحسن مثال توضيحى على ذلك ، هو رؤية الاسماك التى تسبح فى الحوض الزجاجى ، رؤية واضحة جدا .

هل حاول القارئ القيام بهذه التجربة البسيطة التالية : نغمر عدسة محدبة الوجهين (مكبرة) فى داخل الماء ، وننظر من خلالها الى الاجسام المغمورة فى الماء ايضا . اذا قام القارئ بهذه التجربة ، فسوف يندهش عندما يرى شيئا لم يتوقعه ، وهو ان العدسة المكبرة ، لا تكبر الاشياء تقريبا ، عند وجودها فى الماء ! واذا غمرنا عدسة مصغرة فى الماء (اى عدسة مقعرة الوجهين) ، فسوف نرى بانها تفقد فى الماء خاصية التصغير الى درجة كبيرة . اما اذا اعدنا هذه التجربة ، مع استخدام سائل آخر — عوضا عن الماء — ذى معامل انكسار اكبر من معامل انكسار الزجاج ، فسوف نرى بان العدسة المحدبة الوجهين (المكبرة) تصغر الاشياء ، والعدسة المقعرة الوجهين (المصغرة) تكبر الاشياء ! ولكن اذا تذكرنا جيدا قانون انكسار أشعة الضوء ، فسوف تزول دهشتنا لهذه النتائج غير الطبيعية . ان العدسة المحدبة الوجهين ، تكبر الاشياء فى الهواء ، لان الزجاج يكسر الضوء اكثر مما يكسره الهواه المحيط به . ولكن الفرق قليل بين معاملى انكسار الزجاج والماء . ولهذا ، فعندما نغمر العدسة فى الماء ، فان أشعة الضوء المارة من الماء الى الزجاج ، لا تنحرف كثيرا عن اتجاهها الاصلى . ولذلك ، فان العدسة المكبرة المغمورة فى الماء ، تكبر الاشياء بقدر اضعف بكثير مما تكبرها فى الهواء ، والعدسة المصغرة بدورها تصبح أضعف قدرة على التصغير .

شكل ١١٠ : تتكون نظارات الغطاسين من عدسات مسطحة مقعرة مملوءة بالهواء . وبانكسار الشعاع م ن ، فانه يمر فى الاتجاه م ن ل ع ، ويبتعد عن عمود السقوط فى داخل العدسة ، ويقترب منه (اى من ل ر) خارج العدسة . ولهذا السبب تقوم العدسة بدور زجاج التجميع .

ان سائل المونوبرومنفتالين مثلا ، يكسر الاشعة اكثر من الزجاج . ولذلك ،

فان العدسة المكبرة المغمورة فى هذا السائل ، تصغر الاشياء ، بينما العدسة المصغرة ، تكبر الاشياء .

والعدسات المجوفة (او بالاحرى المملؤة بالهواء) ، تقوم بنفس العمل فى داخل الماء ، حيث تعمل العدسات المقعرة على تكبير الاشياء ، بينما تعمل العدسات المحدبة على تصغير الاشياء . وتعتبر عدسات نظارات الغطس الواقية ، من العدسات المملوءة بالهواء بالذات (شكل ١١٠) .

السباحون القليلو الخبرة

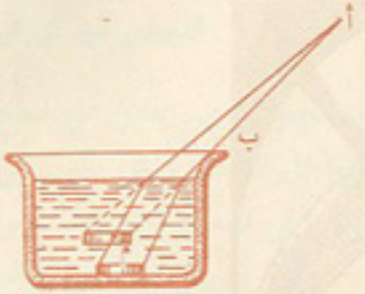
كثيرا ما يتعرض السباحون القليلو الخبرة ، الى خطر كبير لسبب واحد فقط ، هو عدم ادراكهم لاحدى نتائج انكسار الضوء المهمة . وهى ان الانكسار يؤدى الى ظهور الاشياء المغمورة فى الماء ، فى مستوى اعلى من مستواها الحقيقى بالذات . ان قاع البركة او النهر او اى حوض ماء ، يبدو لعين الناظر مرتفعا الى ثلث العمق الحقيقى تقريبا . وهذا العمق الظاهرى ، كثيرا ما يخدع الناس المستحمين ، ويعرضهم الى شتى المخاطر . ويجب دائما تذكير الاطفال والناس الذين لا يجيدون السباحة ، بهذه الحقيقة ، لان الخطأ فى تقدير العمق قد يؤدى بهم الى الموت غرقا .

شكل ١١١ : الصورة المشوهة للملعقة الموضوعة فى داخل قدح فيه ماء .

وسبب هذه الظاهرة ، هو انكسار اشعة الضوء . ان نفس القانون البصرى ، الذى يجعل الملعقة المغمورة الى نصفها فى كأس الماء تبدو وكأنها مكسورة (شكل ١١١)، هو الذى يجعل قاع البركة او النهر ، يبدو اعلى مما هو عليه .

ويستطيع القارئ ان يتأكد من صحة ذلك . اطلب من احد الاصدقاء ان يجلس

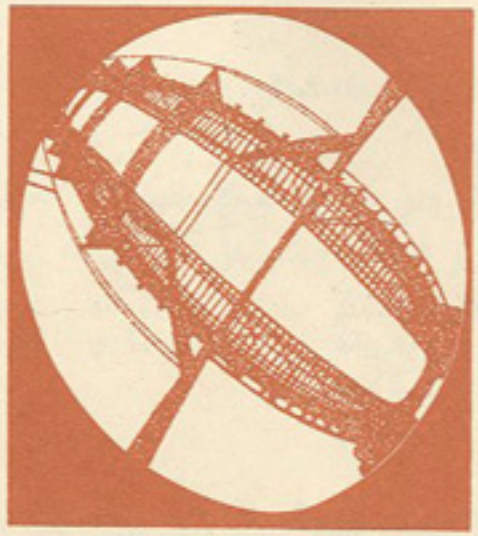
شكل ١١٢ : تجربة قطعة النقود الموضوعة فى الفنجان .



شكل ١١٣ : السبب الذى يجعل قطعة النقود المبينة فى الشكل ١١٢ ، تبدو فى موضع اعلى من موضعها الحقيقى .

الى المائدة ، بحيث لا يمكنه رؤية قعر الفنجان الموضوع امامه . ثم ضع قطعة نقود فى قعر الفنجان ، بحيث تكون بطبيعة الحال مخفية عن عينى ذلك الصديق ، وراء جدران الفنجان التى تحجب رؤيتها عنه . والآن اطلب من صديقك ألا يحرك رأسه ، ثم صب الماء فى ذلك الفنجان . وهنا ستحدث مفاجأة غير متوقعة ، اذ سيرى صديقك قطعة النقود الموجودة فى قعر الفنجان ! وعندما نفرغ الماء من الفنجان ، نرى بان القعر ينخفض ويخفض معه قطعة النقود ، فتتوارى عن عينى ذلك الصديق مرة اخرى (شكل ١١٢) .

والشكل ١١٣ يبين كيفية حدوث هذه الظاهرة . ان قطعة النقود م ، الموضوعة فى قعر الفنجان ، تبدو للناظر (الذى تقع عينه فى النقطة أ فوق الماء) ، فى وضعية مرتفعة . ان الاشعة تنكسر ، وبانتقالها من الماء الى الهواء ، تسقط على العين كما هو مبين فى الشكل . وهكذا ، فان العين ترى قطعة النقود ، على امتداد خطوط الاشعة هذه ، اى فوق الموضع الحقيقى للقطعة المذكورة . وكلما زاد ميل الاشعة ، كلما زاد ارتفاع موضع القطعة م . ولهذا السبب ، فاننا عندما ننظر من القارب الى قاع البحيرة المستوى ، يبدو لنا على الدوام بان جزء القاع الموجود تحتنا تماما ، هو اعمق من بقية الاجزاء المحيطة به .



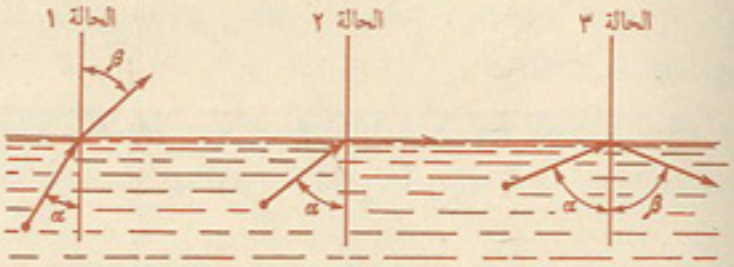
شكل ١١٤ : هكذا يبدو الجسر الممدود عبر النهر ، بالنسبة للمراقب الموجود تحت الماء (من صورة التقطها البروفيسور وود).

وهكذا يظهر امامنا بان القاع مقعر . وعلى العكس من ذلك ، فاننا اذا استطعنا ان ننظر من قاع البحيرة الى الجسر (الكوبرى) الممتد فوقها ، لظهر امامنا وكأنه محدب (كما يبدو فى الشكل ١١٤ ؛ اما طريقة الحصول على هذه الصورة ، فسوف نتطرق اليها فيما بعد). وفى هذه الحالة ، تنتقل الاشعة من وسط كاسر ضعيف (الهواء) ، الى وسط كاسر قوى (الماء). ولهذا السبب ، يكون التأثير على عكس ما هو عليه ، فى حالة انتقال الاشعة من الماء الى الهواء . ولنفس السبب السابق بالذات ، فان الاسماك الموجودة فى الحوض الزجاجى ، يجب ان ترى صف الناس الواقفين بقرب الحوض ، لا بشكل مستقيم كما هو عليه فى الواقع ، بل بشكل محدب نحوها . وسوف نوضح فيما بعد ، كيف كانت الاسماك سترى ما حولها ، او بالاحرى كيف كان يتحتم عليها ان تبصر ، لو كانت لديها عيون بشرية .

نأخذ دبوسا ونغرزه فى قرص من الفلين ، ثم نجعل القرص يطفو على سطح الماء الموجود فى طاس ، بحيث يكون الدبوس متجها الى الاسفل ، اى مغمورا فى الماء . واذا لم يكن قرص الفلين واسعا جدا ، فاننا سوف لن نتمكن من رؤية الدبوس مهما حنينا رؤوسنا ، مع ان الدبوس يبدو فى الواقع طويلا لدرجة كافية ، بحيث لا يمكن لقرص الفلين ان يخفيه عن انظارنا (شكل ١١٥) . ما هو سبب عدم وصول الاشعة الضوئية من الدبوس الى العين ؟ ان السبب يعود الى تعرض الاشعة الى ما يسميه الفيزيائيون بـ « الانعكاس الكلى » . وسنذكر القراء الان بماهية هذه الظاهرة .

شكل ١١٥: تجربة الدبوس غير المرئى وهو فى داخل الماء .

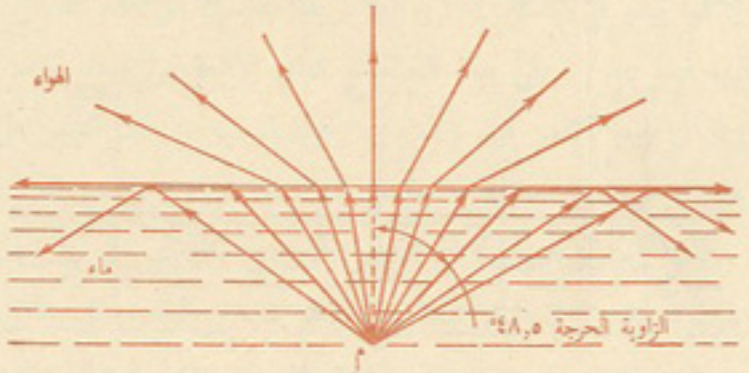
ان الشكل ١١٦ ، يبين بوضوح ، الطرق التى تسلكها الاشعة ، عند انتقالها من الماء الى الهواء (وبصورة عامة ، عند انتقالها من وسط كاسر معين ، الى وسط كاسر آخر اضعف منه) ، ومن الهواء الى الماء . وعندما تدخل الاشعة من الهواء الى الماء ، فانها تقترب من « عمود السقوط » ؛ فالشعاع الساقط على سطح الماء ،



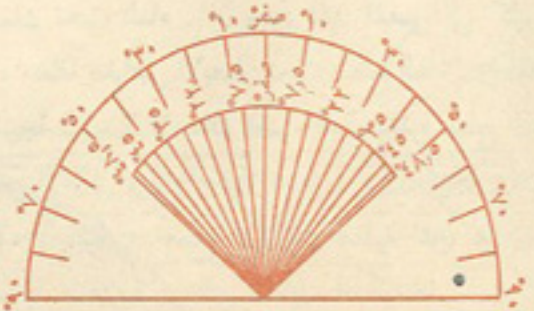
شكل ١١٦ : الحالات المختلفة لانكسار الشعاع عند انتقاله من الماء الى الهواء . فى الحالة ٢ يسقط الشعاع بحيث يصنع زاوية حرجة مع عمود السقوط ، ويخرج من الماء متزلقا بمحاذاة سطحه . وتمثل الحالة ٣ الانعكاس الكلى الداخلى للشعاع .

الذى يشكل الزاوية β مع عمود السقوط ومستوى السقوط يشكل الزاوية α عند دخوله الى الماء، وهى أقل من الزاوية β (شكل ١١٦ ، الحالة الاولى ، مع اعتبار الاشعة متجهة فى الاتجاه المعاكس) . ولكن ، ماذا يحدث عندما يزحف الشعاع الساقط ، مترلقا على سطح الماء ، بحيث يشكل زاوية قائمة تقريبا ، مع عمود السقوط ؟ فى هذه الحالة يدخل الشعاع الى الماء ، بزاوية اقل من الزاوية القائمة ، وقدرها ٤٨,٥° فقط . ولا يمكن ان يدخل الشعاع الى الماء ، اذا كانت الزاوية التى يشكلها مع عمود السقوط ، تزيد على ٤٨,٥° ؛ وهذه هى الزاوية «الحرجة» بالنسبة للماء . ولا بد من ايضاح هذه العلاقات البسيطة ، لكى نفهم النتائج العجيبة غير المتوقعة بالمرة ، والمترتبة على قانون انكسار الاشعة الضوئية .

لقد علمنا الآن ، بان الاشعة الساقطة على الماء ، بمختلف الزوايا الممكنة ، تنحصر تحت الماء فى مخروط مضموم لدرجة كافية، وبزاوية انتشار قدرها ٤٨,٥+ ٤٨,٥ = ٩٧° . والآن ، لنتتبع الطرق التى تسلكها الاشعة ، عند خروجها من الماء الى الهواء (شكل ١١٧) . ان هذه الطرق ، حسب قوانين البصريات ، يجب ان تكون نفس الطرق السابقة ، كما ان كافة الاشعة المحصورة فى المخروط المذكور



شكل ١١٧ : ان الاشعة المنبعثة من النقطة م والتى تصنع مع عمود السقوط زاوية اكبر من الزاوية الحرجة (بالنسبة للماء ٤٨,٥ درجة) ، لا تخرج من الماء الى الهواء بل تنعكس برمتها الى داخل الماء .



شكل ١١٨ : ان قوس العالم الخارجى الذى يبلغ ١٨٠ درجة يتقلص امام عينى المراقب الموجود تحت الماء ويصل مقداره الى ٩٧ درجة فقط . ويزداد هذا التقلص كلما زادت المسافة بين جزء القوس المرئى والنقطة السمتية (صفر°) .

بدرجة ٩٧° ، تتفرق فى الهواء بزوايا مختلفة ، وتتوزع فى كافة ارجاء الفراغ الموجود فوق الماء ، على مدى زاويته البالغة ١٨٠° .

ولكن ، اين يذهب الشعاع الموجود تحت الماء ، الذى يقع خارج المخروط المذكور ؟ انه لا يخرج من الماء مطلقا ، حيث ينعكس كليا على سطح الماء من الداخل ، كما ينعكس على المرآة . وبصورة عامة ، فان كل شعاع من الاشعة الموجودة تحت الماء ، اذا سقط على سطح الماء ، بزاوية اكبر من الزاوية الحرجة (اى اكبر من ٤٨,٥°) ، فانه لا ينكسر بل ينعكس ، حيث يتعرض الى ما يسميه الفيزيائيون بالانعكاس الكلى* .

ولو تعلمت الاسماك الفيزياء ، لكان أهم مواضيع البصريات بالنسبة اليها ، هو الموضوع الخاص بـ «الانعكاس الكلى» ، ذلك لان لهذا الموضوع اهمية رئيسية

* يسمى الانعكاس فى هذه الحالة انعكاسا كليا ، لان جميع الاشعة الساقطة تنعكس ، بينما نرى بان حتى احسن انواع المرايا ، المصنوعة من معدن المغنيسيوم او القضة الصقيلين ، لا تعكس الا قسما من الاشعة الساقطة عليها ، وتمتص القسم الباقى . وهكذا نجد بان الماء فى هذه الحالة ، يكون بمثابة مرآة مثالية .

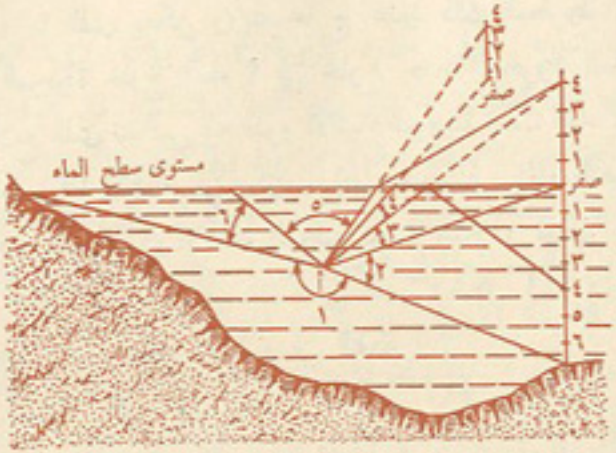
بالنسبة لابصار السمك تحت الماء . ان وجود اللون الفضى فى كثير من الاسماك ، يكون على الارجح ، متعلقا بخواص الابصار تحت سطح الماء . ويعتقد علماء الحيوان ، بان هذا اللون هو نتيجة لتكيف الاسماك للضوء الذى ينشره سطح الماء فوقهم . وعندما نراقب سطح الماء من الاسفل ، نراه صقيلا تماما ، وذلك نتيجة « للانعكاس الكلى » ؛ وعند وجود مثل هذه الخلفية ، تصبح الاسماك الفضية اللون ، صعبة التمييز بالنسبة لبقية الحيوانات المائية المفترسة ، التى تحاول اصطيادها .

نظرة الى العالم من تحت الماء

لا يشك الكثيرون فى ان العالم سيبدو غير طبيعى ، اذا نظرنا اليه من تحت الماء ، حيث انه سيبدو للعين فى هذه الحالة ، متغيرا ومشوها ، الى حد يجعل من الصعب التعرف عليه .

لنتصور باننا غطسنا فى الماء ، وبدأنا من هناك بالقاء نظرة على العالم الخارجى . ان شكل الغيوم المعلقة فى كبد السماء ، فوق رأسنا مباشرة ، سوف لا يتغير بتاتا ، ذلك لان الشعاع العمودى لا ينكسر ، فى حين تبدو كافة الاشياء الاخرى ، التى تسقط أشعتها على سطح الماء بزوايا حادة ، مشوهة بالنسبة للعين ، كما لو كانت منضغطة الارتفاع . ويزداد هذا الانضغاط شدة ، كلما كانت زوايا سقوط أشعتها على سطح الماء ، حادة اكثر . وهذا مفهوم طبعا ، لان كل الاشياء الموجودة خارج الماء ، يجب ان تنحصر فى ذلك المخروط الضيق ، تحت سطح الماء . وتختصر الزاوية ١٨٠° الى ٩٧° ، اى الى النصف تقريبا ، ولا بد من ان تكون الصور مشوهة فى هذه الحالة . اما الاشياء التى تسقط أشعتها على سطح الماء ، بزاوية قدرها ١٠° ، فانها تنضغط فى داخل الماء ، الى درجة كبيرة ، بحيث لا تستطيع العين تمييزها تقريبا .

ولكن الذى سيدهشنا اكثر من ذلك ، هو منظر سطح الماء بالذات ؛ لانه لا يبدو من تحت الماء مستويا ، بل على هيئة مخروط ! وسوف يتراءى لنا ، وكأننا



شكل ١١٩ : هكذا يبدو مقياس عمق الماء المغمور الى النصف فى داخل الماء ، بالنسبة للمراقب الموجود تحت الماء ، الذى تقع عينه فى النقطة أ . وفى حدود الزاوية ٢ يظهر جزء المقياس المغمور فى الماء ويكون مشوش الملامح . وفى حدود الزاوية ٣ يبدو انعكاس ذلك الجزء على سطح الماء الداخل . والى الاعلى قليلا يبدو الجزء البارز للمقياس بشكل مقلص وقد انفصل عن الجزء الباقى بمسافة فاصلة . وفى حدود الزاوية ٤ ينعكس قاع النهر . وفى حدود الزاوية ٥ يبدو العالم الخارجى برمته على هيئة ماسورة مخروطية . وفى حدود الزاوية ٦ يبدو انعكاس قاع النهر على سطح الماء الداخل . وفى حدود الزاوية ١ تظهر صورة غير واضحة لقاع النهر .

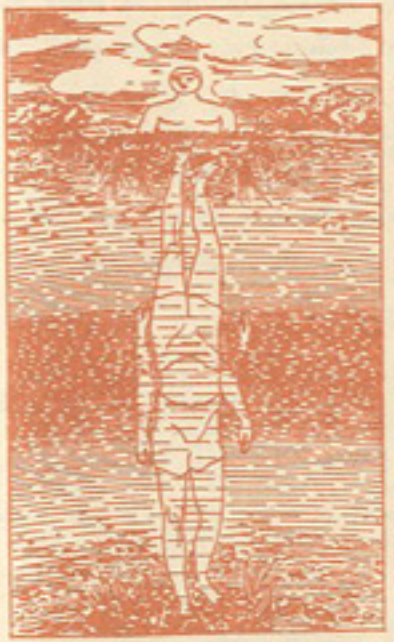
نقف على قعر مخروط كبير جدا ، تميل جوانبه على بعضها البعض ، بزاوية اكبر من الزاوية القائمة بقليل (٩٧ درجة) . ان الحافة العليا لهذا المخروط ، تكون محاطة بحلقة ملونة بالوان قوس قزح : الاحمر والاصفر والاخضر والازرق والبنفسجى . ما هو سبب هذه الظاهرة ؟

ان ضوء الشمس الابيض ، يتألف من عدة الوان مختلفة ، ولكل من هذه الالوان ، معامل انكسار خاص ، وبالتالى « زاوية حرجة » خاصة . ونتيجة لوجود هذه الظاهرة ، فاننا عندما ننظر الى شئ ما من تحت الماء ، نراه محاطا بهالة مرقشة بألوان قوس قزح .

والآن ، ما الذى يمكن رؤيته خارج حدود ذلك المخروط ، الذى يضم كل الاشياء الموجودة خارج الماء ؟ فى خارج حدود المخروط المذكور ، يمتد سطح الماء اللامع الذى تنعكس فيه صور الاشياء الموجودة تحت الماء ، كما تنعكس فى المرآة تماما . اما الاشياء التى يكون نصفها مغمورا فى الماء والنصف الآخر فى الهواء ، فسوف تظهر لعين الانسان الموجود تحت الماء ، بمظهر غريب جدا . لنفرض باننا غمرنا مقياس منسوب الماء فى النهر (شكل ١١٩) . ما الذى سيراه المراقب الموجود تحت سطح الماء ، فى النقطة أ ؟

نقسم المنطقة التى تقع تحت مراقبته — ٣٦٠ درجة — الى عدة أقسام ، وندرس كل قسم على حدة . فى حدود الزاوية ١ ، يرى المراقب قاع النهر — اذا كان بطبيعة الحال مضاء الى درجة كافية . وفى حدود الزاوية ٢ ، يرى جزء المقياس ، الموجود تحت سطح

شكل ١٢٠ : شجرة نصف مغمورة فى الماء كما يراها المراقب الموجود تحت سطح الماء (قارن هذا الشكل مع الشكل ١١٩) .



شكل ١٢١ : هكذا يبدو جسم الانسان المغمور الى صدره فى الماء ، بالنسبة للمراقب الموجود تحت سطح الماء (قارن هذا الشكل مع الشكل ١١٩) .

الماء ، بدون تشويه . وفى حدود الزاوية ٣ تقريبا ، يرى انعكاس نفس الجزء المذكور من المقياس ، اى يرى الجزء المغمور من المقياس ، بشكل مقلوب (وهذا يعود الى الانعكاس الكلى) . وما فوق ذلك ، يرى المراقب الموجود تحت الماء ، جزء المقياس البارز فوق الماء — ولكنه لا يكون امتدادا للجزء الموجود تحت الماء ، بل يكون مزاحا الى الاعلى كثيرا ، وكأنه منفصل عن قاعدته تماما . ومن البديهى ، الا يفكر المراقب بان الجزء الموجود فى الهواء ، هو امتداد للجزء الاول المغمور فى الماء ! وبالاضافة الى ذلك ، فان المقياس سيبدو منضغطا جدا ، وخاصة فى الجزء السفلى — حيث تصبح الارقام فى هذا الجزء سميكة الى درجة واضحة . ان الشجرة الموجودة على الساحل ، والمغمورة الى النصف بمياه الفيضان ، يجب ان تبدو للناظر من تحت الماء ، كما هى عليه فى الشكل ١٢٠ .

واذا وقف انسان فى المكان الذى يوجد فيه مقياس منسوب الماء ، فانه سيبدو للناظر من تحت سطح الماء ، كما هو مبين فى الشكل ١٢١ . والاسماك يجب ان ترى الانسان المذكور ، بنفس المظهر المبين فى الشكل السابق ايضا ! وعندما يسير الانسان على قاع النهر الضحل ، يتحول بالنسبة للاسماك الى شخصين : شخص علوى ، بدون رجلين ، وشخص سفلى بدون رأس ، وله اربعة ارجل ! وعندما يبتعد الانسان عن المراقب الموجود تحت الماء ، ينضغط النصف العلوى من الجسم مع النصف السفلى اكثر فاكثر ؛ وعند الابتعاد الى مسافة معينة ، يختفى الجذع الموجود فوق سطح الماء تقريبا ، ويبقى الرأس وحده متدليا فى الهواء بحرية .

هل نستطيع بواسطة التجربة ، ان نتحقق مباشرة من صحة هذه الاستنتاجات الغريبة ؟ عندما نغطس فى الماء ، فاننا لا نرى الا بدرجة قليلة جدا من الوضوح ، حتى لو تعودنا على ابقاء عيوننا مفتوحة . وسبب ذلك يعود اولا ، الى ان سطح الماء ، لا يجد متسعا من الوقت ليصبح هادئا ، خلال تلك اللحظات المعدودة ، التى نستطيع ان نبقى فيها تحت الماء ، كما اننا نجد صعوبة كبيرة فى تمييز الاشياء ، من خلال سطح الماء المضطرب (المتموج) . وثانيا ، ان انكسارية الماء ، كما ذكرنا سابقا ،

لا تختلف الا قليلا عن انكسارية الاوساط الشفافة لعين الانسان ، ولذلك ، تكون الصورة المنعكسة على شبكية العين ، غير واضحة الى حد كبير ؛ وستبدو الاشياء المحيطة بنا ، مبهمة ومشوهة (راجع الصفحة ٢٥٢) . وكذلك ، فان المراقبة من خلال غرفة الغطس او الخوذة او النافذة الزجاجية للغواصة ، لا يمكن ان تؤدى الى الغرض المطلوب . وفى هذه الحالات – كما شرحنا سابقا – على الرغم من وجود المراقب تحت الماء ، ولكن ليس فى ظروف «الابصار تحت الماء» ابدا ؛ فان شعاع الضوء المار من خلال الزجاج ، يمر ثانية خلال طبقة من الهواء قبل ان يصل الى عين المراقب . وبذلك يتعرض الشعاع الى الانكسار العكسى ، وعندئذ اما ان يعود الشعاع الى اتجاهه الاصلى ، او ان يأخذ اتجاها جديدا ، لا يمكن ان يكون نفس اتجاهه السابق فى الماء ، باى حال من الاحوال . وهذا هو السبب ، الذى يجعل المراقبة من خلال النوافذ الزجاجية للحجر الموجودة تحت الماء ، عاجزة عن اعطاء صورة حقيقية عن ظروف «الابصار تحت الماء» . ولكن ليست هناك ضرورة تستدعى وجودنا تحت الماء ، لغرض التعرف على كيفية ظهور العالم الخارجى بالنسبة لمن ينظر اليه من تحت الماء . ويمكن دراسة ظروف الابصار تحت الماء ، بمساعدة آلة تصوير خاصة ، مملوءة من الداخل بالماء . وفى هذه الحالة ، نستخدم بدلا من العدسة ، لوحا معدنيا يحتوى على ثقب صغير . ومن السهل ان نفهم بانه اذا كان كل الفراغ الموجود بين الثقب واللوح الحساس للضوء ، مملوءا بالماء ، فان العالم الخارجى يجب ان يظهر على اللوح الحساس ، بنفس المظهر الذى يبدو فيه لعينى المراقب الموجود تحت الماء . وبهذه الطريقة بالذات ، تمكن الفيزيائى الامريكى وود ، من الحصول على صور مدهشة للغاية ، قدمنا صورة واحدة منها فى الشكل ١١٤ . اما فيما يتعلق بسبب تشوه اشكال الاشياء الموجودة فوق الماء ، بالنسبة للمراقب الموجود تحت الماء (ان خطوط السكك الحديدية المستقيمة ، تبدو فى الصورة التى التقطها وود ، على هيئة أقواس) ، فقد اشرنا اليه عندما شرحنا سبب ظهور قاع البحيرة المستوى ، بمظهر مقعر (راجع الصفحة ٢٥٧) .

وتوجد طريقة اخرى للتعرف المباشر على كيفية ظهور العالم الخارجى ، بالنسبة للمراقب الموجود تحت الماء ، وذلك بان نغمر مرآة فى ماء بحيرة ساكنة ، ونجعلها تميل بزاوية مناسبة ، ثم نلاحظ الاشياء الخارجية المنعكسة فيها .

ان نتائج هذه الملاحظات ، تؤكد لنا صحة جميع التصورات النظرية ، التى شرحناها اعلاه ، بكل تفاصيلها .

وهكذا نرى بان طبقة السائل الشفافة ، الموجودة بين العين والاشياء الواقعة خارج هذه الطبقة ، تشوه مظهر العالم الموجود خارج الماء ، وتضفى عليه سمات خيالية . ان اى مخلوق يعيش على اليابسة ، ويجد نفسه فجأة تحت سطح الماء ، سوف لن يستطيع التعرف على معالم الارض التى عاش عليها من قبل – لانها ستتغير جدا عند النظر اليها من اعماق الماء .

الالوان فى اعماق المياه

يصف العالم البيولوجى الامريكى بيب ، تغير ظلال الالوان تحت سطح الماء ، وصفا جميلا جدا ، حيث يقول :

«غطسنا فى الماء ونحن فى داخل كرة الاعماق ، وفوجئنا بتغير لون المحيط من اصفر ذهبى الى اخضر . وبعد ان زالت الرغوة والفقاقيع عن النوافذ ، غمرنا باللون الاخضر ، واصبحت وجوهنا والبالونات وحتى الجدران المسورة ، كلها خضراء اللون . بينما ظهر للواقفين على ظهر السفينة ، باننا قد غمرنا باللون اللازوردى الغامق .

ان الغطس الاول فى الماء ، يحرم العين من رؤية الاشعة الدافئة* للطيف الشمسى (اى الاشعة الحمراء والبرتقالية) . ولم يكن هناك اى وجود للونين الاحمر والبرتقالى ، وسرعان ما ابتلعت الظلال الصفراء من قبل الظلال الخضراء . ومع ان

* يقصد بكلمة «دافئة» هنا ، المعنى الذى يستخدمه الرسامون لوصف ظلال الالوان . انهم يطلقون صفة «دافئة» على الالوان الحمراء والبرتقالية ، وذلك لتمييزها عن الالوان «الباردة» وهى الزرقاء واللازوردية .

الاشعة الدافئة البهيجة ، لا تشكل الا جزءا قليلا من الطيف الواضح ، ولكنها عندما تختفى نهائيا ، حين يصل العمق الى ٣٠ م واكثر ، لا يبقى هناك سوى البرد والظلام والموت .

وكلما توغلنا الى عمق اكبر ، زالت الظلال الخضراء تدريجيا ؛ وعلى عمق ٦٠ م ، لم يستطع احد تحديد لون الماء بالضبط ، أهو أخضر على ازرق ام ازرق على اخضر !

وعلى عمق ١٨٠ م ، بدت كافة الاشياء وكأنها مصبوغة باللون الازرق الوضاء الكثيف ، الذى كان ضعيف الاضاءة الى درجة كبيرة ، بحيث اصبحت القراءة او الكتابة مستحيلة .

وعلى عمق ٣٠٠ م ، حاولت تحديد لون الماء ، فتهيأ لى بأنه اسود على ازرق ، أو اسود على رمادى على ازرق . ومن الغريب ، انه عندما يزول اللون الازرق ، لا يحل محله اللون البنفسجى — آخر الوان الطيف الواضح ، ويظهر انه قد تم امتصاصه تماما . وتتحول آخر ملامح اللون الازرق ، الى لون رمادى غير معين ، يتحول بدوره الى لون اسود . وابتداء من هذا المستوى ، يختفى ضوء الشمس نهائيا ، وتزول كافة الالوان الى الابد ، الى ان يتوغل الانسان الى هذه الاعماق ، حاملا معه جهازا لنشر الاشعة الكهربائية فى تلك الاعماق ، التى خيّم عليها الظلام الحالك منذ مليارات السنين » .

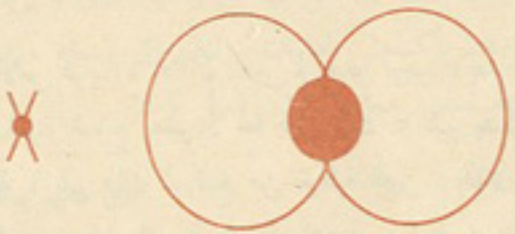
وفى مكان آخر ، يصف العالم الفيزيائى بيب ، الظلام الذى يخيم على اعماق كبيرة من سطح الماء ، كما يلى :

« ان الظلام الذى يخيم على عمق ٧٥٠ م ، حالك الى درجة لا توصف ، ومع ذلك ، فانه الآن — على عمق ١٠٠٠ م — يبدو اسود من السواد . ويبدو بان جميع الليالى المقبلة ، فى العالم الموجود فوق سطح الماء ، ستعتبر سوداء بدرجة نسبية فقط . وبعد ان شاهدت ذلك ، لم استطع ان اطلق اسم « اسود » على شئ ما ، بثقة تامة » .

اذا قيل لشخص ما بان فى مجال ابصاره ، توجد بقعة لا يتمكن من رؤيتها بتاتا ، بالرغم من وقوعها امامه مباشرة ، لما صدق ذلك الشخص هذا القول بطبيعة الحال . اكان من الممكن يا ترى ، الا يهتدى الانسان خلال حياته كلها ، الى هذا العيب الكبير فى بصره ؟ ونقدم الى القارى هنا ، تجربة بسيطة ، تجعله يقتنع بصحة هذا الكلام .

ضع الشكل ١٢٢ امامك ، بحيث يبعد عن عينك اليمنى بمسافة ٢٠ سم (مع اغماض العين اليسرى) ، وانظر الى اشارة الضرب ، الموجودة الى يسار الشكل ، مع تقريب الشكل من عينك ببطء . واثناء قيامك بذلك ، لا بد وان تمر بلحظة ، تشعر فيها بان البقعة السوداء الكبيرة ، الموجودة عند تقاطع الدائرتين ، قد اختفت عن نظرك تماما ! انك لا تراها بالرغم من وقوعها باستمرار فى مجال ابصارك ، اما الدائرتان اليمنى واليسرى ، فتبدوان واضحتين تماما !

لقد اجريت هذه التجربة لاول مرة فى عام ١٦٦٨ (بشكل مختلف نوعا ما) ، من قبل العالم الفيزيائى الشهير ماريوت ، وادهشت حاشية الملك لويس الرابع عشر . وقد اجرى ماريوت هذه التجربة كما يلى : طلب الى اثنين من رجال الحاشية ان يجلسا قبالة بعضهما ، على مسافة مترين فقط ، وان ينظرا الى نقطة جانبية بعين واحدة — وعندئذ تراءى لكل منهما ، بان الشخص الذى يجلس امامه ، مقطوع الرأس .



شكل ١٢٢ : الرسم الذى يساعد على اكتشاف البقعة العمياء .

شكل ١٢٣ : عند النظر الى المبنى بعين واحدة ، فاننا لا نرى بتاتا ذلك الجزء الصغير (ح) من مجال الابصار ، المناظر للبقعة العمياء .

ومهما كان الامر غريبا ، الا ان الناس لم يعرفوا بوجود « بقعة عمياء » على شبكية عيونهم ، الا فى القرن السابع عشر . اما قبل ذلك ، فلم يفكر احد بهذه البقعة مطلقا . وهذه البقعة ، هى ذلك الموضع من شبكية العين ، الذى يدخل منه العصب البصرى الى مقلة العين ، قبل ان يتفرع الى اعصاب رفيعة ، مزودة بخلايا حساسة للضوء .

اما الانسان ، فلا يلاحظ هذه البقعة السوداء ، الواقعة فى مجال ابصاره ، وذلك نتيجة للعادة المستحكمة . ان خيال الانسان يعمل بصورة لاارادية ، على سد هذا النقص ، مستعينا بتفاصيل وملامح الخلفية المحيطة به . وهكذا ، فعندما لا نرى البقعة السوداء فى الشكل ١٢٣ ، فاننا نوصل امتدادات الدائرتين فى ذهننا — تخيليا — ونصبح على ثقة من اننا نرى نقطة تقاطع الدائرتين بوضوح .

واذا كان القارئ يستخدم نظارة ، يمكنه عندئذ القيام بالتجربة التالية ، بلصق قطعة ورق صغيرة على زجاج النظارة (لا فى الوسط تماما ، بل على الجوانب) . وفى الايام الاولى ، ستعرقل قطعة الورق ، الرؤية ، ولكن بعد مرور أسبوع فآخر ، يتعود القارئ على قطعة الورق الى درجة كبيرة ، حتى انه لن يلاحظها بعد ذلك . ويعرف ذلك جيدا ، كل من وضع على عينيه فى وقت ما ، نظارة فى زجاجها ثلمة او كسر ، حيث تكون الثلمة واضحة للعين فى الايام الاولى فقط . وهذا ما ينطبق علينا بالذات ، حيث اننا بحكم العادة المستأصلة فينا ، لا نلاحظ البقعة العمياء ، الموجودة فى عيننا . وبالاضافة الى ذلك ، فان كلتا البقعتين السوداوين ، تناظران مكانين مختلفين من مجال الابصار ، بحيث لا يظهر هناك اى نقص فى مجال الرؤية العام ، عند الابصار بكلتا العينين معا .

ولا يظن القارئ بان البقعة العمياء ، تشغل حيزا صغيرا فى مجال الابصار ؛ فعندما ننظر (بعين واحدة) الى احد الدور من مسافة ١٠ م ، فاننا بسبب البقعة العمياء ، نعجز عن رؤية مسافة لا بأس بها من واجهة الدار ، يزيد عرضها على متر واحد ؛ وهى تتسع لنافذة بأكملها . اما عندما ننظر الى السماء ، فتختفى عن انظارنا نتيجة لذلك ، مساحة تساوى مساحة ١٢٠ قمرا كاملا .

باى حجم يبدو القمر امامنا ؟

ونقدم بهذه المناسبة ، بعض المعلومات عن حجوم القمر المختلفة كما نراها من الارض . اذا سألنا بعض الاصدقاء ، عن حجم القمر الذى يبدو امامهم ، لحصلنا

على اجابات مختلفة جدا . وسيجيب اكثرهم على سؤالنا ، بان حجم القمر يساوى حجم الطبق ، وسنجد بعض الاجابات ، التى تؤكد بان حجمه يساوى حجم طبق فنجان القهوة ، او حجم الكرزة او التفاحة . وقد تراءى القمر دائما لاحد تلاميذ المدارس ، وكأنه « بحجم مائدة الطعام المستديرة ، المعدة لجلوس ١٢ شخصا » . ويؤكد احد المؤلفين الروائيين ، بان « قطر القمر يبلغ ياردة واحدة » .

ما هو سبب الاختلاف الشديد فى تقدير حجم نفس القمر الواحد بالذات ؟

ان سبب ذلك يعود الى الاختلاف فى تقدير المسافات ، وهو التقدير الذى يتم دائما بدون وعى . ان الشخص الذى يرى القمر بحجم التفاحة ، يتصوره واقعا على مسافة اقرب بكثير ، مما يتصوره اولئك الناس ، الذين يرون القمر بحجم الطبق ، او بحجم المائدة المستديرة .

ان اكثرية الناس تتصور القمر بحجم الطبق . وهذا ما يجعلنا نتوصل الى النتيجة الطريفة التالية : اذا حسبنا (بالطريقة التى ستتطرق اليها فيما بعد) على اية مسافة سيضع كل منا القمر ، ذا الحجم المذكور ، لرأينا بانها لا تزيد على ٣٠ م . وهكذا نرى الى اية مسافة متواضعة ، ازحنا النجم الليلى ! وهناك كثير من الخدع البصرية ، المبنية على اساس عدم صحة تقدير المسافة . واتذكر جيدا احدى هذه الخدع البصرية ، التى تعرضت لها فى طفولتى « عندما كانت كافة انطباعات الحياة ، جديدة علىّ » . وفى صباح يوم ربيعى ، ذهبت للنزهة فى ضواحى المدينة ، ولاول مرة فى حياتى ، رأيت قطيعا من البقر يرعى فى المرج . وقد كان تقديرى للمسافة التى تفصلنى عن القطيع ، خاطئا الى درجة كبيرة ، بحيث تهيأ لى بان قطيع البقر ،

شكل ١٢٤ : زاوية الابصار .

ما هو الا مجموعة من الاقزام ! ولم أكن قبل ذلك قد رأيت مثل هذه الابقار الصغيرة جدا ، وسوف لن ارى * ابدا ، بطبيعة الحال . والفلكيون يقدرون الحجم الظاهر لكوكب ما ، بقيمة الزاوية ، التى تنظر منها الى ذلك الكوكب . والزاوية المحصورة بين المستقيمين الواصلين بين العين واقصى طرفى الجسم المنظور ، تسمى بـ « زاوية الابصار » وهى مبينة فى الشكل ١٢٤ . ان الزوايا كما هو معروف ، تقاس بالدرجات والدقائق والثوانى . وعندما نسأل العالم الفلكى عن الحجم الظاهر للقمر ، فانه لن يجيب على سؤالنا بان ذلك الحجم يساوى حجم التفاحة او الطبق ؛ بل سيجيب بقوله ان الحجم الظاهر للقمر ، يساوى نصف درجة ، وهذا يعنى ان الزاوية المحصورة بين المستقيمين الواصلين بين العين واقصى طرفى قرص القمر ، تساوى نصف درجة . وهذا هو التقدير الصحيح الوحيد ، للحجوم الظاهرية للاجسام ، اذ لا ينتج عنه اى سوء فهم .

وتنص القوانين الهندسية ، على ان الجسم الذى يبعد عن العين مسافة تزيد على قطره بمقدار ٥٧ مرة ، يجب ان يظهر لعين المراقب بزاوية ابصار تساوى درجة واحدة . مثلا ، التفاحة التى يبلغ قطرها ٥ سم ، تكون لها زاوية ابصار قدرها درجة واحدة ، اذا كانت تبعد عن عين المراقب مسافة تساوى ٥٧×٥ سم . وعند ضعف هذه المسافة ، تصبح زاوية ابصارها مساوية لنصف درجة ، اى بنفس الحجم الذى نرى فيه القمر . ويستطيع القارئ القول بان حجم القمر الظاهرى يساوى حجم التفاحة ، على ان تكون هذه التفاحة واقعة على بعد ٥٧٠ سم عن عين المراقب . وعندما نرغب فى مقارنة حجم القمر الظاهرى ، مع حجم الطبق ، يجب ان نبعد الطبق الى مسافة

---

* ومع ذلك فان الناس البالغين ، ينساقون احيانا وراء مثل هذه الخدع البصرية . وكدليل على ذلك نقدم للقارئ هنا ، مقتطفا من رواية جريجوروفيتش « الفلاح » :

« وبدت ضاحية المدينة وكأنها موضوعة على راحة اليد ، وظهرت الاشجار كما لو انها قد نبتت بجوار الجسر بالذات ، اما البيت والتل وغابة البتولا الصغيرة ، فقد بدت كلها وكأنها ملتصقة بالقرية . وكل هذه الاشياء – البيت والحديقة والقرية – بدت الآن بمظهر الألاعيب ، حيث يمكن اعتبار الميدان بمثابة الاشجار ، وشظايا المرآة بمثابة النهر » .

٣٠ م عن العين . واكثرية الناس لا تريد ان تصدق ، بان القمر يبدو صغيرا الى هذا الحد . ولكن ، لنحاول ان نضع قطعة نقود صغيرة الحجم ، على مثل هذه المسافة من العين ، وهى المسافة التى تزيد على قطر قطعة النقود بمقدار ١١٤ مرة ، وسنرى عندئذ ، بان هذه القطعة ستحجب عنا رؤية القمر تماما ، مع انها لا تبعد عن العين اكثر من مترين .

واذا طلب منك ان ترسم على الورقة ، دائرة تمثل قرص القمر ، كما تراه بالعين المجردة ، لظهر لك بان هذا الطلب غير متكامل الشروط . ذلك لان الدائرة قد تكون كبيرة او صغيرة ، تبعا لبعدها عن العين . ولكن الشروط ستصبح متكاملة ، اذا حددنا بعدها عن العين ، بالمسافة التى تبعد بها الكتاب او الرسم وغير ذلك ، عن العين عادة ، اى بالمسافة التى تؤمن لنا رؤية جيدة جدا . وتبلغ هذه المسافة بالنسبة للعين السليمة ٢٥ سم .

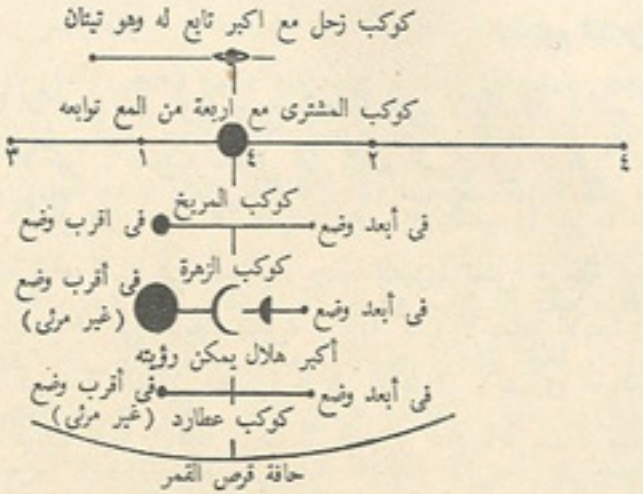
والآن ، لنحسب الحجم الذى يجب ان تكون عليه الدائرة ، ولو على صفحة هذا الكتاب ، لكى يصبح حجمها الظاهرى ، مساويا لحجم قرص القمر . ان الحساب بسيط ، ويتلخص فى قسمة المسافة ٢٥ سم (اى ٢٥٠ مم) ، على العدد ١١٤ . ونحصل بذلك على مقدار صغير جدا — يزيد قليلا على ٢ مم ! ولا يمكن للانسان ان يصدق بان حجم القمر الظاهرى وحجم الشمس الظاهرى الذى يساويه ، يبدوان امام عينيه بزاوية ابصار صغيرة كهذه !

وربما يكون القارئ قد لاحظ بانه بعد النظر الى قرص الشمس ، تلوح فى مجال الابصار لفترة طويلة ، اقراص صغيرة ملونة ، تتلألأ بتقطع . ولهذه الاقراص المسماة بـ « آثار الابصار » ، زاوية ابصار مساوية تماما لزاوية ابصار الشمس . ولكن حجومها الظاهرية تتغير . فعندما ننظر الى السماء ، يكون حجم كل منها بحجم قرص الشمس ؛ اما عندما نلقى نظرة على الكتاب الموضوع امامنا ، فان « اثر » الشمس يشغل من صفحة الكتاب ، حجم قرص صغير جدا ، يبلغ قطره حوالى ٢ مم ، الامر الذى يؤكد بوضوح صحة الحساب الذى اجريناه .

اذا أردنا ان نرسم على الورق — مع الحفاظ على الابعاد الزاوية — برج (مجموعة نجوم) الدب الاكبر ، فسوف نحصل على الرسم المبين فى الشكل ١٢٥ . وعندما ننظر الى هذا الشكل من مسافة ٢٥ سم ، نرى برج الدب الاكبر ، بنفس الشكل الذى يظهر فيه امام اعيننا فى السماء . وهذه الصورة تمثل خريطة مجموعة الدب الاكبر ، مع الحفاظ على الابعاد الزاوية . واذا كان الانطباع الابصارى الناتج عن برج الدب الاكبر — لا الشكل فحسب ، بل الانطباع الابصارى المباشر بالذات — محفوظا فى ذاكرتك جيدا ، فانه سيعود الى الظهور امام ناظريك ، بمجرد ان تنظر الى الشكل السابق . وبمعرفة الابعاد الزاوية بين النجوم الرئيسية لكافة المجموعات — الابراج — (وهى مدرجة فى التقاويم الفلكية والمطبوعات الدورية المفصلة) ، يمكننا رسم اطلس فلكى كامل ، بالحجم الطبيعى . وللقيام بذلك ، نستخدم ورقة مربعات ملمترية ، ونعتبر بان كل ٤,٥ مم ، تساوى درجة واحدة (يجب رسم مساحات الاقراص التى تمثل النجوم ، بحيث تتناسب مع لمعانها) .

والآن ، لنعد الى الكواكب السيارة . ان حجومها الظاهرية — كما هى الحالة فى النجوم — صغيرة جدا ، بحيث تبدو للعين المجردة وكأنها نقط مشعة . وهذا امر مفهوم ، ذلك لعدم وجود اى كوكب سيار (ما عدا كوكب الزهرة ، فى فترة لمعانه

شكل ١٢٥ : صورة تمثل برج الدب الاكبر مع الحفاظ على الابعاد الزاوية . يجب وضع الصورة على بعد ٢٥ سم عن العين .



شكل ١٢٦ : اذا وضعنا هذا الشكل على بعد ٢٥ سم عن العين ، فاننا سنرى اقراص الكواكب المبينة فيه بحجوم مساوية تماما لحجوم التى نراها عندما ننظر الى تلك الكواكب من خلال تلسكوب تبلغ قوة تكبيره ١٠٠ مرة .

الاقصى) ، يمكن ان يبدو للعين المجردة بزاوية ابصار تزيد على دقيقة واحدة ، وهى الزاوية الحرجة ، التى يمكننا عندها بصورة عامة ، تمييز الشئ كجسم له ابعاد معينة (اما عند زاوية ابصار اقل من الزاوية الحرجة ، فان جميع الاشياء تبدو للعين المجردة بمثابة نقطة فقط) .

وندرج فيما يلى ابعاد (حجوم) مختلف الكواكب السيارة ، مقاسة بالثوانى الزاوية ، وسيجد القارئ مقابل كل كوكب رقمين ، يدل اولهما على اصغر مسافة بين ذلك الكوكب والارض ، ويدل الثانى على اكبر مسافة بينهما :

اسم الكوكب	عدد الثوانى
عطارد	١٣ — ٥
الزهرة	٦٤ — ١٠
المريخ	٢٥ — ٣,٥

المشترى	٥٠ — ٣٠,٥
زحل	٢٠,٥ — ١٥
الحلقات التابعة لزحل	٤٨ — ٣٥

ولا توجد امكانية لرسم هذه الابعاد « بشكلها الطبيعى » على الورق ، لانه حتى الدقيقة الزاوية الواحدة ، اى ما يعادل ٦٠ ثانية ، تطابق بالنسبة لأقوى بصر ، مسافة قدرها ٠,٠٤ مم على الورق . وهذه المسافة قليلة جدا ، بحيث لا يمكن للعين المجردة ان تميزها . ولذلك ، سنتصور اقراص الكواكب ، كما نراها بواسطة التلسكوب ، الذى تبلغ قوة تكبيره ١٠٠ مرة .

ويبين الشكل ١٢٦ ، الابعاد (الحجوم) الظاهرية لتلك الكواكب السيارة ، كما يبينها التلسكوب المذكور . ان القوس السفلى الظاهر فى الشكل ، يمثل حافة قرص القمر (او الشمس) كما تظهر فى التلسكوب ، الذى تبلغ قوة تكبيره ١٠٠ مرة . ويظهر فوق القوس ، الكوكب عطارد فى اقرب مسافة له من الارض . وفوق عطارد يظهر كوكب الزهرة ، فى أطواره المختلفة . وعندما يقع كوكب الزهرة على اقرب مسافة من الارض ، لا يمكن رؤيته فى هذه الحالة مطلقا ، وذلك لان نصفه المعتم يقابل الارض * . ثم نرى بعد ذلك هلال الزهرة الرفيع ، الذى يعتبر من اكبر أهلّة الكواكب الاخرى على الاطلاق . وفى الاطوار التالية ، يقل حجم الزهرة اكثر فاكثر ، الى ان يصل قطر القرص التام ، الى $\frac{1}{6}$ قطر الهلال الرفيع الاول . وفوق كوكب الزهرة ، يظهر فى الرسم كوكب المريخ . ويصبح على اقرب مسافة من الارض ، عندما يكون فى الوضع المبين الى اليسار ، كما يظهر فى التلسكوب ، الذى تبلغ قوة تكبيره ١٠٠ مرة . ما الذى يمكن تمييزه على هذا القرص الصغير ؟ لتتصور بان هذا القرص الصغير قد كبر ١٠ مرات ؛ وستتكون لدينا عندئذ فكرة عن الاشياء التى يراها العالم الفلكى ،

* يمكن رؤية كوكب الزهرة فى هذا الطور ، فقط فى تلك اللحظات النادرة جدا ، التى يبدو فيها مسقط الكوكب على الشمس ، بشكل قرص اسود صغير ، يسمى « ممر الزهرة » .

الذى يراقب المريخ من خلال تلسكوب ضخم ، تبلغ قوة تكبيره ١٠٠٠ مرة . هل يمكنه ان يلاحظ على هذه المساحة الضيقة جدا ، بعض التفاصيل الدقيقة ، التى لا يشك فيها ، مثل القنوات الموهومة ، او التغير الخفيف فى الالوان ، الذى يعتقد البعض بانه يعود الى وجود النباتات على سطح هذا الكوكب ؟ ولا عجب اذا علمنا بان آراء علماء الفلك حول هذه المواضيع ، تختلف اختلافا جوهريا عن بعضها البعض . فان ما يعتبره بعض العلماء شيئا واضحا ومميزا * ، يعتبره البعض الاخر خداعا بصريا .

ان كوكب المشترى الجبار ، يشغل مع توابعه حيزا بارزا فى الشكل السابق ، وقرصه اكبر بكثير من اقراص بقية الكواكب (ما عدا هلال كوكب الزهرة) . اما توابعه الرئيسية الاربعة ، فتمتد على خط واحد ، يساوى نصف قرص القمر تقريبا . ويظهر المشترى فى الشكل المذكور ، فى اقرب وضعية له بالنسبة الى الارض . واخيرا ، فان الكوكب زحل ، الظاهر فى اعلى الشكل ، مع حلقاته واكبر تابع من توابعه (تيتان) ، يعتبر كذلك كوكبا واضحا جدا ، عندما يكون فى اقرب وضعية له بالنسبة الى الارض .

وبعد هذا البحث ، يتضح للقارئ بان كل جسم مرئى ، يبدو امامنا بحجم اصغر ، كلما تصورناه اكثر قربا منا . وعلى العكس من ذلك ، اذا تصورنا — لسبب ما — بان الجسم بعيد عنا ، فان ذلك الجسم بالذات ، يبدو امامنا طبقا لذلك ، اكبر حجما .

وسنقدم فيما يلى قصة توضيحية من تأليف « ادجار بو » ، تصف لنا احدى حالات خداع البصر ، التى تشبه الحالة السابقة تماما . ومع ان هذه الحالة تبدو غير واقعية ظاهريا ، الا انها ليست خيالية مطلقا . وقد كنت شخصيا فى يوم من الايام ، ضحية لخدعة مماثلة تقريبا . وربما يتذكر الكثير من القراء ، بعض الحوادث المماثلة ، التى تعرضوا لها فى حياتهم الخاصة .

---

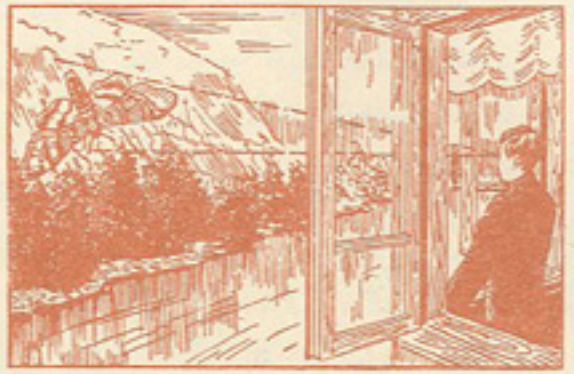
* ان الحصول على المعلومات الحديثة عن كوكب المريخ ، لا ينحصر فى النتائج التى تستخلص من عمليات المراقبة البصرية فقط . ان القياسات التى تقوم بها الاجهزة الحساسة ، تساعد العلماء على استخلاص معلومات معينة وموثوقة تماما ، عن الظروف الفيزيائية المحيطة بالكواكب وتوابعها .

قصة من تأليف ادجار بو

« عندما كان مرض الكوليرا الفتاك ، متفشيا فى مدينة نيويورك ، تلقيت دعوة من احد اقاربى لقضاء اسبوعين من الراحة فى منزله الريفى المنعزل . وقد كان باستطاعتنا قضاء الوقت بصورة ممتعة ، لولا الانباء الرهيبة ، التى كنا نتلقاها يوميا من المدينة . ولم يمر يوم واحد ، دون ان نسمع بوفاة احد معارفنا . وكنا ننتظر الجرائد وفرائصنا ترتعد من الخوف . حتى ان الرياح القادمة من الجنوب ، كانت تبدو وكأنها مشبعة بالكوليرا . وقد سيطرت هذه الفكرة المخيفة ، سيطرة تامة على عقلى وروحى . وكان صاحب المنزل هادئ الطبع اكثر منى ، وحاول ان يرفع من معنوياتى .

وفى احد الايام الحارة ، عندما كانت الشمس تشرف على المغيب ، تناولت كتابا وجلست لاقرأ بقرب احدى النوافذ المفتوحة ، التى كانت تطل على رابية بعيدة وراء النهر . ولكن افكارى كانت شاردة عن الكتاب تماما ، ومتعلقة باذيال الانقباض والقنوط ، المسيطرين على المدينة المجاورة . وعندما رفعت عينى عن الكتاب ، وقع نظرى صدفة على منحدر الرابية الجرداء ، ورأيت منظرا غريبا : احد الوحوش القبيحة ، وهو ينحدر من قمة الرابية بسرعة ، ثم يختفى فى الغابة الواقعة عند السفح . وفى أول دقيقة رأيت فيها هذا الوحش ، خامرنى الشك فى سلامة عقلى او على الاقل فى سلامة نظرى . ولم اتأكد من نفسى الا بعد مرور عدة دقائق . ولكننى اذا قمت بوصف هذا الوحش (الذى رأيته بوضوح تام ، وراقبته طوال الوقت ، الذى كان يهبط فيه من الرابية) ، فمن المحتمل ألا يصدقنى القراء بسهولة .

وعند تقدير حجم هذا المخلوق ، بالمقارنة مع قطر الاشجار الضخمة ، اقتنعت بان حجمه اكبر بكثير من اضخم سفينة موجودة الان . واقول سفينة بالذات ، لان شكل الوحش المذكور يشبه السفينة ؛ ويمكن تشبيه ملامحه جيدا ، ببدن سفينة حربية ذات ٧٤ مدفعا . وكان فم هذا الوحش ، يقع فى نهاية خرطوم طوله ٦٠ او



شكل ١٢٧ : « .... وهبط الوحش من قمة الرابية » .

٧٠ قدما ، وسمكه مثل سمك جسم الفيل تقريبا . وعند قاعدة الخرطوم نمت كتلة كثيفة من الشعر الاشعث ، وبرز من هذا الشعر ، نابان لامعان ، منحنيان الى الاسفل والى الجانب ، يشبهان انياب الخنازير البرية ، ولكن بحجم كبير جدا . وكان يقع على جانبى الخرطوم ، قرنان مستقيمان هائلان ، طول كل منهما ٣٠ او ٤٠ قدما ، اوحى مظهرهما بانهما بلوريان ، حيث كان بريقهما تحت الشمس ، يعمى الابصار . وكان جسم هذا الوحش ، يشبه الاسفين ، المتجه الرأس نحو الارض . وكان الجسم المذكور مزودا بزوجين من الاجنحة ، احدهما فوق الاخر ، وطول كل منهما حوالى ٣٠٠ قدم . وكانت الاجنحة تحتوى على طبقة كثيفة من الصفائح المعدنية ، التى بلغ قطر كل منها ١٠ — ١٢ قدما . ولكن الميزة الرئيسية لهذا المخلوق الرهيب ، تمثلت فى ذلك الرأس الشبيه بالميت ، الذى كان يشغل كل سطح الصدر تقريبا . وقد تميز الرأس جيدا ، عن الجسم الداكن ، بزهرته البيضاء المتألقة ، التى بدت وكأنها قد رسمت بيد فنان ماهر . وفى الوقت الذى كنت فيه اتابع النظر الى هذا الوحش الرهيب ، والرعب مسيطر على مشاعرى ، خاصة وانا انظر الى جسمه المشؤوم والى صدره ، فغر فمه فجأة ، واطلق فى الجو انة مدوية . ولم تتحمل اعصابى كل

ذلك ، وعندما اختفى الوحش فى الغابة الواقعة عند سفح الرابية ، سقطت على ارض الغرفة ، فاقد الشعور . . .

وعندما عدت الى الوعى ، كانت اولى رغباتى هى ان احدث صديقى بما رأيت . وبعد ان سمع حديثى الى نهايته ، ضحك فى بداية الامر ، ثم بدت عليه علائم الجد ، وكأنه لم يشك مطلقا فى اختلال عقلى .

وفى هذه الدقيقة بالذات ، رأيت الوحش مرة ثانية ، وصرخت منبها صديقى وانا اشير اليه بيدى . ونظر صديقى ، ثم اكد لى بانه لم ير شيئا ، بالرغم من اننى وصفت له عملية هبوط الوحش من قمة الرابية بالتفصيل .

وغطيت وجهى بيدى ، وعندما رفعتهما عنه ، كان الوحش قد اختفى تماما .

وأخذ صاحب المنزل يسألنى عن المظهر الخارجى لذلك الوحش . وعندما حدثته عن ذلك بالتفصيل ، تنفس الصعداء وكأنه قد ازال عن كاهله عبئا ثقيلا ، ثم اتجه نحو خزانة الكتب ، وتناول منها كتابا مدرسيا يبحث فى علم التاريخ الطبيعى . وبعد ذلك عرض على ان اعطيه مكانى ، وذلك لان احرف الكتاب الناعمة تصبح اكثر وضوحا لعينيه عند جلوسه بقرب النافذة . وجلس على المقعد ، ثم فتح الكتاب واستمر فى حديثه قائلا :

— لو لم تصف لى ذلك الوحش بمثل هذا الوصف الدقيق ، لما كان باستطاعتى بتاتا ، ان اكشف لك سر ذلك الوحش . وقبل كل شئ ارجو ان تسمح لى بان اقرأ لك فى هذا الكتاب ، وصفا لفراشة ابى الهول ، من فصيلة الحشرات الناشطة فى الغسق ، ومن رتبة الحشرات القشرية الاجنحة . واليك ما جاء فى الكتاب حول هذا الموضوع :

« زوجان من الاجنحة الغشائية ، مغطيان بحراشف دقيقة ملونة ، ذات بريق معدنى . واعضاء الفم مكونة من الفكوك السفلى المستطيلة ، وتوجد على جوانب الفكوك منابت المجسات المنفوشة . والاجنحة السفلى متصلة بالاجنحة العليا ، بشعيرات متينة . اما الشوارب فتكون على هيئة عساليج اولية ، والبطن مسننة . والرأس الشبيه

بالميت لحشرة ابى الهول ، يثير احيانا الرعب الخرافى بين عامة الشعب ، وذلك نظرا للانين المحزن الصادر عنه ، ولهيئة الجمجمة الملتصقة بالصدر * .

وهنا اطبق الكتاب وانحنى نحو النافذة ، متخذا نفس الوضع الذى كنت عليه ، عندما رأيت « الوحش » . وهتف قائلا :

– أجل ، ها هو ذا ! انه يصعد منحدر الرابية ، واعترف لك بانه يبدو عجيبا جدا . ولكنه مع ذلك ليس كبيرا جدا وليس بعيدا جدا ، كما تصورته انت ، ذلك لانه يتسلق خيطا من خيوط العنكبوت ، الملتصقة بنافذتنا ! »

ما الذى يجعل الميكروسكوب يكبر الاشياء ؟

ان الاجابة التى غالبا ما نسمعها عندما نطرح مثل هذا السؤال هى كالاتى : « ان الميكروسكوب يكبر الاشياء ، لانه يغير اتجاه الاشعة ، بطريقة معينة ، مشروحة فى كتب الفيزياء المدرسية » . ولكن هذه الاجابة ، تشير الى احد الاسباب الثانوية فقط ، ولا تتطرق الى السبب الرئيسى . ما هو اذن السبب الرئيسى ، الذى يجعل الميكروسكوب والتلسكوب ، يكبران الاشياء ؟ لقد عرفت السبب الرئيسى لذلك ، ليس من مطالعة الكتب المدرسية ، ولكن بادراكه صدفة . عندما كنت تلميذا لاحظت ذات مرة ، ظاهرة غريبة حيرتنى الى درجة كبيرة . كنت جالسا بقرب نافذة مقفلة ، انظر الى جدار من الطوب ، لاحد المنازل ، الواقعة عبر الزقاق الضيق ، المقابل لتلك النافذة . وفجأة ، ارتعدت فرائصى ، وانا ارى عينا بشرية عملاقة – رأيت ذلك بوضوح تام – يبلغ قطرها عدة امتار ، تنظر الى من ذلك الجدار المقابل للنافذة . . .

* لقد صنف العلماء هذه الفراشة الآن ، واعتبروها من نوع (اخيروتيا) . وهى احدى الفراشات القلائل ، التى لها القابلية لاحداث الاصوات – نوع من الصفير يشبه صرير الفأر – ، والفراشة الوحيدة التى تحدث الاصوات بواسطة اعضاء الفم . ان صوتها يعتبر عاليا لدرجة كافية ، حيث يمكن سماعه على بعد امتار عديدة . وفى هذه الحالة بالذات ، كان من الممكن ان يظهر هذا الصوت بشكل عال جدا بالنسبة للمراقب ، وذلك لانه تصور بان مصدر الصوت ، يقع على مسافة بعيدة منه (ارجع الكتاب الاول من الفيزياء المسلية ، الفصل العاشر – عجائب السمع) .

ولم اكن فى ذلك الوقت ، قد قرأت قصة « ادجار بو » ، ولذلك لم ادرك فى الحال ، بان تلك العين العملاقة ، كانت انعكاسا لعينى بالذات ، وهو الانعكاس الذى اسقطته على ذلك الجدار البعيد عنى ، وبدت العين لهذا السبب ، مكبرة طبقا لذلك .

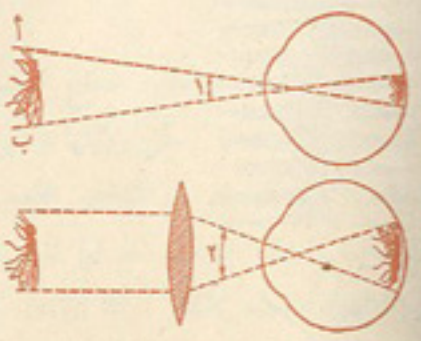
وبعد ان عرفت سبب تلك الظاهرة ، اخذت افكر فى امكانية صنع ميكروسكوب ، على اساس هذه الخدعة البصرية . وعندما لم يحالفنى الحظ فى التوصل الى ذلك ، اتضح لى عندئذ ، السبب الرئيسى الذى يجعل الميكروسكوب يكبر الاشياء . ولا يتلخص هذا السبب فى ظهور الجسم المنظور بابعاد اكبر (بحجم اكبر) ، ولكنه يتلخص فى اننا ننظر اليه بزاوية ابصار اكبر – وهذا اهم شىء – وبذلك نرى بان صورته تشغل حيزا اكبر ، عند سقوطها على شبكية العين .

ولكى نفهم سبب الاهمية الجوهرية لزاوية الابصار فى هذه الحالة ، يجب ان ننتبه الى احدى الخواص المهمة لعين الانسان ، وتتلخص فيما يلى : ان كل جسم او كل جزء من ذلك الجسم ، يظهر امامنا بزاوية ابصار ، تقل عن دقيقة زاوية واحدة ، فانه يندمج – بالنسبة للعين السليمة النظر – فى نقطة ، ليس لها اى شكل او اجزاء . وعندما يكون الجسم بعيدا جدا عن العين ، او صغيرا جدا بالذات ، بحيث يظهر امام العين باجمعه ، او تظهر بعض اجزائه ، بزاوية ابصار اقل من دقيقة زاوية واحدة ، لا تستطيع العين فى هذه الحالة تمييز ملامحه بالتفصيل . ويحدث ذلك لانه عند مثل زاوية الابصار هذه ، نرى بان صورة الجسم (او صورة جزء معين منه) ، الساقطة على شبكية العين ، لا تغطى مجموعة كبيرة من الخلايا البصرية للشبكية ، دفعة واحدة ، ولكنها تسقط باجمعها على خلية بصرية واحدة . وفى هذه الحالة تختفى تفاصيل شكل وتركيب الجسم ، ولا ترى العين سوى نقطة واحدة فقط .

ان دور الميكروسكوب والتلسكوب ، يتلخص فى تغيير اتجاه الاشعة القادمة من الجسم المنظور ، الامر الذى يجعله يبدو للعين بزاوية ابصار اكبر . ونتيجة لذلك ، تتوسع الصورة الساقطة على شبكية العين ، وتغطى عددا اكبر من الخلايا البصرية ، مما يجعل العين تميز بعض الملامح المفصلة للجسم ، التى كانت سابقا

مندمجة فى نقطة واحدة . واذا قيل لنا بان الميكروسكوب او التلسكوب ، يكبر ١٠٠ مرة ، فهذا يعنى بانه يجعلنا نرى الجسم ، بزاوية ابصار تزيد بـ ١٠٠ مرة ، على زاوية الابصار التى ننظر منها الى ذلك الجسم بالعين المجردة (بدون تلسكوب او ميكروسكوب) . واذا كان الجهاز البصرى ، لا يكبر زاوية الابصار ، فانه لا يكبر الجسم المنظور بتاتا ، على الرغم مما يبدو لنا ، وكأننا نرى الجسم مكبرا . وقد ظهرت العين على الجدار ، كبيرة جدا بالنسبة لى ، ولكننى لم الاحظ عليها اية تفاصيل اضافية ، بالنسبة لما اراه عندما انظر فى المرآة . وعندما يكون القمر منخفضا عند الافق ، يبدو لنا اكبر بكثير ، مما يكون عليه عند وجوده فى كبد السماء . ولكننا هل نلاحظ على ذلك القرص المكبر ، ولو بقعة صغيرة جدا ، لا يمكن ملاحظتها عند وجود القمر فى اعلى نقطة من السماء ؟

واذا عدنا الى حالة التكبير ، المذكورة فى قصة ادجار بو « ابو الهول » ، لتأكدنا بانه فى هذه الحالة ايضا ، لا وجود لاية تفاصيل اضافية جديدة ، فى ذلك الجسم المكبر . ان زاوية الابصار لم تتغير ، حيث كان الرجل ينظر الى الفراشة بنفس زاوية الابصار بالذات ، دون ان يؤثر على ذلك وجودها على الرابية البعيدة ، ام على النافذة القريبة . وبما ان زاوية الابصار لا تتغير ، فان تكبير الجسم ، مهما ادهش مخيلتنا ، لن يجعلنا نعثر على اية تفاصيل جديدة ، تخص ذلك الجسم . وقد كان ادجار بو كفنان حقيقى مخلصا للطبيعة ، حتى فى هذه الفقرة من قصته . هل لاحظ القارئ كيف يصف ادجار بو « الوحش » فى الغابة ؟ ان قائمة الاعضاء المختلفة للحشرة ، لا تحتوى على اى شئ جديد ، يمكن اضافته الى « الرأس شبه الميت » ، الذى يبدو امام العين المجردة . واذا قارنا كلا الوصفين — اللذين لم يقدمهما المؤلف اعتباطا — لتأكدنا بانهما لا يختلفان الا من ناحية التعابير المجازية فقط (الصفائح المعدنية ذات القطر الذى يبلغ ١٠ اقدام — يقصد بها حراشف الفراشة ، والقرنان الهائلان — شارباها ، وانياب الخنزير — مجساتها ، الخ) ، مع عدم وجود اية تفاصيل جديدة فى الوصف الاول ، لا يمكن تمييزها بالعين المجردة . ولو كان تأثير



شكل ١٢٨ : ان العدسة تكبر الصورة الواقعة على شبكية العين .

الميكروسكوب ، محصورا فى مثل هذا النوع من التكبير فقط ، لكان عديم الفائدة من الناحية العلمية ، ولتحول الى مجرد لعبة مسلية فقط . ولكننا نعلم بان الامر ليس كذلك ، لان الميكروسكوب فتح امام الانسان عالما جديدا ، بتوسيع حدود بصرنا الطبيعى ، الى مدى بعيد .

والآن ، نستطيع ان ندرك بوضوح ، السبب الذى يجعل الميكروسكوب بالذات ، يرينا بعض التفاصيل ، التى لم تتضح لعينى ادجار بو ، عندما كان ينظر الى الوحش — الفراشة . ان هذا السبب (ونأتى الى خلاصة ما قلناه سابقا) يعود الى ان الميكروسكوب ، لا يقوم بمجرد تكبير الاجسام بالنسبة للعين ، ولكنه يجعل العين تراها بزاوية ابصار اكبر . ونتيجة لذلك ، تكبر ابعاد صورة الجسم ، الساقطة على شبكية العين ، وتغطى عددا اكبر من الخلايا البصرية ، وبذلك تضع امام وعينا ، كمية اكبر من الانطباعات البصرية المختلفة . ويمكن القول باختصار ، بان الميكروسكوب لا يكبر الاجسام ، بل يكبر صورها الساقطة على شبكية العين .

خداع البصر الذاتى

غالبا ما نتحدث عن « خداع البصر » و « خداع السمع » ، مع ان هذين التعبيرين غير صحيحين . ولم نسمع بوجود خداع الحواس . وقد عبر الفيلسوف « كينت » عن ذلك بدقة ، حين قال « ان الحواس لا تخدعنا مطلقا ، لا لانها تحكم على الاشياء حكما صحيحا دائما ، بل لانها لا تحكم على اى شئ بتاتا » .

اذن ، ما الذى يخدعنا ، عندما نعبر عن ذلك بقولنا « خداع الحواس » ؟ من البديهى ان الذى يحكم على الاشياء فى هذه الحالة ، اى الدماغ ، هو الذى

شكل ١٢٩ : اى الرسمين اعرض من الآخر ، الايمن ام الايسر ؟

شكل ١٣٠ : ايهما اكبر من الاخر ، ارتفاع الرسم ام عرضه ؟

يخدعنا . وفى الحقيقة ، فان اكثر حالات خداع البصر ، تعتمد كليا على اننا لا نكتفى بالنظر الى الاشياء فقط ، بل ونحكم عليها بلا وعى ، وهكذا ندفع انفسنا الى ارتكاب الخطأ ، بصورة لاارادية . وهذا هو الخداع الناتج عما نفكر باننا نراه او نسمعه ، لا خداع الحواس . وقبل الفى عام ، قال الشاعر لوكريتيوس : « ان اعيننا غير قادرة على ادراك طبيعة الاشياء ، ولذلك ، يجب علينا الا نتهمها فيما يصدر عنا من احكام خاطئة » .

ولنتناول احد الامثلة المعروفة لخداع البصر : ان الرسم الايسر من الشكل ١٢٩ ، يبدو اضيق من الرسم الايمن ، مع انهما قد حددا بمربعين متساويين تماما . ان سبب ذلك ، يعود الى ان تقديرنا لارتفاع الرسم الايمن ، يأتى نتيجة لجمع المسافات البينية المختلفة ، بلا وعى ، ولذلك يبدو لنا ذلك الارتفاع ، وكأنه اكبر من عرض نفس الرسم ، الذى يساويه تماما . وعلى العكس من ذلك ، ففى الرسم الايمن من نفس الشكل ، يبدو لنا بان العرض اكبر من الارتفاع ، وذلك نتيجة لنفس الحكم غير الواعى . ولنفس السبب السابق بالذات ، يبدو لنا ظاهريا ، بان ارتفاع الرسم المبين فى الشكل ١٣٠ ، اكبر من عرضه .

التخيل الذى يفيد الخياطين

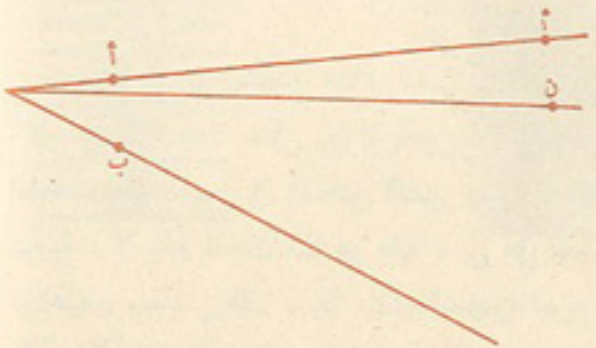
اذا اردنا ان نستخدم خداع البصر ، الذى وصفناه اعلاه ، بالنسبة لاجسام اكبر من الاولى ، لا يمكن رؤيتها بالعين دفعة واحدة ، فاننا لن نستطيع تحقيق هذه الغاية . ويعلم الجميع بان الشخص القصير البدين ، الذى يرتدى بدلة مخططة بخطوط عرضية ، لا يبدو انحف مما هو عليه ، بل على العكس من ذلك ، يبدو ابدن مما هو عليه . وبعكس ذلك ، اذا ارتدى الشخص البدين بدلة مخططة بخطوط طولية ، فانه يعمل بذلك على اظهار نفسه ، بشكل اقل بدانة مما هو عليه .

بماذا يفسر هذا التناقض ؟ ان تفسير ذلك يتلخص فى اننا عندما ننظر الى مثل هذه البدلة ، لا تستطيع عيوننا ان تستوعبها دفعة واحدة ، بدون ان تتحرك حدقاتها . وهكذا تقوم عيوننا ، بصورة لاارادية ، بتتبع تلك الخطوط على امتدادها ، عند ذلك تضطرنا جهود عضلات العين ، الى تكبير حجم الجسم باتجاه امتداد الخطوط المذكورة ، بلا وعى . وقد اعتدنا على ربط تصوراتنا للاجسام الكبيرة ، التى لا يتسع لها مجال ابصارنا ، بجهود عضلات العين . غير اننا عندما ننظر الى الرسم المخطط الصغير ، تبقى عيوننا ثابتة ، ولا تصاب عضلاتها بالاعياء .

ايهما اكبر ؟

اى الاهليلجين (القطعين الناقصين) ، المبينين فى الشكل ١٣١ ، اكبر من الاخر ، السفلى ام العلوى الداخلى ؟ من الصعب الا نفكر بان القطع الناقص السفلى ، هو الاكبر . مع ان كلا القطعين الناقصين ، متساويان تماما ، غير ان وجود القطع الناقص الخارجى ، المحيط بالقطع الناقص العلوى الداخلى ، يولد انطباعا لدى الناظر ، بان القطع الناقص العلوى الداخلى ، هو اصغر من القطع الناقص السفلى . ومما يزيد فى قوة هذا التخيل ، عدم ظهور الشكل باجمعه ، بصورة مسطحة ، وظهوره بصورة مجسمة ، على هيئة سطل . وتتحول الاهليلجات فى نظرنا — بصورة لاارادية

شكل ١٣١ : اى الاهليلجين اكبر من الآخر ، السفلى ام العلوى الداخل ؟



شكل ١٣٢ : اى البعدين اكبر من الاخر ، البعد ا ب ام البعد م ن ؟

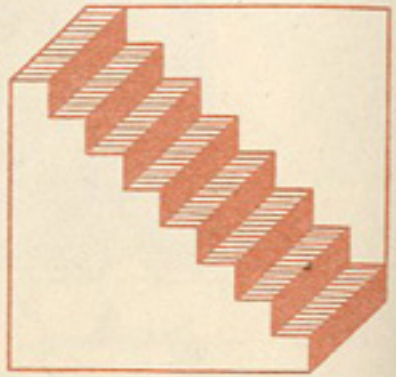
— الى دوائر مضغوطة بشكل مجسم ، اما الخطان الجانبيان المستقيمان ، فيتحولان الى جدران السطل .

ان المسافة الموجودة بين النقطتين أ و ب فى الشكل ١٣٢ ، تبدو للعين اكبر من المسافة الموجودة بين النقطتين م و ن . ان وجود الخط المستقيم الثالث ، الممتد من نفس النقطة الواحدة ، يساعد على تقوية خداع البصر .

قوة التخيل

ان اكثر حالات خداع البصر ، يعتمد كما ذكرنا سابقا ، على اننا لا نكتفى بالنظر فحسب ، بل ونحكم على الاشياء المنظورة فى نفس الوقت ، بلا وعى . ويؤكد علماء الفسيولوجيا « باننا لا ننظر الى الاشياء بأعيننا ، ولكن بعقولنا » . ولعل القارئ يتفق مع هذا الرأى ، عندما يشاهد بعض الصور ، التى تجعل مخيلة المشاهد تشترك فى عملية الابصار ، بوعى تام .

انظر الى الشكل ١٣٣ . اذا عرضت هذا الشكل على عدد من الاصدقاء ، وسألتهم عما يرونه فيه ، لحصلت على ثلاثة انواع من الاجوبة المختلفة . سيقول



شكل ١٣٣ : ما الذى يراه القارئ فى هذا الشكل ، هل هو سلم ام تجويف ام شريط مثنى على هيئة اكورديون ؟

شكل ١٣٤ : ما هى وضعية المكعبات فى هذا الشكل ، وأين هما المكعبان ، فى الاعلى أم فى الاسفل ؟

البعض بان الشكل المذكور يمثل سلّما ؛ ويقول البعض الاخر بانه يمثل تجويفا محفورا فى الجدار . اما الاخرون فسيقولون بانهم يرون فيه شريطا ورقيا ، مثنيا على هيئة اكورديون ، وممتدا عبر مربع ابيض ، بصورة مائلة .

ومن الغريب جدا ، ان نعلم بان الاجوبة الثلاثة ، كلها صحيحة ! وباستطاعة القارئ ان يرى بنفسه ، الاشياء الثلاثة المذكورة فى الاجابات ، اذا نظر الى الشكل من زواياه المختلفة ، وذلك بان يحاول قبل كل شئ ، ان يوجه نظرته الى القسم الايسر من الشكل ، حيث سيظهر امامه سلّم . واذا نظر الى الشكل من اليمين الى اليسار ، فسيرى تجويفا . اما اذا نظر الى الشكل بصورة مائلة ابتداء ، من الزاوية السفلى اليمنى الى الزاوية العليا اليسرى ، فسيرى شريطا ورقيا مثنيا على هيئة اكورديون .

وعند النظر لفترة طويلة ، يضعف الانتباه ، وسوف يرى القارئ فى هذه الحالة ، بان الاشكال الثلاثة ستتراءى امامه ، فمرة يرى الشكل الاول ، واخرى الشكل الثانى ، ثم الشكل الثالث ، وذلك بغض النظر عن رغبته . ويتميز الشكل ١٣٤ ، بنفس الميزات المذكورة اعلاه .

شكل ١٣٥ : اى طريق اطول من الآخر ، الطريق آب أم الطريق أ حـ ؟

ويمثل الشكل ١٣٥ ، خدعة بصرية طريفة ، حيث يجعل القارئ يؤكد بصورة لاارادية ، بان المسافة أ ب اقصر من أ حـ ، فى حين انهما فى الحقيقة متساويتان .

انواع اخرى من خداع البصر

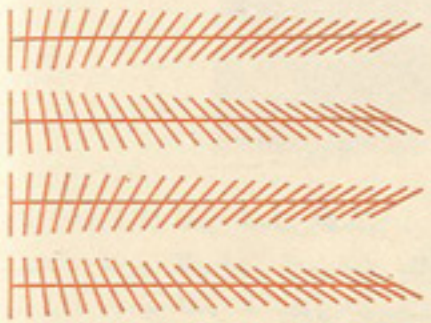
ليس باستطاعتنا تفسير جميع انواع خداع البصر . وفى اغلب الاحيان ، لا يمكننا ان نحزر ما هو نوع الاستنتاجات ، التى تتكون فى دماغنا ، وتجعله يتصور هذا النوع او ذاك ، من انواع خداع البصر . ويظهر فى الشكل ١٣٦ ، بكل وضوح ، قوسان متقابلا التحدب . ولا يشك احد فى جلية هذا الامر . ولكن ما ان نضع المسطرة المستقيمة على هذين القوسين الموهومين ، او ننظر اليهما طوليا ، مع رفع الشكل الى مستوى النظر ، الا ويتضح لنا بانهما مستقيمان . وليس تفسير هذه الخدعة البصرية سهلا كما يتصوره البعض .

شكل ١٣٦ : ان الخطين الوسطيين الممتدين من اليمين الى اليسار ، هما مستقيمان متوازيان بالرغم من مظهرهما الخارجى الذى يوحى بانهما قوسان متقابلا التحدب . ولكن هذه الخدعة البصرية تزول اذا قمنا بما يلى : ١ – رفع الشكل الى مستوى العين والنظر اليه بامتداد الخطين ؛ ٢ – وضع رأس القلم فى نقطة ما من الشكل المذكور ، وتركيز النظر فى تلك النقطة .

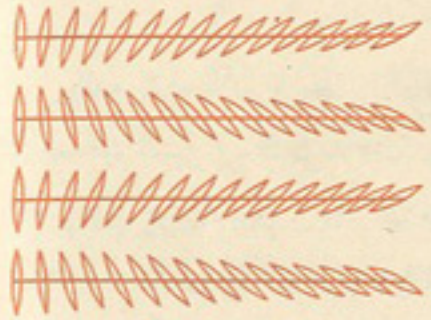
ونقدم للقراء الآن ، بعض الانواع الاخرى من خداع البصر . ان من ينظر الى المستقيم المبين فى الشكل ١٣٧ ، يتصور بان اقسامه الستة غير متساوية . ولكن بقياس اطوال هذه الاقسام ، نجد انها متساوية تماما . ان الخطوط المستقيمة المتوازية الاربعة ، المبينة فى الشكلين ١٣٨ و ١٣٩ ، تبدو غير متوازية بالنسبة للعين . والدائرة المبينة فى الشكل ١٤٠ ، تبدو وكأنها على شكل بيضة . ومن المدهش ان نلاحظ بان الخدع البصرية ، المبينة فى الاشكال ١٣٧ و١٣٨ و ١٣٩ ، تفقد مفعولها اذا نظرنا اليها على ضوء شرارة كهربائية . ويدل هذا على ان سر هذه الخدع ، يكمن فى حركة العين ، وذلك لان الوقت القصير جدا ، الذى يستغرقه وميض الشرارة الكهربائية ، لا يسمح بحدوث مثل هذه الحركة . وهذه خدعة بصرية اخرى ، لا تقل طرافة عن الخدع السابقة . اى الخطوط الموجودة فى الشكل ١٤١ ، اطول من الاخرى ، الخطوط الواقعة الى اليسار ام الخطوط الواقعة الى اليمين ؟

ان الخطوط الواقعة الى يسار الشكل ، تبدو اطول من تلك الواقعة الى يمينه ،

شكل ١٣٧ : هل ان هذا الخط المستقيم مقسم الى ستة اقسام متساوية ؟



شكل ١٣٨ : ان الخطوط المستقيمة المتوازية ، تبدوا وكأنها غير متوازية .



شكل ١٣٩ : نموذج آخر من الخدعة البصرية المبينة في الشكل ١٣٩ .

شكل ١٤٠ : اهذه دائرة ام لا ؟

شكل ١٤١ : الخدعة البصرية المسماة بـ « خدعة الغليون » . ان الخطوط اليمنى تبدوا في الشكل وكأنها اقصر من الخطوط اليسرى المساوية لها في الطول .

مع ان جميع الخطوط متساوية في الطول تماما * . وتسمى هذه الخدعة البصرية ، بخدعة « الغليون » .

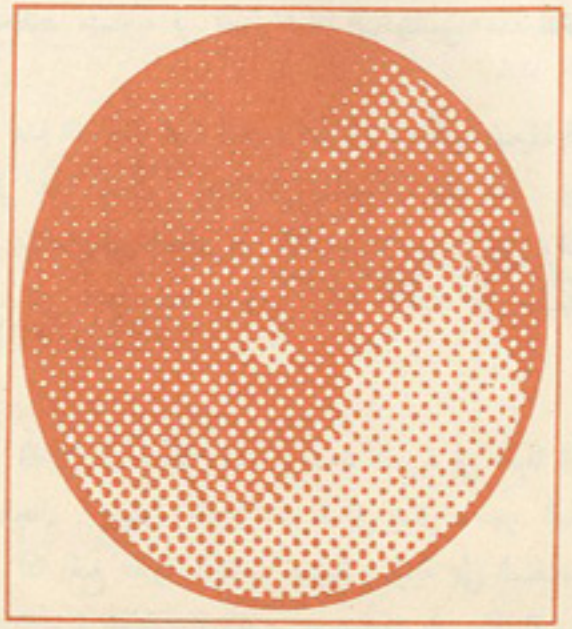
وقد ظهرت عدة تفسيرات لهذه الخدع الطريفة ، ولكنها ضعيفة الحجة ، وسوف لا نتعرض اليها في هذا البحث . وهناك شئ واضح لا شك فيه ، وهو ان سر هذه الخدع البصرية ، يكمن في الحكم على الاشياء بلا وعي ، وفي « الفلسفة الماكرة » اللاارادية لعقلنا ، التي تحول بيننا ، وبين رؤية الاشياء على حقيقتها .

ما هذا ؟

عندما ينظر القارئ الى الشكل ١٤٢ ، يجد صعوبة في معرفة الشئ الذي يمثله ذلك الشكل في الحال . وسيقول القارئ بان الشكل يمثل « مجرد شبكة سوداء ، لا اكثر » . ولكن ، اذا وضع القارئ الكتاب بصورة عمودية على المنضدة ، وابتعد عنه بمسافة تتراوح بين ٣ — ٤ خطوات ، فانه سيرى عينا بشرية . واذا اقترب من الشكل ، فسيرى مرة ثانية ، شبكة لا تعبر عن اى شئ .

وسيظن القارئ بطبيعة الحال ، بان هذا الشكل هو « خدعة » فنية ، من ابتكار نقاش حاذق . غير ان الامر ليس كذلك ، اذ ان الشكل المذكور يعتبر مثالا تقريبيا لتلك الخدعة البصرية ، التي نستسلم لها كلما ننظر الى ما يسمى بالصور ذات « اللون النصفي » — وهو لون ليس بالداكن جدا ولا بالفاتح جدا . ان خلفية الصور المطبوعة في الكتب والمجلات ، تبدو للعين متراصة دائما ، ولكن عندما ننظر اليها من خلال عدسة مكبرة ، تظهر امامنا نفس الشبكة المبينة في الشكل ١٤٢ . ان هذا الشكل الذي يحير القارئ ، ما هو الا عبارة عن جزء من صورة عادية ، تم تكبيره بمقدار ١٠ مرات . ويتمثل الفرق في شئ واحد فقط ، هو انه عندما تكون الشبكة ناعمة ، فانها تندمج في خلفية واحدة متراصة ، على مسافة قريبة ، تساوى المسافة

* ان هذا الشكل يعتبر بمثابة ايضاح للمبدأ الهندسي المعروف، الذي ينص على ان مساحتي قسمي الغليون ، متساويتان .



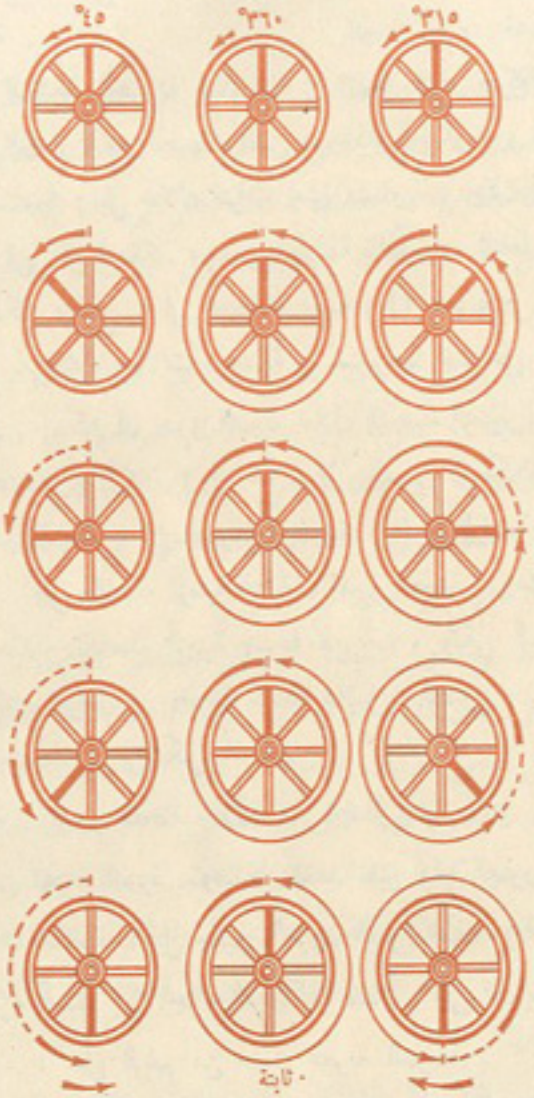
شكل ١٤٢ : اذا نظرنا الى هذه الشبكة من مسافة بعيدة نوعا ما ، لاستطعنا بسهولة ان نميز فيها الطرف الايمن لوجه امرأة مع العين وجزء من الانف .

التى نبعد بها الكتاب عن اعيننا عند القراءة . اما عندما تكون الشبكة خشنة ، فان الاندماج المذكور يتم على مسافة ابعد . ويستطيع القارئ ان يفهم كل ما ذكرناه بسهولة ، اذا عاد بذاكرته الى مناقشاتنا السابقة ، المتعلقة بزاوية الابصار .

العجلات الشاذة

هل حدث وان تتبع القارئ ، من خلال شق فى الجدار ، او على شاشة السينما ، حركة براميق عجلات احدى العربات المنطلقة بسرعة ؟

لعل القارئ قد لاحظ فى هذه الحالة ، ظاهرة غريبة ، وهى ان العربة تتحرك بسرعة كبيرة جدا ، بينما تتحرك عجلاتها بصعوبة ، او لا تتحرك بتاتا . وبالاضافة الى ذلك ، فان حركة العجلات فى بعض الاحيان تكون بعكس اتجاه العربة بالذات !



شكل ١٤٣ : سبب الحركة الغامضة للعجلات كما تظهر على شاشة السينما .

ان هذه الخدعة البصرية ، شاذة الى درجة تجعل كل من يشاهدها لاول مرة ، يقع فى حيرة تامة .

وتفسر هذه الخدعة البصرية بما يلى : عندما نتتبع حركة دوران العجلات من خلال شق فى الجدار (مع تحريك العين بمحاذاة الجدار) ، فاننا لا نرى براءق العجلات بصورة مستمرة ، بل خلال فترات زمنية متساوية ، وذلك لان الجدار يحول دون ان تراها العين فى كل لحظة . وبنفس الطريقة بالذات ، تلتقط الافلام السينمائية صور العجلات بشكل متقطع ، فى لحظات معينة (٢٤ صورة فى الثانية الواحدة) . وتنشأ نتيجة لذلك ، ثلاث حالات محتملة ، سنشرحها هنا على التوالى .

الحالة الاولى : يمكن ان تدور العجلة خلال الفاصلة الزمنية ، دورات كاملة ، بغض النظر عن عددها ، أكان ٢ ام ٢٠ — لان المهم ان يكون عددا صحيحا . وعندئذ ستأخذ براءق العجلة ، فى الصورة الجديدة ، نفس الوضعية التى كانت عليها فى الصورة السابقة . وفى الفاصلة الزمنية التالية ، تدور العجلة دورات كاملة من جديد (مع عدم تغير مقدار الفاصلة الزمنية وسرعة العربة) ، وتبقى البراءق على وضعيتها السابقة . وعندما نرى البراءق فى وضعية واحدة دائما ، نتصور بان العجلة لا تتحرك مطلقا (العمود المتوسط فى الشكل ١٤٣) .

الحالة الثانية : تدور العجلة خلال كل فاصلة زمنية عددا كاملا من الدورات مع جزء ضئيل من اجزاء الدورة . وعندما نشاهد تغير هذه الصور ، فاننا سوف لا نشعر بعدد الدورات الكاملة ، بل سنرى الدوران البطئ للعجلة (التى تدور فى كل مرة ، بمقدار جزء ضئيل من اجزاء الدورة الواحدة) . وفى النهاية ، يبدو لنا بان العجلة تدور ببطء ، على الرغم من حركة العربة السريعة .

الحالة الثالثة : تدور العجلة خلال الفاصلة الزمنية بين الصور ، دورة غير كاملة ، تختلف عن الدورة الكاملة بمقدار قليل (مثلا تدور بزاوية قدرها ٣١٥ ، كما هو مبين فى العمود الثالث من الشكل ١٤٣) . وعندئذ سيبدو لنا بان احد البراءق

بالذات ، يدور فى الاتجاه المعاكس . ويبقى هذا الانطباع الخادع عالقا فى مخيلتنا ، الى ان تتغير سرعة دوران العجلة .

ونضيف الآن بعض الملاحظات القليلة ، الى التفسير المذكور اعلاه . فى الحالة الاولى ، تحدثنا — لتبسيط الشرح — عن عدد الدورات الكاملة للعجلة . ولكن بما ان براءق العجلة متشابهة مع بعضها ، اذن يكفى فى هذه الحالة ، ان تدور العجلة بمقدار عدد كامل من المسافات الموجودة بين البراءق . وينطبق هذا الشئ على الحالتين الاخريين ايضا .

وبالاضافة الى ذلك ، توجد بعض الحالات الطريفة الاخرى . اذا وضعت اشارة على اطار العجلة ، فسوف نرى بان الاطار سيتحرك فى اتجاه معين ، بينما تتحرك البراءق — المتشابهة مع بعضها — فى الاتجاه المعاكس ! واذا وضعنا علامة على احد البراءق ، فسوف نرى بان البراءق ستتحرك فى الاتجاه المعاكس للعلامة التى ستبدو وكأنها تقفز من برءق الى آخر .

وعندما نشاهد فى دور السينما ، بعض المناظر العادية ، فان هذه الخدعة البصرية لا تؤثر على عمق الانطباع المتكون لدينا ، الا بقدر ضئيل . اما اذا اريد شرح كيفية تشغيل بعض الاليات المعينة ، على شاشة السينما ، فان هذه الخدعة البصرية ، قد تحدث سوء فهم لدى المشاهدين ، حتى انها قد تشوه الفكرة التى سيأخذها البعض ، عن كيفية اشتغال تلك الاليات . وعندما يشاهد الانسان اليقظ ، العجلة الثابتة الموهومة للعربة المنطلقة بسرعة ، على شاشة السينما ، فانه يستطيع بسهولة ان يعرف الى حد ما ، عدد الدورات التى تدورها العجلة فى الثانية الواحدة ، وذلك باحصاء عدد براءقها .

ان سرعة عرض الفلم على الشاشة ، تقدر عادة بـ ٢٤ صورة فى الثانية الواحدة . فاذا بلغ عدد براءق عجلة العربة ، ١٢ برءقا ، فان عدد دوراتها فى الثانية الواحدة ، يساوى $\frac{٢٤}{١٢}$ ، اى يساوى دورتين فى الثانية ، او دورة واحدة فى كل نصف ثانية .

وهذا هو اقل عدد من الدورات ؛ ويمكن ان يتضاعف بعدد كامل من المرات (مرتان او ثلاثة .. الخ) . وبتقدير طول قطر العجلة ، يمكن ان نقدر سرعة العربة بناء على ذلك . مثلا ، عندما يبلغ قطر العجلة ٨٠ سم ، تقدر السرعة فى هذه الحالة بـ ١٨ كم/ساعة تقريبا (او ٣٦ كم/ساعة او ٥٤ كم/ساعة .. الخ). ان الخدعة البصرية التى بحثناها الآن، تستخدم فى الاغراض التكنيكية، لحساب عدد دورات اعمدة الادارة (المحاور) السريعة الدوران. وسنشرح فيما يلى، المبدأ الذى تقوم عليه طريقة الحساب . ان قوة اضاءة المصباح الكهربائى ، الذى يعمل على التيار المتردد ، لا تبقى ثابتة ، حيث يضعف الضوء خلال كل $\frac{1}{100}$ من الثانية ، مع اننا فى الظروف العادية ، لا نلاحظ اية ومضة . ولكن ، لنتصور باننا اضأنا قرصا يدور ، بهذا الضوء ، وهو القرص المبين فى الشكل ١٤٤ . فاذا كان القرص يدور ، بحيث يقوم بـ $\frac{1}{4}$ دورة فى كل $\frac{1}{100}$ من الثانية ، فسوف نلاحظ ظاهرة غير متوقعة ، وهى اننا نرى بدلا من القرص الرمادى المنتظم ، قطاعات سوداء وبيضاء ، كما لو كان القرص ثابتا فى مكانه ولا يدور .

شكل ١٤٤ : قرص يستخدم لتعيين سرعة دوران المحرك .

ان القارئ الذى ادرك سبب الخدعة البصرية ، التى صادفتنا فى حالة العجلة ، سيدرك ايضا سبب هذه الظاهرة كما اتوقع . ومن السهل عليه كذلك ، ان يعرف كيفية استخدام هذه الظاهرة ، لحساب عدد دورات عمود الادارة .

استخدام الميكروسكوب البطىء الحركة فى التكنولوجيا

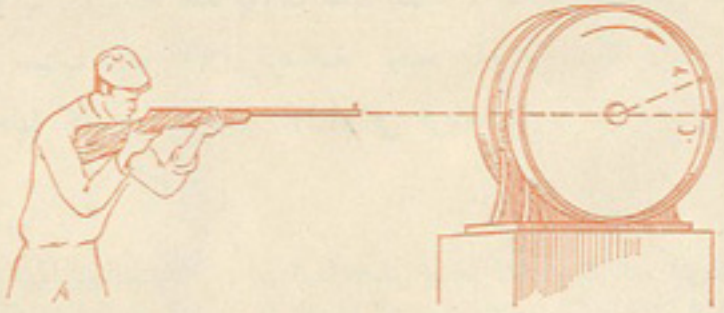
لقد شرحنا للقارئ فى الكتاب الاول من « الفيزياء المسلية » آلة التصوير السينمائية البطيئة الحركة . وسنتحدث الان عن طريقة اخرى للحصول على نفس التأثير ، تستند الى الظاهرة التى شرحناها فى الموضوع السابق .

لقد سبق وعلمنا ، بانه عند اضاءة القرص ذى القطاعات السوداء (شكل ١٤٤) ، الذى يدور ٢٥ دورة فى الثانية ، بمئة ومضة من ومضات المصباح الكهربائى فى كل ثانية ، فانه سيبدو للعين وكأنه ثابت لا يدور . ولكن لنتصور بان عدد الومضات قد وصل الى ١٠١ ومضة فى الثانية . وفى خلال الفاصلة الزمنية ، الواقعة بين ومضتين متتاليتين من هذا النوع ، لا يتسنى للقرص ، الوقت اللازم للدوران كالسابق ، بمقدار ربع دورة بالتمام ، وهذا يعنى ان القطاع المناظر ، سوف لا يصل الى وضعيته الابتدائية .

ان العين سترى القرص متأخرا بمقدار $\frac{1}{100}$ من محيطه . وعند الومضة التالية ، سيبدو متأخرا بمقدار $\frac{1}{100}$ ايضا وهلم جرا . وسوف يتهيا لنا بان القرص يدور الى الوراء ، دورة واحدة فى كل ثانية . اى ان الحركة قد ابطأت بمقدار ٢٥ مرة .

ومن السهل ان نتصور كيف يمكننا ان نرى نفس الحركة الدورانية البطيئة ، ولكن ليس فى الاتجاه المعاكس ، بل فى الاتجاه الطبيعى . ولتحقيق ذلك ، يجب الا نزيد عدد ومضات الضوء ، بل نقلله . مثلا ، عندما يصل العدد المذكور الى ٩٩ ومضة فى الثانية ، يبدو القرص وكأنه يدور الى الامام ، دورة واحدة فى كل ثانية .

ويكون لدينا فى هذه الحالة ، ميكروسكوب بطئ الحركة ، بتعوق زمنى يساوى ٢٥ . ولكن باستطاعتنا تماما ، الحصول على تعوق زمنى اكبر . مثلا ، اذا وصل



شكل ١٤٥ : قياس سرعة انطلاق الرصاصة .

عدد الومضات الى ٩٩٩ ومضة فى كل عشر ثوان (اى ٩٩,٩ ومضة فى الثانية) ، فسوف يبدو القرص ، وكأنه يدور دورة واحدة فى كل ١٠ ثوان ؛ اى بتعوق زمنى يساوى ٢٥٠ .

ويمكن ابطاء اية حركة دورانية سريعة ، بالنسبة للعين ، بنفس الطريقة السابقة ، وذلك الى الدرجة التى نريدها . وهذا يمكننا بسهولة ، من دراسة خواص حركة الاليات السريعة للغاية ، بابطاء حركتها بواسطة ميكروسكوب الحركة البطيئة الى ١٠٠ او ١٠٠٠ مرة وهلم جرا* .

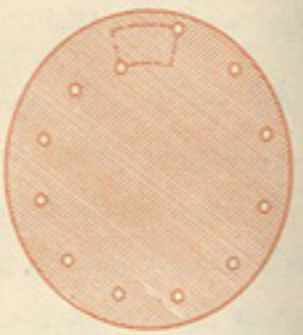
واخيرا ، سوف نأتى على وصف طريقة قياس سرعة انطلاق الرصاصة ، وهى الطريقة المبنية على اساس امكانية تعيين عدد دورات القرص الدوار بصورة مضبوطة . وتتلخص هذه الطريقة فى تركيب قرص من الورق المقوى على عمود ادارة (محور) سريع الدوران ، ويجب ان يحتوى القرص على قطاعات سوداء اللون ، وتكون حافاته محنية ، بحيث يصبح القرص على شكل علبة اسطوانية مفتوحة (شكل ١٤٥) . ان الرامى يطلق الرصاصة على امتداد قطر العلبة الاسطوانية ، ويثقب جدارها فى نقطتين . فلو كانت العلبة ثابتة ، لوقع الثقبان على طرفى قطر واحد فقط . ولكن العلبة كانت تدور ، وفى الوقت الذى استغرقته الرصاصة فى طيرانها من طرف الى آخر ، دارت العلبة قليلا ، الامر الذى جعل الرصاصة تثقب الجدار فى النقطة ح ، بدلا من ثقبه فى النقطة ب . وبمعرفة عدد دورات العلبة وقطرها ، يمكننا استنادا الى طول القوس ب ح ، حساب سرعة انطلاق الرصاصة . وهذه عبارة عن مسألة هندسية بسيطة ، يستطيع حلها كل من له بعض الالمام فى الرياضيات .

---

* ان المبدأ الذى بحثناه الآن ، هو المبدأ الاساسى لصناعة الاستروبوسكوبات ، التى تستخدم عمليا لقياس تردد العمليات السريعة التعاقب . ان القياسات التى تعطيها الاستروبوسكوبات ، دقيقة الى حد بعيد للغاية (مثلا ، تصل دقة القياس بواسطة الاستروبوسكوب الالكترونى ، الى حد ٠,٠٠١ ٪) .

ان ما يسمى بقرص نيبكوف ، الذى استخدم فى اجهزة التلفزيون الاولية ، كان بمثابة حالة رائعة من حالات الاستفادة من خداع البصر للاغراض الصناعية . ويرى القارئ فى الشكل ١٤٦ ، قرصا صلبا ، يوجد عند حوافه ١٢ ثقبا صغيرا ، قطر كل منها يساوى ٢ مم . وهذه الثقوب موزعة بصورة منتظمة على خط حلزونى ، وكل ثقب اقرب الى المركز من الثقب المجاور ، بمسافة تساوى ٢ مم . والان نركب هذا القرص على محور ما ، ونضع امامه نافذة صغيرة ، وخلفه صورة بنفس حجم النافذة (شكل ١٤٧) . واذا ادرنا القرص بسرعة ، فسوف نرى ظاهرة غير متوقعة ، وهى ان الصورة المحجوبة وراء القرص غير المتحرك ، تظهر بوضوح من خلال النافذة الامامية ، وذلك عند دوران القرص بسرعة . واذا قللنا من سرعة الدوران ، تصبح الصورة غامضة الملامح . اما اذا اوقفنا القرص عن الدوران ، فسوف تختفى الصورة تماما ، ولا يبقى منها الا ما يمكن رؤيته من خلال الثقب الصغير ، الذى يبلغ قطره ٢ مم .

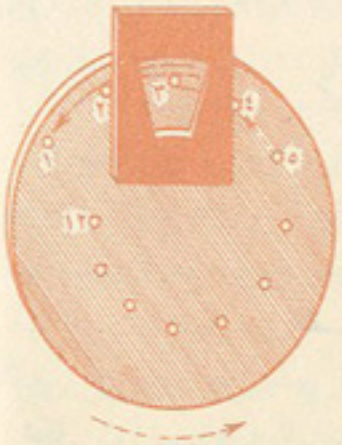
والآن لنبحث سر التأثير المحير لهذا القرص . وسوف نبدأ بتدوير القرص ببطء ، ونتتبع مرور كل ثقب من الثقوب بالتعاقب ، من وراء النافذة الصغيرة . ان ابعد



شكل ١٤٦

شكل ١٤٧

ثقب عن المركز ، يمر بقرب الحافة العليا للنافذة . فاذا كانت الحركة سريعة ، فسوف ترينا النافذة ، ذلك الشريط الكامل من الصورة ، الملاصق لحافتها العليا . والثقب الثانى ، الواقع تحت الثقب الاول ، سيفتح امام النافذة — عند الدوران السريع — مجالا يرينا الشريط الثانى من الصورة ، وهو الشريط المتاخم للشريط الاول (شكل ١٤٨) . والثقب الثالث سيجعلنا نرى الشريط الثالث ، من الصورة ، وهلم جرا . وعند حركة القرص الدورانية السريعة ، تصبح الصورة — بفضل ذلك — واضحة المعالم برمتها ، وكأن ذلك الجزء من القرص ، الواقع امام النافذة الصغيرة ، قد اقتطع منه ، بحيث ظهرت الصورة واضحة تماما



شكل ١٤٨

ويستطيع القارئ بسهولة ، ان يقوم باعداد قرص نيبكوف بنفسه . والحصول على الحركة الدورانية السريعة ، يمكن استخدام خيط عادى ، وذلك بلفه على محور القرص . ولكن من الافضل بطبيعة الحال ، استخدام محرك كهربائى .

لماذا خلق الارنب احول ؟

يعتبر الانسان من المخلوقات القليلة ، التى تتمتع بعينين يمكنهما النظر فى آن واحد الى اى جسم من الاجسام . ان مجال الابصار الخاص بالعين اليمنى ، لا يختلف الا قليلا عن مجال الابصار الخاص بالعين اليسرى .

ان معظم الحيوانات تنظر بكل عين على حدة . والاشياء التى تراها ، لا تمتاز بنفس الصورة المجسمة ، التى اعتدنا ان نراها باعيننا ، غير ان مجال ابصارها ، اوسع بكثير من مجال ابصارنا .

ويمثل الشكل ١٤٩ ، مجال الابصار عند الانسان . ان كل عين تستطيع الرؤية — فى الاتجاه الافقى — فى حدود الزاوية ١٢٠ ، وكلتا الزاويتين ، تغطيان بعضهما البعض تقريبا (على فرض عدم تحرك العينين) .

ولنقارن هذا الشكل مع الشكل ١٥٠ ، الذى يمثل مجال الابصار عند الارنب . ان الارنب ، بدون ان يدير رأسه ، يرى بعينيه المتباعدتين ، ليس كل ما يقع امامه من اشياء فحسب ، بل وما يقع منها وراءه . ان كلا مجالى ابصار عينيه يندمجان مع بعضهما من الامام ومن الخلف ! والآن اصبح مفهوما لدى القارئ ، لماذا يصعب على الانسان الاقتراب من الارنب خفية ، دون ان يجعله ينفر منه . غير ان الارنب ، كما يتضح من الشكل ، لا يرى مطلقا كل ما يقع بقرب وجهه مباشرة . ولكى يرى الاجسام القريبة جدا ، فانه يدير رأسه الى احد الجوانب .

ان جميع الحيوانات ذات الحوافر والحيوانات المجترة بدون استثناء — وذلك على وجه التقريب — تتمتع بخاصية « الابصار الشامل » . ويمثل الشكل ١٥١ ترتيب مجالى الابصار عند الحصان . انهما لا يتشابهان من الوراء ، ولكن اذا ادار الحصان رأسه قليلا ، فانه يستطيع رؤية الاجسام الواقعة وراءه . ولكن الاجسام المنظورة فى هذه الحالة ، لا تكون واضحة جدا ، غير ان الحصان ينتبه الى اقل حركة تحدث وراءه ، ضمن دائرة واسعة النطاق . ان الوحوش الضارية ، التى تكون البادئة فى الهجوم عادة ، محرومة من هذه الخاصية ، التى تمكنها من الرؤية الشاملة لما حولها . غير انها تتمتع بابصار — بالعينين — يساعدها على تقدير مسافة القفزة ، بكل دقة .

لماذا تبدو القطط رمادية اللون فى الظلام ؟

قد يجيب الفيزيائى على ذلك بقوله : « ان جميع القطط تبدو سوداء اللون فى الظلام ، لانه عند عدم وجود اى ضوء ، تبدو كافة الاشياء على الاطلاق ، سوداء اللون » . الا ان هذا لا يعنى وجود ظلام دامس ، بل ظلام بالمعنى الدارج ، اى وجود اضاءة ضعيفة للغاية . ولكن المثل يقول بالضبط : ان جميع القطط تبدو فى الليل ،

شكل ١٤٩ : مجال ابصار عيني الانسان .

شكل ١٥٠ : مجال ابصار عيني الارنب .

شكل ١٥١ : مجال ابصار عيني الحصان .

رمادية اللون . ان المعنى الابتدائي غير المجازي لهذا المثل ، يتلخص في ان عين الانسان ، عند وجود اضاءة ضعيفة ، تعجز عن تمييز الالوان ، بحيث تبدو امامها الاشياء ، وكأنها رمادية اللون .

هل هذا صحيح يا ترى ؟ وهل يصح القول بان العلم الاحمر والاوراق الخضراء ، تبدو في الظلام الخفيف ، بلون رمادي واحد ؟

يمكننا بسهولة ان نقتنع بصحة هذا القول . ان كل من لاحظ الوان الاجسام عند الغسق ، لا بد وانه قد ادرك بان الفروق بين الالوان تختفي ، وتبدو الاجسام جميعها ، وكأنها مصبوغة باللون الرمادي الداكن ، بدرجات متفاوتة ، بما في ذلك اللحاف الاحمر وورق الجدران الازرق والازهار البنفسجية والاوراق الخضراء .

ونقرأ الفقرة التالية ، الواردة في قصة « رسالة » ، للكاتب الروسي الشهير تشيخوف : « ولم تصل اشعة الشمس الى هذا المكان ، من خلال الستائر المسدلة ، وقد كان الجو معتما هنا ، بحيث بدت جميع الازهار الموجودة في الباقة ، بلون واحد فقط » .

ان التجارب الفيزيائية الدقيقة ، تثبت صحة هذه الملاحظة تماما . واذا اضأنا السطوح الملونة ، بضوء ابيض خافت (او اضأنا السطوح البيضاء ، بضوء ملون خافت) ، مع تقوية الاضاءة تدريجيا ، فان العين سترى في البداية مجرد لون رمادي ،

بدون اي تدرج معين في ذلك اللون . وعندما تصبح الاضاءة اقوى ، الى حد ما ، ترى العين في هذه الحالة ، بان ذلك السطح ملون . وتسمى درجة الاضاءة هذه ، بـ « المشرف الادنى للاحساس باللون » .

وهكذا نرى بان المعنى الحرفي والصحيح تماما ، لهذا المثل السائد في كثير من اللغات ، يتلخص في ان جميع الاجسام تبدو وكأنها رمادية اللون ، عندما تقع تحت « المشرف الادنى للاحساس باللون » . وعندما تكون الاضاءة قوية للغاية ، فان العين تعجز ثانية عن تمييز ظلال الالوان ، حيث تبدو جميع السطوح الملونة ، وكأنها بيضاء بدرجة متساوية .

هل هناك وجود للاشعة المبردة ؟

هناك فكرة منتشرة ، مفادها الاعتقاد بوجود اشعة مبردة ، الى جانب الاشعة المدفئة . وقد استشهد اصحاب هذه الفكرة ، بحقيقة تؤكد ما يدعونه ، وهي ان قطعة الجليد تبعث البرودة فيما حولها ، تماما مثلما يبعث الموقد الحرارة فيما حوله . ألا يؤكد ذلك ، بان الاشعة المبردة تنبعث من قطعة الجليد ، كما تنبعث الاشعة المدفئة من الموقد ؟

من الخطأ ان يدور نقاش بمثل هذا الموضوع ، اذ لا وجود للاشعة المبردة . ان الاشياء القريبة من الجليد ، تصبح باردة ليس نتيجة لتأثير « الاشعة المبردة » ، بل لان الاجسام الدافئة ، تفقد نتيجة للاشعاع الحراري ، كمية من الحرارة ، اكبر من الكمية التي تصلها . ولما كانت كمية الحرارة الخارجة من الجسم ، اكبر من كمية الحرارة الداخلة اليه ، فان ذلك الجسم يجب ان يبرد .

وهناك تجربة فعالة ، يمكنها كذلك ان تحثنا على التفكير بوجود الاشعة المبردة . وتتلخص التجربة فيما يلي : توضع مرآتان مقعرتان كبيرتان ، على جدارين متقابلين ، من جدران احدى القاعات الطويلة . فاذا وضعنا بقرب احدى المرآتين ، في المحل الذي يسمى بـ « البؤرة » ، مصدرا قويا للحرارة ، فان الاشعة الحرارية المنبعثة عنه ،

تنعكس فى هذه المرآة ، وتذهب الى المرآة الثانية ، حيث تنعكس مرة ثانية ، وتتركز فى بؤرتها . ولو وضعنا قطعة سوداء من الورق فى هذا المكان ، لرأيناها تحترق فى الحال . وهذا مثال واضح للعين ، يؤكد وجود الاشعة المدفئة . ولكن اذا وضعنا عوضا عن مصدر الحرارة ، الموجود فى بؤرة المرآة الاولى ، قطعة من الجليد ، سنرى بان الترمومتر الموجود فى بؤرة المرآة الثانية ، سيشير الى وجود انخفاض فى درجة حرارة ذلك المكان . ولكن هل هذا يعنى ان قطعة الجليد قد بعثت اشعة باردة ، انعكست على المراة ، وتركزت فى بصلة الترمومتر ؟

بالطبع لا ، فى هذه الحالة يمكن تفسير هذه الظاهرة ، بدون حشر الاشعة الباردة المبهمة ، فى هذا الموضوع . ان بصلة الترمومتر ، تزود قطعة الجليد — عن طريق الاشعاع — بكمية من الحرارة ، اكبر من الكمية التى تأخذها من تلك القطعة ، ولذا يبرد الزئبق الموجود فى داخلها . وهكذا نرى بانه فى هذه الحالة ايضا ، لا يوجد اى سبب يجعلنا نعتقد بوجود الاشعة المبردة . وفى الحقيقة ، لا وجود للاشعة المبردة فى الطبيعة مطلقا ، لان كافة انواع الاشعة ، تزود الجسم الذى يمتصها ، بالطاقة . وعلى العكس من ذلك ، فان الاجسام التى تبعث الاشعة ، تبرد بالذات .

الفصل العاشر | الصوت والحركة الموجية

الصوت والموجات اللاسلكية

ان الصوت ينتشر بسرعة تقل عن سرعة انتشار الضوء ، بمليون مرة تقريبا ؛ وبما ان سرعة الموجات اللاسلكية ، تنطبق مع سرعة انتشار الذبذبات الضوئية ، لذا فان سرعة الصوت تقل عن سرعة الاشارة اللاسلكية ، بمليون مرة . ونخرج من ذلك بنتيجة مدهشة ، تتضح حقيقتها بالمسألة التالية :

من الذى يسمع اول نغم يعزفه الموسيقى على البيانو ؛ أهو المستمع الجالس فى قاعة الموسيقى على بعد ١٠ م من البيانو ، ام هو المستمع الذى يصغى الى الانغام التى يعزفها الموسيقى ، عن طريق جهاز الراديو الموجود فى شقته الواقعة على بعد ١٠٠ كم من قاعة الموسيقى ؟

من المدهش حقا ، ان نعرف بان صاحب جهاز الراديو ، يسمع النغم قبلما يسمعه الشخص الجالس فى قاعة الموسيقى ، على الرغم من ان بعد الشخص الاول عن البيانو ، اكثر من بعد الشخص الثانى عنه بـ ١٠٠٠٠ مرة . وفى الواقع ، فان الموجات اللاسلكية ، تقطع مسافة ١٠٠ كم ، فى زمن يساوى :

$$\frac{١٠٠}{٣٠٠٠٠٠} = \frac{١}{٣٠٠٠} \text{ ثانية .}$$

اما الصوت فيقطع مسافة ١٠ م فى زمن يساوى :

$$\frac{١٠}{٣٤٠} = \frac{١}{٣٤} \text{ ثانية .}$$

ويتضح من هنا ، ان بث الصوت بواسطة الراديو ، يحتاج الى زمن يقل بمئة مرة ، عن الزمن اللازم لبث الصوت عبر الهواء .

الصوت والرصاصة

عندما طار ركاب قذيفة جول فيرن الى القمر ، تملكتهم الحيرة لعدم قذفهم من فوهته . وكان من الطبيعى ان يحدث ذلك دون سواه . فمهما كان صوت اطلاقة المدفع داويا ، فلن تبلغ سرعته (كأى صوت آخر ينتقل فى الهواء ، بصورة عامة) ، سوى ٣٤٠ م/ثانية. اما القذيفة فقد انطلقت بسرعة ١١٠٠٠ م/ثانية . ومن هنا يتضح سبب عدم وصول صوت القذيفة الى آذان الركاب ، حيث ان القذيفة كانت اسرع من الصوت * .

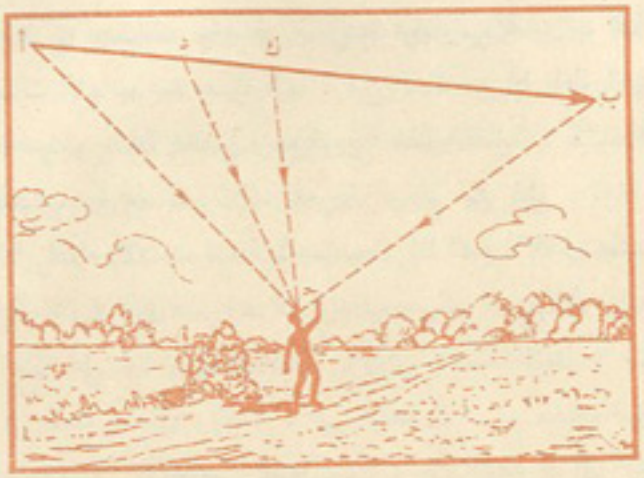
ولكن ماذا يحدث للقذائف والرصاصات الحقيقية ؛ هل تنطلق بسرعة تفوق سرعة الصوت ، ام على العكس من ذلك ، يكون الصوت اسرع منها ، حيث يسبقها ليحذر الضحية من خطرها المميت ؟

ان البندقية الحديثة ، تكسب الرصاصة عند انطلاقها ، سرعة تزيد على سرعة الصوت فى الهواء ، بثلاث مرات تقريبا — حوالى ٩٠٠ م/ثانية (ان سرعة الصوت عند درجة الصفر المئوية ، تساوى ٣٣٢م/ ثانية) . وفى الحقيقة ، ان الصوت ينتشر بسرعة منتظمة . اما الرصاصة ، فتطير وتقلل من سرعتها بالتدريج . ولكن الرصاصة تقطع معظم طريقها المقرر ، وهى منطلقة بسرعة تفوق سرعة الصوت . والنتيجة المباشرة التى نستخلصها من ذلك ، هى اننا اذا سمعنا صوت الرماية او ازيز الرصاصة ، فيمكننا ان نطمئن . ذلك لان هذه الرصاصة قد اخطأتنا . ان الرصاصة تسبق الصوت الناجم عن رمايتها ، فاذا اصابت الرصاصة ضحيتها وقضت عليها ، فان هذه الضحية تكون قد فارقت الحياة ، قبل ان تسمع صوت الرصاصة المنطلقة .

الانفجار الموهوم

ان سباق السرعة بين الاجسام المنطلقة ، والصوت الناجم عن انطلاقها ، يجعلنا احيانا ندلى بآراء خاطئة ، لا تتفق بتاتا مع الصورة الحقيقية للظاهرة التى تواجهنا .

* ان سرعة الكثير من الطائرات الحديثة ، تفوق سرعة الصوت الى حد كبير .



شكل ١٥٢ : الانفجار الموهوم للشهاب المتفجر .

واطرف مثال على ذلك ، هى الكرة النارية (او قذيفة المدفع) ، المنطلقة الى علو شاهق فوق رؤوسنا . ان النيازك الكبيرة (الشهب المتفجرة) ، التى تخترق جو الكرة الارضية ، قادمة من الفضاء الكونى ، تكون لها سرعة هائلة . وبالرغم من الانخفاض الذى طرأ على هذه السرعة ، نتيجة لمقاومة الهواء ، فانها مع ذلك تزيد على سرعة الصوت بعشرات المرات .

عند اختراق الشهب المتفجرة للهواء ، فانها كثيرا ما تحدث صوتا ، يشبه صوت الرعد . ليتصور القارئ انه موجود فى النقطة حـ (شكل ١٥٢) ، وفوقه ينطلق شهاب متفجر ، باتجاه الخط أ ب . ان الصوت الناتج عن الشهاب فى النقطة أ ، لا يصل الى القارئ (الموجود فى النقطة حـ) ، الا بعد ان ينتقل الشهاب الى النقطة ب . ولما كانت سرعة انطلاق الشهاب ، اكبر من سرعة الصوت بكثير ، فانه يستطيع الوصول الى نقطة معينة د ، ويبعث منها صوته ، الذى يصل الى اذن القارئ ، قبل ان يصلها الصوت الذى بعثه من النقطة أ . ولهذا ، فان القارئ سيسمع فى البداية ، الصوت المنبعث من النقطة د ، وبعده يسمع الصوت المنبعث من النقطة أ . وبما ان الصوت المنبعث من النقطة ب ، سيصل الى اذن القارئ ، بعد وصول الصوت المنبعث من النقطة

د كذلك ، اذن ، يجب ان توجد فى محل ما فوق رأس القارئ ، نقطة معينة ك ، ينبعث منها صوت الشهاب عند وصوله اليها ، قبل انبعاثه من اية نقطة اخرى . ويستطيع هواة علم الرياضيات ، ان يحسبوا ويعينوا موقع هذه النقطة اذا كانت العلاقة المعينة بين سرعة الشهاب وسرعة الصوت ، معروفة لديهم من قبل .

ونقدم الى القراء الان ، نتيجة الحساب : ان الصوت الذى سنسمعه ، سوف لا يكون مطابقا للشيء الذى سنراه . ان الشهاب سيبدو للعين لاول مرة ، فى النقطة ا ، وينطلق منها على امتداد الخط أ ب . ولكن بالنسبة للاذن ، سيظهر الشهاب لاول مرة ، فى نقطة ما فوق رؤوسنا ، هى النقطة ك ، ثم نسمع صوتين فى نفس الوقت ، يضمحلان فى الاتجاهين المتعاكسين ، من النقطة ك الى النقطة أ ، ومن النقطة ك الى النقطة ب . وبعبارة اخرى ، فاننا سنسمع صوتا ، يوحى لنا بان الشهاب قد انفلق الى شطرين ، وانطلق كل منهما فى الاتجاه المعاكس . ولكن فى الحقيقة ، لم يحدث اى انفجار (انفلاق) . وهذا يدل على مدى خداع الانطباعات السمعية ، الذى يتعرض له الانسان ! ومن المحتمل ان يكون العديد من انفجارات الشهب ، التى اقر بوقوعها شهود العيان ، عبارة عن خدعة سمعية من النوع المذكور اعلاه بالذات .

اذا قلت سرعة الصوت ...

اذا انتشر الصوت فى الهواء ، بسرعة تقل بكثير عن سرعته المعروفة ، وهى ٣٤٠ م/ثانية ، لزاد عدد الانطباعات السمعية المخادعة ، بمقدار كبير جدا .

لنتصور مثلا ، بان الصوت يقطع فى الثانية الواحدة ٣٤٠ مم ، بدلا من ٣٤٠ م، اى يتحرك ابطأ من الشخص الماشى . ولنتصور باننا نجلس على مقاعد الغرفة ، ونستمع الى حديث صديق ما ، تعود على الكلام وهو يذرع الغرفة ذهابا وايابا . ان تحرك الصديق على هذا الشكل ، لا يؤثر فى سمعنا بتاتا ، فى الظروف العادية . ولكن ، عندما تقل سرعة الصوت الى ذلك الحد ، فاننا لا نفهم تماما حديث هذا الصديق . وسبب ذلك هو ان الاصوات التى اصدرها فى بداية حديثه ، ستلحق بالاصوات

الجديدة وتختلط بها ، الامر الذى يؤدى الى حدوث اضطراب فى الاصوات ، لا يفهم منه اى شيء .

وبهذه المناسبة ، ففى اللحظات التى يقترب فيها ذلك الصديق من احد الاشخاص الجالسين فى الغرفة ، نرى بان كلماته تصل الى ذلك الشخص بترتيب عكسى . وذلك بان تصل فى البداية الاصوات التى اصدرها توا ، وبعد ذلك تصل الاصوات التى اصدرها قبل ذلك بالتتابع ، وهلم جرا . وسبب ذلك يعود الى ان الشخص المتكلم ، يسبق الاصوات الصادرة عنه ، ويبقى فى مقدمتها طوال الوقت ، مع استمراره فى اصدار اصوات جديدة .

اطول حديث على الاطلاق

واذا كان القارئ يظن بان سرعة الصوت فى الهواء — ثلث كيلومتر فى الثانية — هى سرعة كافية دائما ، فسوف يغير فكرته الآن .

ولنتصور بان الخط التلفونى الكهربائى الواصل بين مدينتى موسكو ولينينجراد ، قد استبدل بانبوب تخاطب عادى ، يشبه التلفونات التى كانت تصل فى السابق ، بين الاقسام المختلفة للمتاجر الكبيرة ، او التى استعملت فى البواخر ، للاتصال بغرفة المحركات . ولنتصور بان القارئ يقف عند طرف الانبوب — الذى يبلغ طوله ٦٥٠ كم — الواقع فى لينينجراد ، وصديقه يقف عند الطرف الثانى ، الواقع فى موسكو . وليسأل القارئ صديقه سؤالا معينا ، وينتظر الجواب . وتمر خمس دقائق ثم عشرة وخمس عشرة وخمسون دقيقة ، ولم يأت الجواب بعد . ويبدأ القارئ بالقلق والتفكير بان شيئا ما قد حدث لصديقه . ولكن لا داعى لهذا القلق والتخوف ، لان السؤال لم يصل الى موسكو بعد ، وهو الان فى منتصف الطريق فقط . وسوف تمر ربع ساعة اخرى من الوقت ، قبل ان يستطيع صديقك الموجود فى موسكو ، سماع السؤال والاجابة عليه . ولكن جوابه ايضا ، سيستغرق وقتا لا يقل عن نصف ساعة ، ليقطع

المسافة من موسكو الى لينينجراد . وهكذا ، سوف لا يسمع القارئ جواب صديقه ، الا بعد مرور ساعة كاملة .

ويمكن التأكد من الحساب كما يلى : ان المسافة بين لينينجراد وموسكو ، هى ٦٥٠ كم ؛ ويقطع الصوت $\frac{1}{3}$ كم فى الثانية والحدة ؛ وهذا يعنى بان الصوت يقطع المسافة بين المدينتين فى مدة تزيد على ١٩٥٠ ثانية ، او فى مدة لا تزيد على ٣٢ دقيقة . وفى مثل هذه الظروف ، حتى لو تكلمنا لمدة يوم كامل من الصباح الى المساء ، فاننا بالكاد نستطيع ان نتبادل اكثر من عشر جمل * .

باسرع طريق

لقد مرت على البشرية حقبة من الزمن ، اعتبر فيها حتى هذا الطريق لنقل الاخبار ، بمثابة طريق سريع جدا . فقبل مئة عام ، لم يكن احد من الناس ، يحلم بالتلغراف والتلفون الكهربائيين ، وكان نقل الاخبار الى مسافة ٦٥٠ كم ، فى ظرف ساعات معدودة ، سيعتبر نموذجا للسرعة فى نقل الاخبار . ويروى انه اثناء مراسيم تتويج القيصر الروسى بولص الاول ، نقل خبر بدء المراسيم ، التى جرت فى موسكو ، الى العاصمة الشمالية بتربورج (لينينجراد حاليا) ، بالطريقة التالية : صف الجنود على طول الطريق الممتد بين موسكو وبتربورج ، بحيث كانت المسافة بين جندى وآخر ، تساوى ٢٠٠ م. وعندما دق جرس الكاتدرائية اولى دقائه ، ايذانا ببدء المراسيم ، اطلق اقرب جندى الى الجرس ، طلقة فى الهواء . وحالما سمع الجندى المجاور له صوت الطلقة ، اطلق بدوره طلقة فى الهواء ، وتبعه الجندى الثالث والرابع . . وهكذا ، حتى وصل النبأ الى بتربورج ، خلال ثلاث ساعات فقط . وبعد مضى ثلاث ساعات

* لم يأخذ المؤلف فى الاعتبار تضاؤل الذبذبات الصوتية مع بعد المسافة ، الامر الذى يعرقل القيام بمثل هذه المكالمة التلفونية فى الواقع ، وذلك لان الشخص الموجود عند الطرف الثانى للانبوب ، سوف لا يسمع الحديث – هيئة التحرير .

على اولى دقات جرس موسكو ، اجابت مدافع قلعة بيتروبافلوفسكى ، الواقعة على بعد ٦٥٠ كم من موسكو .

ولو امكن سماع دقات جرس كاتدرائية موسكو ، فى مدينة لينينجراد ، بصورة مباشرة ، لوصل هذا الصوت ، كما نعلم ، الى العاصمة الشمالية ، متاخرا بمقدار نصف ساعة فقط . وهذا يعنى ان مدة ساعتين ونصف من ضمن الثلاث ساعات ، التى استغرقها وصول النبأ ، قد صرفت على عملية تلقى الجنود لذلك النبأ ، وفترة استعدادهم لاطلاق الرصاصة فى الهواء . ومهما كانت هذه الفترة الزمنية ضئيلة ، فعندما تتضاعف بمقدار الف مرة ، تتجمع لدينا ساعتان ونصف الساعة .

وقد كان التلغراف البصرى فى القرون الماضية ، يعمل بطريقة مشابهة ، حيث كان ينقل الاشارات الضوئية الى اقرب محطة ، وكانت هذه المحطة بدورها ، تقوم بنقل تلك الاشارات الى محطة اخرى ، وهلم جرا .

نقل الانباء بواسطة الطبول

ان نقل الانباء بواسطة الاشارات الصوتية ، كان ولا يزال منتشرا بين السكان البدائيين (القبليين) فى القارة الافريقية ، وامريكا الوسطى وبولينيزيا . وتستخدم القبائل البدائية لهذا الغرض ، طبولا خاصة ، يتم بواسطتها نقل الاشارات الصوتية عبر مسافة شاسعة ، حيث ان الاشارة الاصطلاحية المسموعة فى مكان ما ، تتردد فى مكان آخر ، وتنتقل بهذا الشكل الى مسافة ابعد . وهكذا نجد بان السكان القاطنين فى رقعة واسعة من الارض ، يعلمون بذلك النبأ المنقول ، خلال مدة قصيرة (شكل ١٥٣) .

شكل ١٥٣ : احد سكان جزر فيجى يبث خبرا بواسطة قرع الطبل.

وفى اثناء الحرب الاولى بين ايطاليا والحبشة ، اصبحت كافة تنقلات الجيوش الايطالية ،

معروفة لدى النجاشي . وقد اربك هذا الامر ، هيئة الاركان الايطالية ، التي لم تظن بوجود الطبول ، التي تنقل اسرارهم الى العدو .

وفي بداية الحرب الثانية بين ايطاليا والحبشة ، استخدمت الطبول « لاذاعة » امر الاستعداد للنفير العام ، وذلك في العاصمة اديس ابابا . وخلال عدة ساعات ، انتشر النبأ المذكور ، واصبح معروفا لدى سكان ابعد القرى الحبشية النائية .

وقد لوحظت مثل هذه الظاهرة بالذات ، اثناء حرب البوير * مع الانكليز . وبفضل تلك الطبول التي تنقل الانباء ، استطاع الكفيريون ** نشر كافة الانباء الحربية بين سكان كيب لاند ، بسرعة مدهشة ، سبقت الانباء المنقولة رسميا عن طريقة السعاة ، بعدة ايام كاملة . وحسبما جاء في اقوال السياح ، فان نظام الاشارات الصوتية ، عند بعض القبائل الافريقية ، قد اعد بطريقة جيدة ، بحيث يمكن ان نقول عن اصحابها ، بانهم يملكون « تلغرافا » ، اكثر دقة وكمالا من التلغراف البصري ، الذي استخدمه الاوربيون ، قبل اختراع التلغراف الكهربائي .

واليكم ما كتبه حول هذا الموضوع ، احد علماء الآثار في المتحف البريطاني ، ويدعى هاسيلدن ، الذي زار مدينة ابادا ، الواقعة في اواسط نيجيريا . ان قرع الطبول ، المستمر ، كان يسمع في الليل والنهار . وفي صباح احد الايام ، سمع عالم الاثار ، بان الافريقيين يتحدثون عن شيء ما بنشاط وحيوية . وقد اجاب احد عرفاء الجيش ، على تساؤلات ذلك العالم بقوله : « لقد غرقت باخرة ركاب كبيرة ، تحمل مسافرين اوربيين ، وقد لاقى الكثيرون منهم حتفهم » . وكان هذا هو النبأ الذي « اذاعته » الطبول من الساحل . ولم يعر العالم هذا النبأ اي اهتمام . ولكنه تسلم بعد ثلاثة ايام ، برقية متأخرة (نتيجة لانقطاع المواصلات) ، تخبره بغرق باخرة الركاب « لوزيتانيا » . وعندئذ فهم بان الخبر الذي نقله الافريقيون كان صحيحا ، وقد نقل عن طريق لغة

---

* سكان جنوب افريقيا ، المنتمون الى اصل هولندي – المترجم .

** اعضاء في مجموعة الشعوب الناطقة بلغة « البانتو » في جنوب افريقيا – المترجم .

الطبول ، عبر جميع الاراضي الافريقية ، الممتدة من القاهرة الى ابادا . ومما يزيد الامر غرابة ، هو ان القبائل التي تناقلت النبأ فيما بينها ، تتكلم بلغات او لهجات مختلفة تماما ، وكانت بعض هذه القبائل في حالة حرب مع البعض الآخر .

الغيوم الصوتية والصدى الهوائي

ان الصوت يمكن ان ينعكس ، لا على الحواجز الصلبة فحسب ، بل وعلى بعض الاشياء الرقيقة الناعمة ، مثل الغيوم . وعلاوة على ذلك ، فحتى الهواء الرقيق تماما ، يمكن ان يعكس الموجات الصوتية ، عند توفر بعض الظروف المعينة – وخاصة عندما يختلف ، لسبب من الاسباب ، عن كتلة الهواء الباقية ، من حيث قابليته لتوصيل الصوت . وتحدث في هذه الحالة ، ظاهرة شبيهة بما يسمى في علم البصريات بـ « الانعكاس الكلي » . ان الصوت ينعكس على حاجز غير مرئي ، ونسمع صدى محيرا ، آتيا من جهة غير معلومة .

وقد اكتشف العالم « تندال » صدفة ، هذه الحقيقة المدهشة ، عندما قام باجراء تجارب على الاشارات الصوتية ، عند ساحل البحر . ويكتب العالم بهذا الصدد ، ما يلي : « لقد تكون الصدى من انعكاس الصوت ، على « سطح » الهواء الشفاف تماما . وقد وصلنا الصدى ، بطريقة سحرية ، من غيوم صوتية غير مرئية » .

وقد اطلق الفيزيائي الانكليزي المشهور ، اسم الغيوم الصوتية ، على بعض طبقات الهواء الشفاف ، التي تجبر الصوت على الانعكاس ، واحداث « صدى من الهواء » . ونقدم فيما يلي ، ما كتبه العالم المذكور ، بهذا الصدد :

« ان الغيوم الصوتية ، تسبح في الهواء باستمرار . وليس لهذه الغيوم اية علاقة مطلقا ، بالغيوم العادية او بالضباب او بالسديم . ويمكن ان يكون اصفى جو ، مليئا بهذه الغيوم . وبهذا الشكل يمكن ان تتكون الاصداء الهوائية (الجوية) . وعلى الرغم من الفكرة السائدة ، فان هذه الاصداء يمكن ان تحدث حتى عندما يكون الجو صافيا جدا . وقد ثبت وجود مثل هذه الاصداء الهوائية ، بناء على نتائج الملاحظات

والتجارب . ويمكن ان تنتج هذه الاصداء ، عن تيارات الهواء ، المتفاوتة التسخين ، او التى تحتوى على كمية مختلفة من البخار » .

ان وجود الغيوم الصوتية ، غير الشفافة بالنسبة للصوت ، يفسر لنا بعض الظواهر المحيرة ، التى نلاحظها احيانا فى اوقات الحروب . ويقدم لنا العالم الفيزيائى تندال ، المقتطف التالى من مذكرات شاهد عيان ، عن الحرب بين فرنسا وبروسيا فى عام ١٨٧١ :

« لقد كان صباح اليوم السادس من هذا الشهر ، على العكس تماما من صباح امس . ان درجة الحرارة امس ، كانت منخفضة جدا ، بحيث نفذ البرد الى العظام ، مع وجود ضباب ، لم يسمح لنا بالرؤية الى ابعد من نصف ميل . اما صباح اليوم السادس من الشهر ، فقد كان وضاء ومشرقا ودافئا . وكان الهواء امس مليئا بالاصوات . اما اليوم ، فيسود الهدوء تماما ، وكأنه لا وجود للحرب . ونظر كل منا الى صاحبه بدهشة . يا ترى هل اختفت باريس بدون ان تترك اثرا ما ، واختفت طوابيها ومدافعها واصوات انفجار قنابلها ؟ وذهبت الى مدينة مون مورانس ، حيث تفتحت امامى المناظر الشاملة الواسعة ، للجهة الشمالية من مدينة باريس . ولكن فى هذا المحل ايضا ، ساد سكون رهيب . وقابلت ثلاثة جنود ، وأخذنا نناقش مع بعضنا حقيقة الامر ، وقد كان هؤلاء الجنود يظنون بان محادثات السلام قد بدأت ، وذلك لعدم سماع صوت اية اطلاقة منذ الصباح الباكر .

ثم واصلت سفرى الى ابعد من ذلك ووصلت الى مدينة هونيس . وهناك علمت بدهشة بالغة ، بان المدفعية الالمانية ، كانت تقصف المواقع الفرنسية قصفا شديدا ، منذ الساعة الثامنة صباحا . وقد بدأ تبادل القصف بين الطرفين ، فى نفس الساعة تقريبا . ولكننا لم نسمع اى صوت فى مدينة مون مورانس ! ان سر هذا الامر كان متعلقا بالهواء . ذلك لان ما فعله اليوم قد اختلف تماما عما قام به امس ولم ينقل الينا اية اشارة او صوت » .

وقد تكرر حدوث مثل هذه الظاهرة، اثناء الحرب الشاملة التى وقعت فى الفترة بين عامى ١٩١٤ — ١٩١٨ .

هناك بعض الناس ، الذين لا يستطيعون سماع بعض الاصوات العالية الطبقة ، مثل صرصرة الصرصور او صأصأة الخنافس . ان هؤلاء الناس غير مصابين بالصمم ، واعضاء السمع عندهم سليمة ، ومع ذلك فانهم لا يسمعون النغمات العالية . وقد اكد العالم تندال بان بعض الناس ، لا يسمع حتى زقزقة العصافير !

وبصورة عامة ، فان اذننا لا تتقبل جميع الذبذبات الصوتية المارة بقربنا ، بلا استثناء . واذا كان الجسم يقوم فى الثانية الواحدة باقل من ١٦ الف ذبذبة ، فاننا لا نسمع صوته . واذا قام بما يزيد على ١٥ — ٢٢ الف ذبذبة فى الثانية ، فاننا لا نسمع صوته ايضا . ان الحد الاقصى للمسموعية ، يختلف من شخص الى آخر ، حيث ينخفض بالنسبة لكبار السن الى ٦ آلاف ذبذبة فى الثانية . ولذلك نرى ظاهرة غريبة ، وهى ان الصوت الحاد العالى النغمة ، يكون مسموعا بوضوح من قبل البعض ، وغير مسموع من قبل البعض الاخر .

ويصدر العديد من الحشرات (مثل البعوضة والصرصور) ، اصواتا تناظر نغمتها ٢٠ الف ذبذبة فى الثانية الواحدة ، وهذه النغمة تكون مسموعة من قبل البعض ، وغير مسموعة بالنسبة للبعض الاخر . ان الناس الذين لا يحسون بالنغمات العالية ، يشعرون بهدوء تام ، فى المكان الذى يشعر فيه غيرهم باصوات ضوضائية حادة . ويذكر العالم تندال ، بانه لاحظ ذات مرة ، حالة مماثلة ، عندما كان يتجول مع صديقه فى سويسرا :

« كان المرج من كلا جانبيه مليئا بالحشرات ، التى ملأت سمعى بطنينها الحاد ، بينما لم يسمع صديقى اى شئ من هذا الطنين . ان نغم طنين الحشرات كان يقع خارج حدود سمعه » .

ان صأصأة الخفاش ، تعتبر اخفض من صرصرة الحشرات الحادة ، بمقدار جواب كامل ؛ اى تكون ذبذبات الهواء عند ذلك ، اقل ترددا بمرتين . وهناك بعض

الناس ، الذين تكون حدود مسموعيتهم ، منخفضة اكثر من ذلك ، بحيث يعتبر الخفاش بالنسبة لهم ، حيوانا عديم الصوت . وعلى العكس فان الكلاب ، كما اثبتت تجارب العالم السوفييتى الاكاديمى بافلوف ، تتقبل النغمات التى تصل ذبذبتها الى ٣٨ الف ذبذبة فى الثانية ؛ ولكن هذا يعتبر بمثابة مجال « ما فوق السمعيات » .

استخدام الاصوات فوق السمعية فى التكنيك

ان الوسائل الفيزيائية والتكنيكية فى الوقت الحاضر ، تستطيع خلق « اصوات كتيمة » ، يزيد ترددها بكثير ، على تردد الاصوات التى تكلمنا عنها اعلاه . ويمكن ان يصل عدد الذبذبات فى هذه « الاصوات فوق السمعية » الى ١٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ ذبذبة فى الثانية الواحدة . ان اقصى تردد امكن الحصول عليه فى الوقت الحاضر ، يساوى ١٠٠٠٠٠٠٠٠٠ ذبذبة فى الثانية .

ان احدى طرق الحصول على الذبذبات فوق السمعية ، مبنية على خاصية تكهرب سطوح الالواح ، المصنوعة بشكل خاص من بلورات الكوارتز ، عند تعرضها للضغط (وتسمى خاصية البلورات هذه ، بالبيزوكهربائية) . اما اذا قمنا بعكس ذلك ، وشحنا سطوح هذه الالواح دوريا ، بشحنة كهربائية ، فانها تنضغط وتتمدد بالتناوب ، وذلك نتيجة لتأثير الشحنات الكهربائية ، اى انها تتذبذب ، ونحصل بذلك على ذبذبات فوق سمعية . وتتم عملية شحن هذه الالواح بالشحنات الكهربائية ، بواسطة مولد خاص من المولدات المستخدمة فى هندسة اللاسلكى ، يتم اختيار تردده ، طبقا لما يسمى بفترة التردد الخاصة للوح * .

وبالرغم من اننا لا نسمع الاصوات فوق السمعية ، الا انها تكشف عن وجودها ، بطرق اخرى محسوسة جدا . مثلا ، اذا غمرنا لوحا متذبذبا ، فى وعاء يحتوى على زيت ، فسوف نرى بان الذبذبات فوق السمعية تنتشر على سطح الزيت ، مكونة

* ان بلورات الكوارتز ، تعتبر من المصادر الغالية والضعيفة القدرة ، لتوليد الاصوات فوق السمعية ، وتستخدم على الاكثر فى المختبرات الفيزيائية . وقد نجح المهندسون الاخصائيون ، فى استخدام بعض المواد الاصطناعية لهذا الغرض .

حدبة يبلغ ارتفاعها ١٠ سم ، اما قطرات الزيت ، فسوف تقفز الى ارتفاع قدره ٤٠ سم . واذا غمرنا فى وعاء الزيت هذا طرف انبوب زجاجى يبلغ طوله مترا واحدا ، لشعرنا بحرق شديد فى اليد التى تمسك بالطرف الثانى للانبوب ، يترك اثرا على بشرة اليد . واذا جعلنا طرف الانبوب ، الموجود فى حالة اهتزاز ، يلامس احدى الاشجار ، فانه سيحدث ثغرة فيها بواسطة الحرق ، حيث تتحول طاقة الاصوات فوق السمعية الى طاقة حرارية .

ان العلماء السوفييت والاجانب عاكفون على دراسة الاصوات فوق السمعية دراسة دقيقة شاملة . وتؤثر هذه الذبذبات تأثيرا بالغا على جسم الكائن الحى . فهى تؤدى الى تمزق خيوط الاعشاب المائية ، وتفجر خلايا الحيوانات ، وتخريب كريات الدم . ان تعرض الاسماك والضفادع الصغيرة ، الى الاصوات فوق السمعية ، لمدة تتراوح بين دقيقة واحدة ودقيقتين ، يكفى للقضاء عليها تماما ؛ كما ترتفع عند ذلك درجة حرارة جسم الحيوان الى ٤٥° مئوية ، كما يحدث للفئران مثلا . وتستخدم الذبذبات فوق السمعية الكتيمة ، فى الاغراض الطبية ، كما تستخدم الاشعة فوق البنفسجية ، وذلك لمساعدة الاطباء فى معالجة المرضى . وتستخدم الاصوات فوق السمعية ، بصورة خاصة فى صناعة الميتالورجيا ، وذلك لاكتشاف عدم التجانس والفجوات الغازية وغيرها من العيوب ، الموجودة فى داخل القطعة المنتجة . ان طريقة الفحص الاشعاعى للمعدن ، بواسطة الذبذبات فوق السمعية ، تتلخص فى ترطيب المعدن المراد فحصه ، بالزيت ، وتعريضه لتأثير الذبذبات فوق السمعية . ان الاقسام غير المتجانسة من القطعة المعدنية ، تشتت الصوت ، على هيئة ما يسمى بـ « ظل الصوت » ، الذى يظهر بصورة مجسمة واضحة ، على التموجات المنتظمة لطبقة الزيت المحيطة بالقطعة المعدنية ، بحيث يمكن تصويرها تماما * .

* ان طريقة كشف عيوب المعدن ، بواسطة الذبذبات فوق السمعية ، اقترحت لاول مرة عام ١٩٢٨ من قبل العالم السوفييتى سوكولوف . وفى الوقت الحاضر تستخدم اجهزة استقبال خاصة ، للذبذبات فوق السمعية ، تعوض عن استخدام الزيت ، وتعطى قياسات ابسط ودق بكثير — هيئة التحرير .

ونستطيع بواسطة الذبذبات فوق السمعية ان نفحص قطعة معدنية ، يبلغ سمكها ١ م واكثر ، وهو عمق لا يمكن لاشعة اكس ان تصله ؛ وبذلك نكتشف العيوب الدقيقة للغاية – الى حد الملمتر الواحد . ولا شك فى ان الذبذبات فوق السمعية ، ستستخدم فى المستقبل على نطاق واسع جدا * .

اصوات العمالقة والاقزام

فى الفلم السوفييتى القديم « جلبرت العصر الحديث » ، يتكلم الاقزام بأصوات عالية النغمة ، تطابق الحجم الصغير لحناجرهم ؛ اما العملاق – بيتيا – فقد كان يتكلم بصوت منخفض النغمة . وعند تصوير الفلم ، تكلم ممثلون عوضا عن الاقزام ، اما صوت العملاق – بيتيا – فقد عبر عنه صوت احد الممثلين الاطفال .

كيف امكن الحصول على التغيير اللازم فى انغام الاصوات ؟

لقد دهشت كثيرا ، عندما اخبرنى مخرج الفلم ، بان الممثلين قد تكلموا باصواتهم الطبيعية عند تصوير الفلم ؛ اما تغيير النغم فقد تم التوصل اليه اثناء عملية التصوير ، بطريقة مبتكرة ، مبنية على خواص الصوت الفيزيائية .

ولجعل اصوات الاقزام عالية ، وصوت العملاق منخفضا ، فقد عمد المخرج الى تسجيل اصوات الممثلين القائمين بادوار الاقزام ، مع ابطاء سرعة دوران شريط التسجيل ؛ اما عند تسجيل صوت الطفل الذى عبر عن صوت العملاق ، فقد زاد من سرعة دوران الشريط . وقد عرض الفلم فى دور السينما بسرعة طبيعية . وليس من الصعب ان نفهم ما الذى سيحدث نتيجة لذلك . سوف يستقبل المستمعون اصوات

---

* من الطريف ان نعلم بان الصوت فوق السمعى ، موجود فى الطبيعة ايضا . وتوجد فى صفير الرياح وفى اضطراب امواج البحر ، ترددات تناظر ترددات الاصوات فوق السمعية . ويتمتع الكثير من الكائنات الحية ، بخاصية اصدار واستقبال الاصوات فوق السمعية (كالفراشات وزيزان الحصاد وغيرها) . ويستخدم الخفاش الاصوات فوق السمعية اثناء طيرانه ، ويكتشف الحواجز التى تعترض طريقه ، بواسطة الاشارة الصوتية التى تعكسها تلك الحواجز .

الاقزام ، عندما تكون ذبذباتها عالية التردد ، بالنسبة لما هى عليه فى الطبيعة ، مما يؤدى الى ارتفاع نغماتها حتما . اما صوت بيتيا ، فعلى العكس من ذلك ، سيستقبله المستمعون عندما تكون ذبذباته منخفضة التردد،الامر الذى يجعله منخفض النغمة.

واخيرا ، نرى بان الاقزام فى الفلم المذكور ، يتكلمون بصوت ، يزيد على صوت الرجل البالغ ، بطبقة واحد فقط . اما العملاق – بيتيا – فيتكلم بصوت يقل عن صوت الرجل العادى ، بطبقة واحدة . وهكذا ، فقد استعملت آلة التسجيل البطيئة الحركة ، للقيام بهذا التغيير فى الاصوات . وغالبا ما تلاحظ هذه الظاهرة ، عندما تدور اسطوانة الحاكى ، بسرعة اكثر او اقل من سرعة تسجيل الاسطوانة المذكورة .

الجريدة التى تصدر فى اليوم مرتين

سوف نناقش الان مسألة ، تبدو للوهلة الاولى ، وكأنها بعيدة عن موضوع الصوت ، وبعيدة عن علم الفيزياء ايضا . ومع ذلك ارجو من القارئ ان يعيرها اهتمامه ، لانها ستساعده على فهم البحث اللاحق بسهولة .

ربما يكون القارئ على علم بهذه المسألة ، فى شكل من اشكالها المتغيرة العديدة .

فى ظهر كل يوم يتوجه قطار من موسكو الى فلاديفوستوك ، كما يتوجه فى ظهر كل يوم ، قطار آخر من فلاديفوستوك الى موسكو . ويستغرق قطع هذا الطريق ١٠ ايام . والآن ، تتطلب الاجابة على السؤال التالى : ما هو عدد القطارات التى يقابلها المسافر اثناء سفره من فلاديفستوك الى موسكو ؟

ان معظم الاجابات تؤكد بان عدد القطارات يساوى ١٠ فقط . غير ان هذه الاجابات غير صحيحة ، لان المسافر لا يقابل ١٠ قطارات فقط ، وهى القطارات التى تخرج من موسكو ، بعد مغادرته فلاديفستوك ، ولكنه سيقابل ايضا ، تلك القطارات التى كانت فى الطريق ، عندما غادر فلاديفستوك . وهكذا نرى بان الاجابة الصحيحة ، هى ٢٠ قطارا ، لا ١٠ قطارات .

ولنبحث بعض التفاصيل الاخرى . ان كل قطار يخرج من موسكو ، يحمل معه اعداد جريدة جديدة . واذا كان المسافر يهتم باخبار موسكو ، فسوف يقوم بالطبع ، بشراء الجريدة من المحطات ، التى يتوقف عندها القطار . ما هو عدد الجرائد الجديدة ، التى سيشتريها المسافر خلال الايام العشرة ؟ ستكون الاجابة سهلة الان ، وهى ان المسافر سيشترى ٢٠ جريدة جديدة . وذلك لان كل قطار جديد يقابله المسافر ، سيحمل جريدة جديدة من موسكو ، ولما كان المسافر سيقابل ٢٠ قطارا ، فانه سيقرأ ٢٠ جريدة جديدة . وبما ان مدة السفر هى عشرة ايام ، ينتج من ذلك ان المسافر سيقرأ العدد الواحد ، مرتين فى اليوم . ان هذه النتيجة غير متوقعة نوعا ما ، وربما لا يصدقها القارئ فى الحال ، ما لم تحدث له فى الواقع ، اثناء سفره ، وتجعله يثق فى صحتها .

مسألة حول صفير القطار

اذا كان القارئ يتمتع بحاسية سمع موسيقية متطورة ، فربما لاحظ كيف تتغير درجة نغم (درجة النغم بالذات ، وليس جهارة الصوت) صفير القطار ، عندما يمر بقربه قطار آخر . وفى الوقت الذى كان فيه القطاران يقتربان من بعضهما ، كانت درجة النغم اعلى مما اصبحت عليه ، عندما اخذ القطاران بالابتعاد عن بعضهما . فاذا كان القطاران يسيران بسرعة ٥٠ كم/ساعة ، يصل الفرق بين درجتى النغم ، الى نغمة كاملة تقريبا . ما هو سبب حدوث ذلك ؟

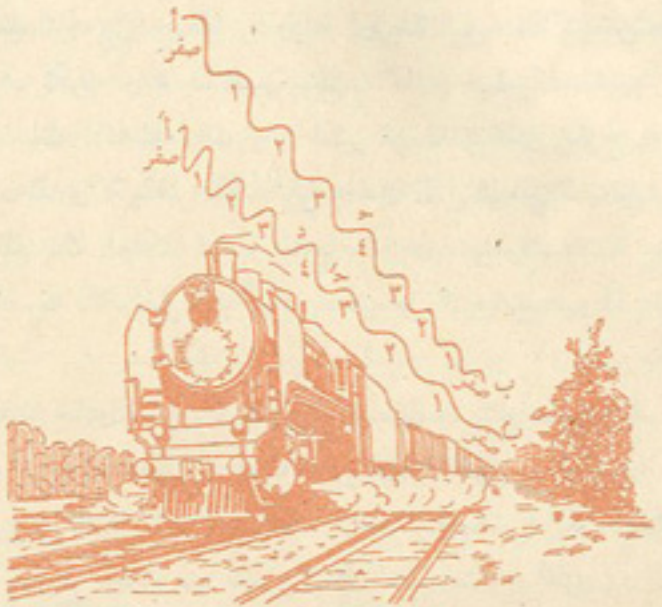
سوف لا يصعب على القارئ التنبؤ بهذا السبب ، اذا تذكر بان درجة النغم تعتمد على عدد الذبذبات فى الثانية الواحدة ؛ وليقارن القارئ ذلك ، مع النتيجة التى توصلنا اليها فى المسألة السابقة .

ان صفير القطار المقابل ، يصدر نفس الصوت دائما ، بتردد معين . ولكن الاذن تستقبل عددا مختلفا من الذبذبات ، تبعا لموضع الشخص ، أهو يتحرك فى الاتجاه المضاد ، ام يقف فى مكانه ، ام يبتعد عن مصدر الذبذبات . وكما كانت

عليه الحالة عند التوجه الى موسكو ، وقراءة الجريدة اليومية ، اكثر من مرة فى اليوم الواحد ، فسوف تكون الحالة هنا شبيهة بتلك تماما ، حيث كلما اقتربنا من مصدر الصوت ، استقبلت اذننا الذبذبات بعدد اكبر من العدد الذى تخرج به من صفارة القطار . الا ان القارئ لا يناقش المسألة فى هذه الحالة . ان اذن المسافر تستقبل عددا مضاعفا من الذبذبات . وهكذا ، فانه يسمع نغمة عالية مباشرة . وعندما يبتعد المسافر عن مصدّر الصوت ، تستقبل اذنه عددا اصغر من الذبذبات ، وبذلك يسمع نغمة منخفضة .

واذا لم يقتنع القارئ تماما بهذا التفسير ، فليحاول ان يتتبع مباشرة (نظريا طبعا) ، كيفية انتشار الموجات الصوتية ، المنبعثة من صفارة القطار . انظر اولا الى القطار الواقف ، المبين فى الشكل ١٥٤ . ان الصفارة تحدث موجات هوائية ، وسوف نبحث لاجل السهولة ، اربع موجات منها فقط (لاحظ الخط المتموج العلوى) . ان الموجات المنبعثة من القطار الواقف ، تنتشر خلال فترة معينة من الزمن ، مبتعدة عن القطار بمسافات متساوية فى جميع الاتجاهات . وتصل الموجة رقم صفر ، الى المراقب الموجود فى النقطة أ ، خلال نفس الفترة الزمنية التى تصل فيها الى المراقب الموجود فى النقطة ب ، ثم تصل الموجات رقم ١ و٢ و٣ . . الخ ، الى كلا المراقبين فى نفس الوقت . ان آذان كلا المراقبين ، تستقبل عددا متساويا من الدفعات فى الثانية الواحدة . ولذا ، فان كليهما يسمعان نفس النغمة الواحدة .

ويختلف الامر عندما يتحرك القطار اثناء صفيره ، من النقطة ب الى النقطة أ (الخط المتموج السفلى) . لنفرض ان الصفارة ، فى لحظة معينة ، كانت تقع فى النقطة حَ ، وخلال الفترة التى بعثت فيها اربع موجات ، انتقلت الى النقطة د . والان لنقارن منحنيات انتشار الموجات الصوتية ، مع بعضها . ان الموجة رقم صفر ، الخارجة من النقطة حَ ، تصل الى المراقبين أَ و بَ ، فى نفس الوقت . ولكن الموجة رقم ٤ ، المتكونة فى النقطة د ، لا تصل الى المراقبين فى نفس الوقت ، ذلك لان الطريق د أَ ، اقصر من الطريق د بَ . وهكذا ، فانها تصل الى المراقب أَ ، قبل



شكل ١٥٤ : مسألة حول صفير القطار . الى الاعلى – موجات صوتية منبعثة من قاطرة بخارية واقفة ؛ الى الاسفل – موجات صوتية منبعثة من قاطرة متحركة .

وصولها الى المراقب ب′ . وكذلك ، فان الموجتين المتوسطتين – رقم ١ ورقم ٢ – تصلان الى النقطة ب′ ، بعد وصولهما الى النقطة أ′ ، ولكن التأخير سيكون اقل . ما الذى يحدث اذن ؟ ان المراقب الموجود فى النقطة أ′ ، سوف يستقبل الموجات الصوتية ، بمعدل اكبر ، من معدل استقبالها من قبل المراقب الموجود فى النقطة ب′ ، وسوف يسمع المراقب الاول نغما اعلى من النغم الذى سيسمعه المراقب الثانى . وبالاضافة الى ذلك – كما يتضح بسهولة من الرسم التخطيطى الموجود فى الشكل – سيكون طول الموجات ، المتجهة نحو النقطة أ′ ، اقصر من طول الموجات المتجهة نحو النقطة ب′* .

* يجب ان نأخذ فى الاعتبار ، بان الخطوط الموجية المبينة فى الشكل السابق ، لا تمثل اشكال الموجات الصوتية . ان تذبذب الدقائق فى الهواء ، يحدث على امتداد اتجاه الصوت ، لا بصورة متقاطعة معه . وقد ظهرت الموجات فى الشكل المذكور بصورة عرضية ، وذلك لاجل الايضاح البصرى فقط . وحدبة مثل هذه الموجة ، تناظر اقصى انضغاط فى الموجة الصوتية الطولية .

ان الظاهرة التى شرحناها الآن ، اكتشفت من قبل العالم الفيزيائى دوبلر ، وبقيت مقرونة باسمه دائما . وليست هذه الظاهرة خاصة بالصوت فقط ، ولكنها تحدث بالنسبة للضوء كذلك ، لان الضوء ينتشر على شكل موجات ايضا . ان التردد المتعاظم يظهر بالنسبة للعين على هيئة تغير فى اللون . اما فى حالة الصوت ، فيكون بمثابة تغير فى درجة النغم .

ان قاعدة دوبلر تقدم للفلكيين امكانية رائعة ، ليس للتأكد من اقتراب احد الكواكب منا او ابتعاده عنا فقط ، ولكنها تسمح لهم حتى بقياس سرعة حركة ذلك الكوكب .

والشئ الذى يساعد الفلكيين فى هذه الحالة ، هو الازاحة الجانبية للخطوط السوداء ، التى تقطع شريط الطيف . ان الدراسة الدقيقة لاتجاه ازاحة الخطوط السوداء للكوكب ، ومقدار هذه الازاحة ، ساعدت الفلكيين على القيام بعدد من الاكتشافات الرائعة . فبفضل ظاهرة دوبلر ، نعرف الان بان نجم الشعرى اليمانية المتألق ، يبتعد عنا بمقدار ٧٥ كم فى كل ثانية واحدة . ويبعد هذا النجم عنا بمسافة هائلة لا يصدقها العقل ، بحيث ان ابتعاده حتى بمقدار عدة مليارات من الكيلومترات ، لا يؤثر بقدر ملحوظ على تألقه الظاهرى . وربما كنا سنجهل كل شىء عن حركة هذا النجم ، لو لم تساعدنا ظاهرة دوبلر ، على معرفة حقيقة هذه الحركة .

ويبين لنا هذا المثال ، بوضوح لا يقبل الشك ، بان علم الفيزياء هو فى حقيقة الامر علم شامل . وبعد ان وضع علماء الفيزياء قانون الموجات الصوتية ، التى يصل طولها الى عدة امتار ، بدأوا يطبقونه على الموجات الضوئية الصغيرة للغاية ، التى لا يزيد طولها على عدة اجزاء من عشرة آلاف جزء من الملمتر ، وذلك لقياس الحركة السريعة للشموس الهائلة الحجم ، التى تسبح فى الكون اللامتناهى .

قصة غرامة نقدية

عندما توصل العالم دوبلر لاول مرة (فى عام ١٨٤٢) الى الفكرة القائلة بان الاقتراب او الابتعاد المتبادل بين المراقب ومصدر الصوت او الضوء ، يجب ان يكون مصحوبا بتغيير طول الموجات الصوتية او الضوئية التى يتم استقبالها ، نادى برأى جرئ ، مفاده ان الفكرة المذكورة اعلاه ، هى التى تفسر لنا سبب تلون الكواكب . وقد فكر دوبلر بان الكواكب بالذات ، بيضاء اللون ، ويظهر الكثير منها بشكل ملون ، لانه يتحرك بسرعة كبيرة بالنسبة لنا . ان الكواكب البيضاء ، المقتربة من الارض بسرعة ، ترسل الى المراقب الارضى ، اشعة ضوئية قصيرة ، تولد لديه احساسا باللون الاخضر او السماوى او البنفسجى . وعلى العكس من ذلك ، فان الكواكب البيضاء ، المبتعدة عن الارض بسرعة ، تبدو لنا وكأنها صفراء او حمراء .

وقد كانت هذه الفكرة طريفة ، ولكنها خاطئة بطبيعة الحال . ولكى تستطيع العين ملاحظة تغير لون الكواكب ، المتعلق بالحركة الذاتية ، لا بد من تحرك العين ، بسرعة تماثل السرعة الهائلة لتلك الكواكب — فى حدود عشرات الالاف من الاميال فى الثانية الواحدة . غير ان هذا بدوره لا يكفى ، وذلك لانه فى نفس الوقت ، ستتحول الاشعة الزرقاء للكوكب الابيض المقترب ، الى اشعة بنفسجية ، وتتحول الاشعة الخضراء الى اشعة زرقاء ، بينما تحل الاشعة البنفسجية محل الاشعة فوق البنفسجية ، وتحل الاشعة دون الحمراء محل الاشعة الحمراء . وباختصار ، تبقى الاجزاء المؤلفة للون الابيض ثابتة . وبغض النظر عن الزحف العام لجميع الوان الطيف ، فلا تستطيع العين بتاتا ، ملاحظة اى تغير يطرأ على اللون العام للكوكب .

ويختلف الامر بالنسبة لازاحة الخطوط السوداء فى طيف الكواكب ، المتحركة بالنسبة للمراقب . ان هذه الازاحة ، يمكن التقاطها جيدا ، بواسطة اجهزة دقيقة ، وهى تساعد على تعيين سرعة حركة الكواكب ، بموجب شعاع الابصار (ان الاسبكتروسكوب الجيد ، يحدد سرعة الكواكب ، حتى تلك التى تبلغ ١ كم/ثانية) .

وقد تذكر العالم الفيزيائى الشهير روبرت وود ، الخطأ الذى وقع فيه دوبلر ، وذلك عندما تقدم رجل البوليس من روبرت وود وطلب منه ان يدفع غرامة نقدية ، لانه لم يوقف سيارته المنطلقة بسرعة ، بالرغم من اشتعال الضوء الاحمر . ويقال بان وود اخذ عندئذ يقنع رجل البوليس المسئول عن حركة المرور ، بانه عندما يقترب السائق من الضوء الاحمر ، وهو منطلق بسرعة كبيرة ، فان اللون الاحمر يبدو وكأنه لون اخضر . ولو كان رجل البوليس ملما بعلم الفيزياء ، لعرف بانه لتبرير كلمات العالم المذكور ، كان لا بد وان تنطلق السيارة بسرعة خيالية ، قدرها ١٣٥ مليون كيلومتر فى الساعة .

ونتقدم الى القراء الآن ، كيفية حساب ذلك . اذا رمزنا الى طول الموجات الضوئية ، المنبعثة من المصدر (وهو ضوء المرور فى هذه الحالة) — بالحرف ل ؛ والى طول الموجات التى يستقبلها المراقب (وهو العالم وود) — بالحرف لَ ؛ والى سرعة السيارة — بالحرف س ؛ والى سرعة الضوء — بالحرف ص ، فسوف تكون العلاقة النظرية بين هذه المقادير ، كما يلى :

$$\frac{ل}{ل'} = ١ + \frac{س}{ص}$$

واذا علمنا بان اقصر الموجات التى تطابق الضوء الاحمر ، تساوى ٠,٠٠٦٣ مم ، وان اطول موجات الضوء الاخضر تساوى ٠,٠٠٥٦ مم ؛ نقوم بتعويض هذه القيم فى الصيغة المذكورة اعلاه (مع العلم بان سرعة الضوء تساوى ٣٠٠٠٠٠ كم/ثانية) ، فنحصل على ما يلى :

$$\frac{٠,٠٠٦٣}{٠,٠٠٥٦} = ١ + \frac{س}{٣٠٠٠٠٠}$$

ويستنتج من ذلك ان سرعة السيارة تساوى :

$$س = \frac{٣٠٠٠٠٠}{٨} = ٣٧٥٠٠ \text{ كم/ثانية} ،$$

او ١٣٥٠٠٠٠٠٠ كم/ساعة . وعند مثل هذه السرعة ، كان وود فى خلال ساعة واحدة ، سيبتعد عن رجل البوليس ، الى مسافة ابعد من الشمس . ويقال بان رجل البوليس قد حكم على وود بغرامة نقدية ، بالرغم من حجته العلمية ، وذلك بسبب « السير بسرعة تزيد على السرعة المسموح بها » .

بسرعة الصوت

ماذا كنا سنسمع لو ابتعدنا عن الاوركسترا ، بسرعة تساوى سرعة الصوت ؟

ان الشخص المسافر من لينينجراد فى قطار البريد ، يرى فى جميع المحطات نفس الاعداد من الصحف ، وهى بالذات نفس الاعداد الصادرة فى يوم مغادرته المدينة . وهذا واضح ، لان اعداد الصحف تنقل مع المسافر فى نفس الوقت ، اما الصحف الجديدة فتنقل بواسطة القطارات القادمة وراء قطار البريد . وعلى هذا الاساس ، يمكن القول بانه اذا ابتعدنا عن الاوركسترا ، بسرعة تساوى سرعة الصوت ، فسوف نسمع نفس اللحن طول الوقت ، وهو اللحن الذى عزفته الاوركسترا ، فى اللحظة الاولى لانطلاقنا . ولكن هذا القول خاطئٌ ؛ لاننا اذا ابتعدنا بمثل سرعة الصوت ، فان الموجات الصوتية ستكون ساكنة بالنسبة الينا ، وسوف لا تصل الى طبلة الاذن ، الامر الذى يجعلنا لا نسمع اى صوت . وعندئذ سوف نظن بان الاوركسترا قد توقفت عن العزف . ولكن لماذا قادتنا المقارنة مع حالة الصحف ، الى نتيجة اخرى تماما ؟ ان سبب ذلك ، هو اننا اخطأنا فى اعتبار النقاش فى هذه الحالة ، مشابها للحالة الاولى (من حيث المنطق) . ان المسافر الذى يقابل نفس الاعداد من الصحف فى كل محطة من المحطات ، يتصور (اى كان بامكانه ان يتصور ، لو نسى بانه يركب القطار) بان صدور الاعداد الجديدة فى العاصمة ، قد توقف منذ مغادرته اياها . وتكون دور اصدار الصحف — بالنسبة له — قد توقفت عن العمل ، كما كانت الاصوات ستتوقف عن الوصول الى اذن المستمع المتحرك .

ومن الغريب ان نعلم انه من الممكن فى بعض الاحيان ، ان تربك هذه المسألة ، حتى عقول العلماء ، مع انها فى الحقيقة ليست معقدة الى هذه الدرجة . وعندما تجادلت

مع احد الفلكيين — وكنت آنذاك تلميذا — لم يكن موافقا على حل المسألة السابقة بهذه الطريقة ، وأكد بانه عندما تبتعد بمثل سرعة الصوت ، يجب ان نسمع طول الوقت ، نفس النغمة الواحدة . وقد حاول اثبات صحة رأيه ، بالمناقشة التالية (واقدم للقراء مقتطفا من رسالته) :

« لنفرض وجود لحن ، بدرجة معينة من النغم . ان هذا اللحن يعزف بنفس درجة النغم منذ زمن بعيد ، وسوف يبقى كذلك الى وقت غير معين . ان المراقبين الموجودين فى الفراغ ، سيسمعون ذلك اللحن بصورة متتالية ، ولنفرض بنفس الدرجة الثابتة من القوة . والان ، ما هو السبب الذى يجعلنا لا نسمعه ، اذا كنا منطلقين بسرعة الصوت ، او حتى اذا كنا موجودين فى مكان اى مراقب من هؤلاء المراقبين ؟ »

وقد حاول ان يثبت بنفس الطريقة ، بان المراقب الذى يبتعد عن البرق ، بمثل سرعة الضوء سيرى ذلك البرق باستمرار .

وقد كتب الى يقول : « لنتصور وجود صف لا ينتهى من العيون ، فى الفضاء . ان كل عين من هذه العيون ستستلم الانطباعات الضوئية ، بعد العين التى تسبقها فى الصف . وتصور نظريا ، بانك تستطيع ان تحل بمحل كل عين من هذه العيون على التوالى — وهنا يتضح بانك سوف ترى البرق باستمرار » .

وبطبيعة الحال ، فان كلا التأكيدين غير صحيحين ، ذلك لانه فى الظروف المشار اليها اعلاه ، لن نسمع صوت الاوركسترا ولن نرى البرق . وهذا واضح من الصيغة الموجودة على الصفحة ٣٢٦ فاذا وضعنا فيها س=—ص ، فسوف نرى بان طول الموجة التى تستقبلها الاذن ل ، سيكون لانهائيا ، اى لا توجد هناك اية موجات .

* * *

وبهذا ينتهى كتاب « الفيزياء المسلية » . فاذا كان الكتاب قد حفز رغبة القراء فى التعرف على المزيد من حقول هذا العلم اللامتناهية ، التى انتقيت منها هذه المجموعة المرقشة من الحقائق البسيطة ، فانى ساعتبر نفسى قائما بواجبى ومحققا هدفى المنشود ، وسأضع النقطة الاخيرة بعد الكلمة « النهائية » .

المحتويات

كلمة دار النشر ٥
الفصل الاول . القوانين الاساسية للميكانيكا ٧
الفصل الثاني . القوة . الشغل . الاحتكاك ٣٠
الفصل الثالث . الحركة الدورانية ٥٦
الفصل الرابع . الجاذبية الارضية ٨٠
الفصل الخامس . السفر في داخل قذيفة المدفع ٩٩
الفصل السادس . خواص السوائل والغازات ١٠٨
الفصل السابع . الظواهر الحرارية ١٦٤
الفصل الثامن . المغنطيسية والكهرباء ١٩٧
الفصل التاسع . انعكاس وانكسار الضوء . الابصار ٢٣٤
الفصل العاشر . الصوت والحركة الموجية ٣٠٥

إلى القراء الاعزاء

يسر دار «مير» للطباعة والنشر أن تكتبوا إليها عن رأيكم في هذا الكتاب، حول مضمونه وترجمته، أسلوبه وشكل عرضه وتكون شاكرة لكم لو أبديتم لها ملاحظاتكم وانطباعاتكم. ويسر الدار كذلك أن تعلموها بما ترغبون الاطلاع عليه من الكتب العلمية والتكنكية السوفيتية التي تصدرها والمختارة من أفضل المراجع الجامعية والكتب العلمية المبسطة.

وبامكانكم الحصول على اسمائها من الكاتالوجات التي تنشرها الدار باللغات العربية والانجليزية والفرنسية والاسبانية.

يرجى إرسال الطلبات إلى الوكلاء المعتمدين لدى مؤسسة «ميجدونارودنايا كنيغا» السوفيتية، موسكو ١١٣٠٩٥

عنوان دار «ميز»:
الاتحاد السوفيتي–موسكو ١١٠
بيرفي ريجسكي بيريولوك رقم ٢