٢

الموسوعة
العلميّة
الحديثة

ARAB COMICS
عرب كوميكس
www.arabcomics.net

# كتاب العلوم

تأليف كولين رونان
رسوم بيتر نورث

Originally published in English under the title
Oxford Children's Reference Library.
A Book of Science by Colin Ronan
Illustrated by Peter North

© *Oxford University Press*

ينشر هذا الكتاب بالتعاون مع «الناشرون العرب».

جميع الحقوق محفوظة

**الأهلية للنشر والتوزيع**
بيروت ١٩٧٩

الموسوعة العلميّة الحديثة

٢

# كتاب العلوم

تأليف كولين رونان

رسوم بيتر نورث

الأهلية للنشر والتوزيع

الناشرون العرب

# المحتويات


| | |
|---|---|
| مقدمة | ٧ |
| ١ — المواد الصلبة | ٨ |
| ٢ — المواد السائلة | ١٠ |
| ٣ — الغازات | ١٢ |
| ٤ — المواد الصلبة ، السوائل ، الغازات | ١٤ |
| ٥ — الجزيئات والذرات | ١٦ |
| ٦ — المركب والخليط | ١٨ |
| ٧ — البلورات | ٢٠ |
| ٨ — الكربون | ٢٢ |
| ٩ — الساخن والبارد | ٢٤ |
| ١٠ — كيف يولد الاحتكاك الحرارة | ٢٦ |
| ١١ — الحرارة والطاقة | ٢٨ |
| ١٢ — الاحتراق | ٣٠ |
| ١٣ — الانفجارات | ٣٢ |
| ١٤ — الهواء | ٣٤ |
| ١٥ — الفراغات | ٣٦ |
| ١٦ — الامتصاص والسيفنة | ٣٨ |
| ١٧ — الفعل الشّعري | ٤٠ |
| ١٨ — الطفو والسباحة | ٤٢ |
| ١٩ — الضغط والضخ | ٤٤ |
| ٢٠ — الجاذبية — ١ | ٤٦ |
| ٢١ — الجاذبية — ٢ | ٤٨ |
| ٢٢ — ماذا يعني «الوزن» | ٥٠ |
| ٢٣ — التوازن | ٥٢ |
| ٢٤ — قوة الطرد المركزية | ٥٤ |
| ٢٥ — المعادن | ٥٦ |
| ٢٦ — الزنبركات وعملها | ٥٨ |
| ٢٧ — الجسور والأقواس | ٦٠ |
| ٢٨ — الكهرباء | ٦٢ |
| ٢٩ — التيار الكهربائي | ٦٤ |
| ٣٠ — المغناطيس — ١ | ٦٦ |
| ٣١ — المغناطيس — ٢ | ٦٨ |
| ٣٢ — النور والظلام | ٧٠ |
| ٣٣ — النور واللون | ٧٢ |

٣٤ — الانعكاسات والمرايا — ١ ٧٤
٣٥ — الانعكاسات والمرايا — ٢ ٧٦
٣٦ — الانكسار والمنظار المكبر ٧٨
٣٧ — العيون والبصر ٨٠
٣٨ — خداع البصر ٨٢
٣٩ — خداع البصر (اللون) ٨٤
٤٠ — الضوء وموجات الحرارة ٨٦
٤١ — أقصر الموجات ٨٨
٤٢ — موجات الصوت ٩٠
٤٣ — كيف يتحرك الصوت ٩٢

# مُقدّمة

في كل يوم تجري من حولنا أحداث غير عادية . ولكننا في الغالب نعتبر حدوثها أمراً مسلما به . وعند التفكير فيها نبدأ في التساؤل عن أسباب حدوثها . نتساءل مثلا : لماذا يظل الشاي ساخنا في قارورة مفرغة من الهواء؟ لماذا نرى البرق قبل أن نسمع صوت الرعد؟ وعندما تنظر في المرآة ، لماذا ترى صورتك على عكس وضعها الطبيعي ، وذراعك الأيمن مثلاً مكان الأيسر ؟ ما الذي يجعل الكهرباء تسري في سلك حتى تصل الى المصباح وتضيئه ؟ وإذا حككت شيئاً بقوة كما تفعل عندما تلمع طاولة أو تمسح شيئاً بِممْحاة ، فلماذا يسخُن الشيءُ الذي تحكه ؟

عندما نبدأ في البحث عن أجوبة أمثال هذه الأسئلة ، نجد أننا في حاجة إلى معرفة المزيد عن سلوك كلِّ ما يدخل في تكوين الطبيعة من حولنا ، وكلِّ مُكونات الأشياء . فما هو الفرقُ بين الحديد والخشب ؟ وما هو الهواء الذي نتنفسه لكي نظل أحياء؟ والذي يتحتم على رُواد الفضاء أن يتزودوا به في رحلاتهم الى الفضاء الخارجي حيث لا يجدونه؟ لماذا تنبَعِثُ الحرارةُ عندما نُشعل نارا؟ وما هي الحرارة؟ ومن أين تأتي الكهرباء؟ وماذا نقصد بقولنا ان الضوءَ والصوتَ والأشعةَ فوق البنفسجية كلها موجات؟

إذا قرأتَ هذا الكتابَ وجدتَ إجاباتٍ عن كثير من هذه الأسئلة . وهذه الإجابات ليست دائما سهلة . فبعضها يعجز حتى العلماء عن تفسيره تفسيرا كاملاً . قد يستطيعون أحيانا أن يخبرونا بما يحدث ، ولكنهم لا يعرفون كيف يحدث . فالعالم لا يأخذ شيئا على أنه أمرٌ مُسلَّمٌ به . فهو يحاول دائما أن يُثبت بالاختبار أن ما يعتقد بحدوثه يحدث فعلا . لذلك سوف ترى أن هذا الكتاب كثيرا ما يقترح عليك إجراء تجارب تثبت لك صحةَ ما فيه . وهناك أمر آخر يفعله العالم دائما ، وهو مراقبته بدقة فائقة ما يحدث حولَه . وهناك قِصص كثيرة من علماء لاحظوا حدوثَ أشياء مألوفة يقبلها الآخرون دون تساؤل ، وفكروا فيها ، واكتشفوا حقائق مهمة . فأول من لاحظ مَركباً يغيب عن ناظره تدريجاً في الأفق إلى أن يختفيَ آخرُ جزءٍ فيه وهو الصاري ، أدرك أن الأرضَ لا بد أن تكون كروية لا مستوية كما كان الناس يعتقدون . وبذلك أمكن لعلماء عظماء مثل اسحاق نيوتن وجاليليو أن يتوصلوا الى اكتشافات عظيمة .

ومعارِفُ العلماء في ازدياد مستمر . فمنذ مائة عام لم تكن معظمُ التوضيحات الواردة في هذا الكتاب معروفة . وبعد مائة عام أخرى سوف نفهم الكثيرَ مما نعجِز الآن عن فَهْمه . وهذا هو ما يجعل عمل العلماء مليئا بالإثارة .

# ١- المَوادُ الصّلْبَة

إذا أردْتَ أن تُخَيِّمَ في مكان ما ، احتجتَ إلى أن تنصُبَ خيمةً . وكان عليكَ أن تدقّ أوتادَ الخيْمة في الأرض بمطرقة خشبية حتى يصيرَ في الأرضِ منها ما يكفي لتثبيت حبل الخَيْمة . لكن مهما بلغت شدةُ دقّ الوتد ، فإنه يَبْقى محتفظا بشكله ، وذلك لأنه مصنوعٌ من خشبٍ صَلب ، أصلبَ بكثير من الأرض .

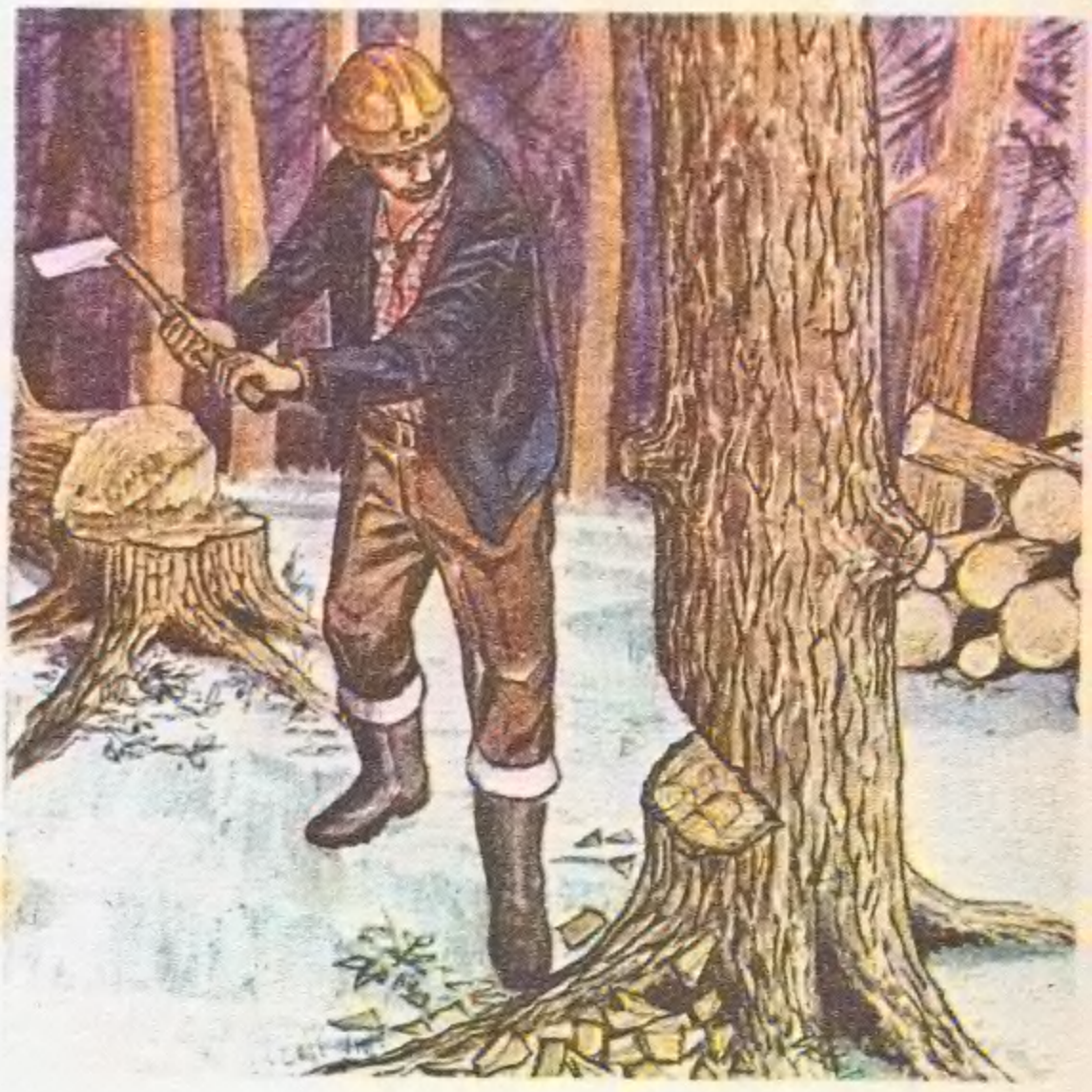
تُصنَعُ أوتادُ الخيام من خَشَب الأَشْجار . وتُقطع الأشجارُ في الغالب بالفؤوس . وللفأس رأسٌ يُصنع من مَعْدن أكثرَ صلابةً من الخشب ، كالحديد أو الصّلب . وعندما يَضْرب الحطاب الشجرةَ بفأسه ، تَظَلُّ فأسُه مُحْتَفِظةً بشكلها في حين أن شكلَ الشجرةِ يتغيَّر ، وتتطاير أجزاؤُها . وسببُ ذلك أن الشجرةَ أقلُّ صلابةً من الفأس . وإذا تطايرتْ أجزاءٌ كثيرة من جِذع الشجرة ، هوت على الأرض ، وأمكن حملُها وتقطيعها بمناشير من الصّلب . وقد تتحول الى نشارة ، فتفقد شكلها السابق تماما .

وبالرغم من أن غالبيةَ المعادن اكثرُ صلابة من غالبية

يستفاد من مرونة الخشب في صنع القوس

أنواع الخشب ، إلا أنها ليست أشد المواد المعروفة صلابة . فأكثر المواد صلابة هو الماس . فطرف الماسة المدبب يستطيع بسهولة أن يخدِش معدنا صلبا كالصلب . والواقع أنه يمكن صنع منشار أسنانُه من الماس بدلاً من المعدن . وهذا المنشار يَقْوى على قطع المعدن ! بل يقوى أيضا على شَقّ كتلة من الزجاج .

ولهذا فإننا إذا أردنا أن نقطعَ شيئا صلبا ، فإننا نفعل



تقطع الشجرة بالفأس .

منشار دائري من الصلب يقطع الشجرة أجزاء

جسر للقطارات من الصلب

ذلك باستخدام مادة أكثر صَلابة . فلا فائدة ، مثلا ، من محاولة دقِّ وتدٍ خشبي في جدار من الطوب ؛ وذلك لأن الطوبَ أكثرُ صلابةً ويكسر الوتد . في حين أننا نستطيع دقَّ مسمارٍ في الجدار ذاته ، لأن المسمارَ أشدُّ صلابة من الطوب .

وهكذا نرى أن الأشياءَ الصلبة تبقى محتفظةً بشكلها حتى نضربَها بمادة أكثر صلابة منها . لكن الموادَّ الصلبة ، تختلف الواحدةُ منها عن الأخرى في أمور أخرى غير الصلابة ! فمثلا إذا قذفتَ الموادَّ الصلبة بحجر ، فإن أثر الحجر على مادة منها يختلف عن أثره في مادة أخرى . ولو ألقينا حجرا على عمود من الصلب في جسْرٍ من الجسور ، ارتد الحجر دون أن يُحدِثَ أكثر من خَدْشٍ بسيط . لكن إذا ألقينا الحجر على جدارٍ من الطوب فإنه يرتد أيضا ولكن بعد أن يقطع جزءً منه . فالطوب ليس صلبا كالصلب ولا ينثني مثله . ولكنه أكثرُ قابليةً للتفتت ، ولهذا تتناثر أجزاؤُه . والزجاج صلب كالطوب والصلب ، ولكنه أشد منهما قابليةً للانكسار . فاذا ألقينا حجرا على نافذة من الزجاج يتشقق الزجاج أو يتحطم كله .

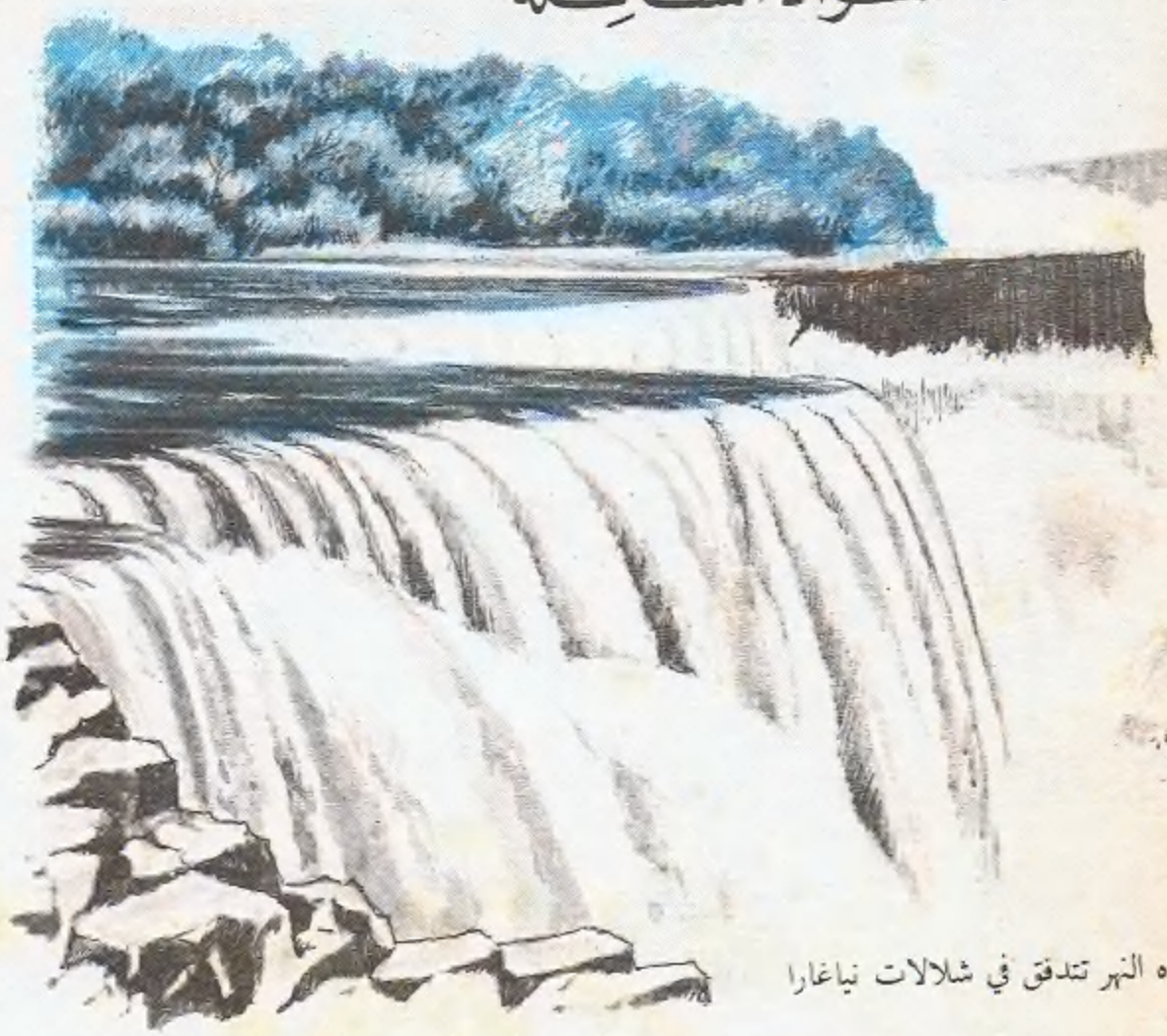
هناك مواد صلبة قابلة للالتواء والانثناء بسهولة . فعندما نلقي حجرا على عمود من الصُّلب ، فإننا قد نخدِشه . ولكن إذا ألقيناه على صفيحة من الصُّلب فإنها لا تنكسر ، وإنما تنبعج وربما تغير شكلها أو تَشوَّه . وإذا أصاب الحجر ماسورةَ ماءٍ من الرصاص ، فإنها تنبعج أكثرَ من الصفيحة . والصُّلب والرصاص نوعان من المادة الصلبة يختلفان تماما عن الزجاج . فإنهما لا يتشققان ولا ينثنيان . والصلب أقلُّ قابليةً للتشقق والانثناء من الرصاص .

وهكذا نرى أن للمواد الصلبة المختلفة خواص مختلفة . بعضها ينثني بسهولة ، والبعضُ الآخر هَش . فالمواد الصلبة كالحديد والصلب شديدة الصلابة . بينما نجد المواد الأخرى كالورق والكرتون وغالبيةِ أنواع الخشب أقلَّ صلابةً بكثير ويمكن تقطيعها وتكوين أشكال منها بسهولة . ويحتاج المهندسون والصناع إلى أن يعرفوا تماما صلابة أو ليونة أية مادة يستخدمونها في صناعة شيء ما ، وخاصةً عندما يكون هذا الشيءُ جِسراً أو طائرةً تحمل أوزانا كبيرة .

وخواصُّ المواد الصَّلبة لا تبقى على حالها . فقطعة الزبدة المحفوظة في الثلاجة تكون صلبة وذاتَ شكل خاص ؛ فإذا أُخرِجَتْ من الثلاجة تفقد صلابتَها بالتدريج ، وتُصبح لينة . فإذا وُضعتْ إلى جانب النار وتأثرت بحرارتها فقدت شكلها تماما ، وتحولت الى سائل . وغالبيةُ المواد الصلبة تصير لينة عندما تسخن . أما الموادُّ الشديدةُ الصلابة كالحجارة والحديد فإنها لا تصيرُ لينةً إلا بعد أن تسخن كثيرا . ولهذا فهي عادة صلبة وقوية .

آلة طرفها من الماس وقوية الى حد أنها تقطع الزجاج المستخدم في صنع نافذة زجاجية ملونة .

# ٢- المَوَاد السَائِلَة



مياه النهر تتدفق في شلالات نياغارا

إن أبردَ جزءٍ من الأرض هو الذي يحيط بالقطب الجنوبي . وهو قارة ضخمة أكبر من أوروبا والولايات المتحدة الأمريكية معا . ولا شيء فيها سوى الجليد والثلج والصخور الجرداء على بعض الجبال . ومع هذا فالعلماء يعيشون فيها لدراسة الطقس ومعاينة الصخور الواقعة تحت الجليد . ويقضون فيها شهورا متتالية . ويحصلون على ماء للغسل والشرب بجمع الجليد والثلج وتسخينهما حتى يذوبا ويتحولا إلى ماء .

ويحصلُ الشيءُ ذاتهُ للبوظة . فعندما نخرجها من الثلاجة تكون كتلةً صلبة مربعة أو مستديرة . وحالما تسخن وتبدأ في أكلها تأخذ في الذوبان وتتحول الى سائل كالحليب قد يسيل على ملابسك .

والثلج مادة متماسكة وصلبة . وعندما يكون الطقس شديدَ البرودة يتجمد ماءُ الخزان خارجَ المنزل ، ويصبح كتلةً واحدة صلبة وكبيرة . وإذا كان للخزان صُنبور وفُتح ، لم يَخْرُجْ منه شيء ، لأن الكتلة الصلبة لا تنفذ منه . لكن عندما يصبح الطقس دافئا ، يذوب الثلج ويتحول الى ماء . ويمكن للماء أن يتخذ أي شكل ، لأنه ليس كتلة صلبة كالثلج . ولهذا يسيل من الصُّنبور .

والماء سائل . وكل السوائل تأخذ شكلَ الوعاء الذي تكون بداخله . فإذا صببنا الماءَ في كأس مضلع فإنه يملأ الكأس ، ويتخذ شكلَه . ولكن إذا صببناه في كوب أجوف أو طست فإنه يتخذ شكل الكوب أو الطست . ويحدث مثلُ هذا للحليب والشاي ولأيِّ سائل آخر . وإذا سكبنا الماء على الأرض جرى في كل اتجاه لأنه ليس على الأرض شيء يأخذ الماءُ شكلَه .

وعندما يكون الماء في الوعاء ، لا يأخذ شكل الوعاء فحسب – سواء كان الوعاء كأسا أو كوبا أو طستا – بل يضغط على جدرانه كأنه يحاول الهرب . ولتوضيح هذا خُذْ عُلبةَ صفيح طويلة ، واملأها بالماء . ثم أَحْدِثْ فيها ثلاثةَ ثقوب : ثَقْباً في أعلاها ، وآخرَ في وسطها ، وثالثا عند قاعها . تجد أن الماء يتدفق من الثقوب الثلاثة . ولكن الماء المتدفق من الثقب الأوسط يصل مسافةً أطولَ من الماء المتدفق من الثقب الأعلى ؛ وتجد الماءَ المتدفق من الثقب الأسفل يصل مسافةً أبعدَ من الماء المتدفق من الثقب الأوسط ، كما هو مبين في الرسم .

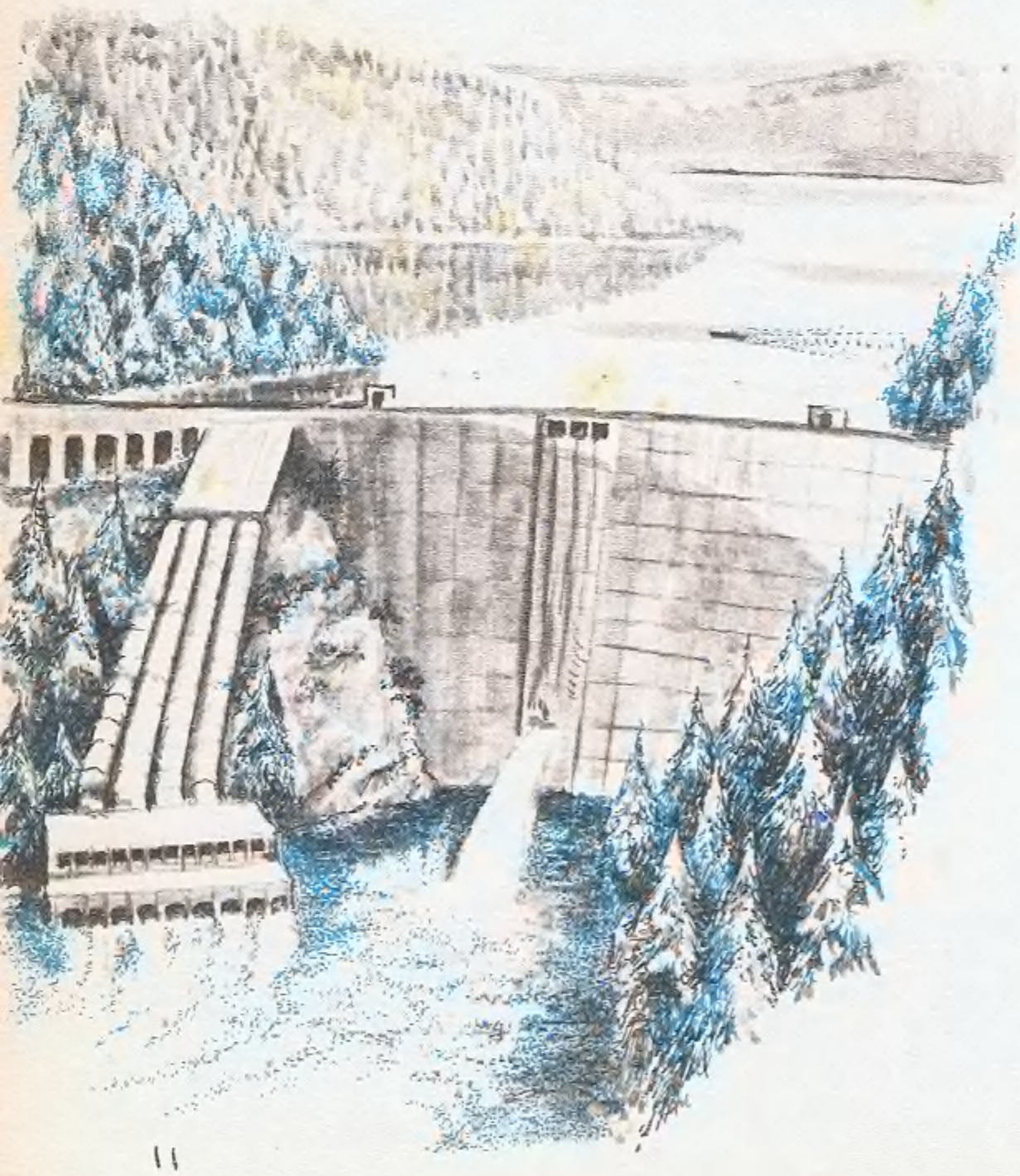
والسبب في أن الماء يندفع بقوة أكبر من الثقبين الاوسط والسفلي هو ضغط الماء فوقهما . فاندفاع الماء من الثقب يحصل من ضغط الماء فوقَه . وكلما زادت كمية الماء فوقه ، قَوِي اندفاع الماء المتدفق منه .

وما يسبب الضغطَ على الماء ، هو وزنُ الماء ذاتِه . والناس لا يتذكرون دائما بأن للماء وزنا . ولكنك إذا رفعتَ دَلْوا فارغا ، ثم رفعتَ آخر مملوءً بالماء ، وجدتَ أن

الماء يخرج من ثلاثة ثقوب أحدها فوق الآخر

رواد القطب يجمعون الثلج لاذابته وتحويله إلى ماء

السد يجمع خلفه ماء له وزن عظيم



الماء ثقيل . وفي علبة الصفيح ذات الثقوب الثلاثة ينجم الضغطُ على الثقب الأسفل من جراء وزن الماء كله ؛ وعلى الثقب الأوسط من جراء وزن نصف الماء ؛ وعلى الثقب الأعلى من جراء وزن ماء قليل ؛ ولهذا فالضغط على الثقب الأعلى هو أقل الضغُوط الثلاثة .

واذا أخذتَ علبة صفيح مملوءة بالحِساء ، وثقبتَها من أعلاها ، تجد أن الحساءَ لا يخرج منها . وحتى اذا قلبتَها ، وضغط الحساءُ بثقله على الثقب ، فإنه لا يخرج منها . لماذا ؟ لأنه لا يمكن للحساء أن يخرج من العلبة إلا إذا دخل العلبة شيء آخر وحلَّ محلَّه . ولا يمكن للهواء أن يدخل في العلبة ما دام فيها ثقب واحد يسده الحساء . فإذا أحدثتَ ثقبا آخر في العُلبة ، خرج الحِساء بسهولة من ثقب ، ودخل الهواء من الثقب الآخر ليحل محله . وإذا سددتَ الثقبَ الثاني بأصبعك ، توقف الحساء عن التدفق من العلبة . وهذا هو ما يجعلنا نحدث ثقبين في أية علبة من علب السوائل عندما نريد إخراج ما فيها بسهولة ؛ وهذا هو أيضا سبب وجود ثقب دائما في غطاء إبريق الشاي .

# ٣- الغازات

الدخان عبارة عن خليط من الغازات

عندما تهب الريح على الأشياء ، يتحرك بعضها . ويتطاير بعضُها الآخر كأوراق الشجر والورق والقبعات . وفي بعض الأحيان تكون الريح قويةً إلى حد أنها تقلب السياج ، وتقتلع الشجر ، وتُحدث أضراراً بالغة . لكن مهما بلغتْ قوةُ الريح ، فإننا لا نستطيع أن نراها . وكل ما نستطيعه هو أن نحسَّ بها وهي تهب علينا ، وأن نشاهدَ ما تفعله . ولا يمكننا أن نراها لأنها تتكون من هواء متحرك (أنظر فصل ١٤) ونحن نستطيع أن نُحِسَّ بالهواء ، وأن نتنفسه ، ولكننا لا نستطيع أن نراه .

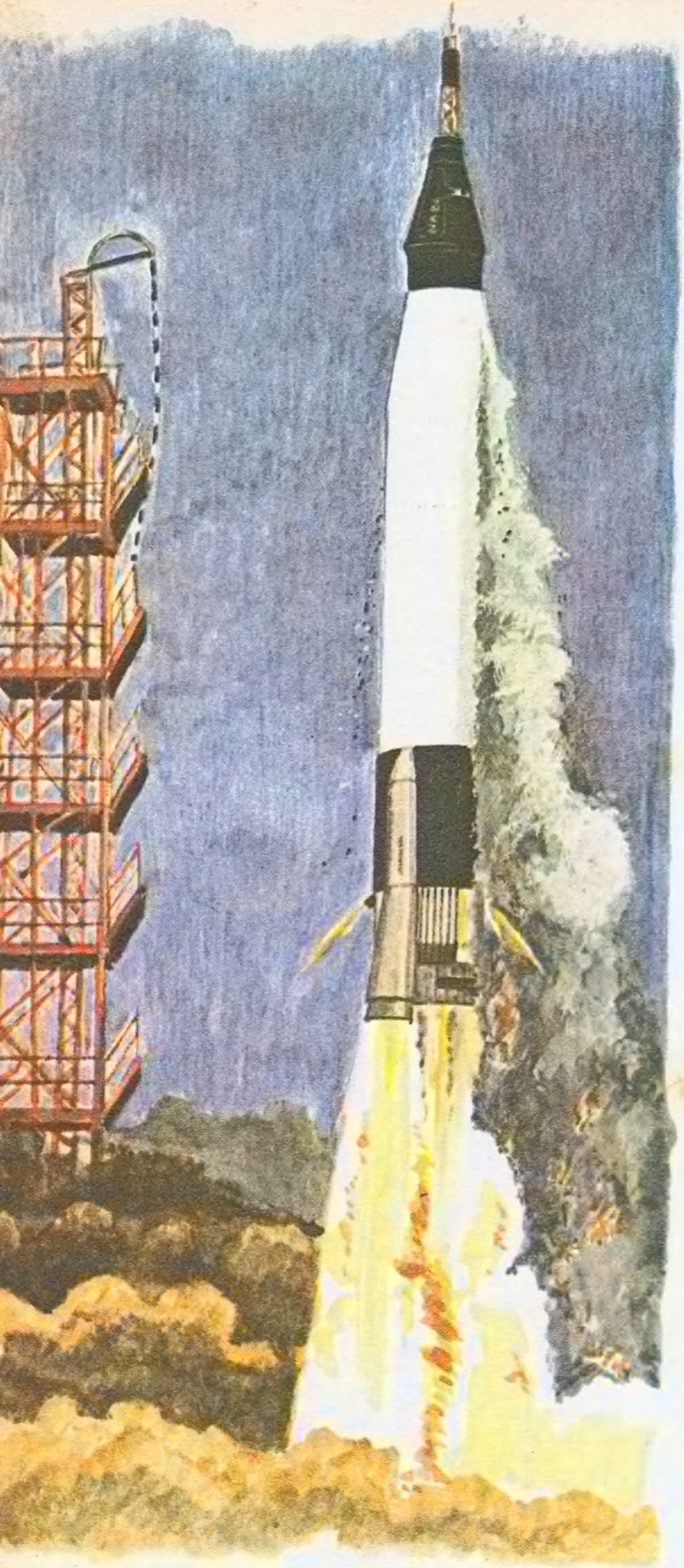
وعلى الرغم من اننا لا نستطيع أن نرى الهواء ، فإنه ينتشر في كل مكان حولنا ، ويملأ كل بُقعة صغيرة وفتحة . ففي الغرفة ينتشر الهواء في كل مكان : في داخل خزانة الملابس ، وتحت الكراسي ، وفي زوايا السقف ، وحتى تحت السجاد . والهواء يوجد في كل مكان لأنه غاز ، والغاز كالسائل لا يتخذ شكلاً خاصاً ، ولكنه ينتشر بكل اتجاه . والهواء كذلك ينتشر حول الأرض . وحيثما ذهبنا ، وجدنا هواء نتنفسه .

اذا أردت ان ترى بوضوح كيف يملأ الهواء فراغاً . خذ مِنفاخاً وانفخ به إطارَ دراجة . فكلما سحبتَ يد المنفاخ يمتلىء بالهواء ؛ فإذا كبستها ، أفرغتَ الهواء في الإطار . واذا واصلت النفخ ، انتفخ الاطار وصار مستديراً بسبب الهواء . وكلما ازداد الإطار انتفاخاً واستدارة ، اشتدت صلابته ، وصارت عملية النفخ أصعب من ذي قبل .

إن الذي يجعل عملية النفخ أصعبَ من ذي قبل هو انضغاط الهواء داخل الإطار . فكلما نفخنا المزيد من الهواء داخله ، زاد انضغاط الهواء فيه ، وزادت صعوبةُ النفخ ، وصار الإطار أشد صلابة ، واشتد ضغطُ الهواء على داخل الإطار .

والهواء المضغوط قد يكون قوياً جداً . ونرى هذا إذا نفخنا أحدَ البالونات نفخاً شديداً . قبل النفخ يكون البالون طرياً وبلا شكل . فإذا أخذنا في نفخه دخله الهواء واخذ يملأه . وإذا واصلنا النفخ امتلأ بالهواء وصار شكلُه جميلاً . لكن المزيد من النفخ يضغط الهواء بداخله .

نفخ إطار الدراجة



ويأخذ الهواء في الضغط على جوانب البالون وتكبير حجمه . فإذا زاد النفخ عن الحد اللازم عجز المطاط الذي يُصنع منه البالون عن تحمل ضغط الهواء . وعندئذ ينفجر محدثاً فرقعة .

ويحدث مثل هذا للبالون اذا نفخنا فيه أيّ غاز آخر . فإذا ملأناه مثلاً بغاز الهيدروجين ، فإن حجمه يأخذ في الكبر كلما زاد انضغاط الهيدروجين بداخله . وإذا أتممنا نفخه ، وربطنا فمه ، وتركناه ، فإننا نشاهد شيئاً غريباً . فبدلاً من أن يصل الأرض كغيره من البالونات التي تُملأ بالهواء ، فإنه يرتفع . فإذا افلتناه في غرفة من الغرف ، وصل السقف وبقي هناك . أما إذا أفلتناه في الخارج ، فإنه يرتفع فوقَ الأشجار والبيوت ، ويظل يرتفع حتى يختفي عن الأنظار . والسبب في هذا هو أن غاز الهيدروجين أخفُّ من الهواء ، وأخفُّ من جميع الغازات . وإذا قارنا بين الهواء والهيدروجين وجدنا الهواء أثقلَ بكثير . فالهواء يتكون من غازين كلاهما أثقل من الهيدروجين ، وهذان الغازان هما الأوكسجين والنيتروجين . والنيتروجين أثقل من الهيدروجين بأربع عشرة مرة ، والأوكسجين أثقل من الهيدروجين بست عشرةَ مرة . وهكذا فإن البالون المملوء بالهواء يزن خمسة عشر ضعفاً من وزن بالون مثله مملوء بالهيدروجين . والعلماء يعرفون غازاتٍ أخرى كثيرة كلها أثقل من الهيدروجين . وتنتشر هذه الغازات وتملأ الاماكن التي تكون فيها .

وهاك طريقة أخرى لرؤية قوة الغاز المضغوط . خذ بالوناً وانفخه ، ثم اتركه بدون أن تربط فوهته ، تجد أن الهواء يندفع خارجاً من الفوهة ، وأن البالون يندفع في الجهة المعاكسة . وعند خروج الهواء المضغوط ، يضغط على جوانب البالون ، ويدفعه بعيداً . ويعمل صاروخ الفضاء بهذه الطريقة . فعندما يندفع الهواء المضغوط الى الوراء ينطلق الصاروخ الى الأمام . والطائرة النفاثة تُخرج الهواء المضغوط وتنطلق . ولكن الصاروخ والطائرة النفاثة يستخدمان الغاز والهواء الساخنين ، وذلك لأن الغاز الساخن ينضغط أكثر من الغاز البارد ، وكلما زاد انضغاطه زادت قوته .

الصاروخ ينطلق إلى أعلى بقوة الغاز المندفع

# ٤ - المواد الصّلبة ، السوائل ، الغازات

الثلج فوق بحيرة بيكال في روسيا قوي إلى حد انه يحمل قطاراً

عندما يسير قطار على جسر حديدي ، يبقى الجسرُ قوياً ثابتاً . وسواء أكان اليوم شديدَ الحرارة وشمسه محرقة ، أم كان شديد البرودة الى درجة التجمد ، فإن الجسر يبقى كذلك ، ويسير عليه القطار في أمان ! لماذا يا ترى ؟ لأن الحديد يظل قوياً ثابتاً في الجو الحار وفي الجو البارد . فالحديد لا يتغير شكله سواء سخن بسبب حرارة الشمس أو برد بسبب الصقيع .

حولنا أشياء كثيرة مثل الجسر نجدها في العادة صلبة . ومنها الحديد والحجر والخشب . ومنها أيضاً حبات الملح والسكر . لكن حولنا أيضاً اشياء كثيرة كالماء والحليب او دبس السكر نجدها في العادة سائلة . كما ان هناك أشياء نسميها الغازات كالهواء والغاز « الخاص » الذي يحترق في موقد الغاز او طباخ الغاز . لكن كون هذه الأشياء في العادة أشياء صلبة او سائلة او غازات لا يعني انها لا تتغير من شكل الى آخر .

وبعض الأشياء تتغير بسهولة من شيء صلب الى سائل ، ومن سائل الى غاز أو العكس . فالماء مثلاً يتجمد في أيام الشتاء الباردة ويتحول الى ثلج يغطي البحيرات والأحواض ، ونستطيع التزلج عليه . ففي روسيا بحيرة عظيمة يغطيها الثلج بكثافة تسمح بمرور القطارات عليها كما تمر فوق جسر من الحديد . ويمكننا من الناحية الأخرى ان نغلي الماء في إبريق إلى أن يتحول إلى بخار ، اي انه يتحول من سائل إلى غاز . والمادة في هذه الحالة هي نفسها — ماء . ولكن شكلها يتغير . ويسمي العلماء هذا التغير « تغير الحالة » .

وتتغير حالةُ المادة عندما تتغير درجة الحرارة . فإذا ألقينا بعضَ حبات السكر أو الملح على النار فإنها تذوب ثم تحترق وينبعث منها لهب ملون . وما هذا اللهب الملون الا الغاز الحار المتوهج الذي تحول إليه الملح والسكر . واذا تركت قضيباً من الحديد في النار ، فإنه يحمى كثيراً ، ولكنه لا يغيّرُ حالته ويصبح سائلاً ، لأن حرارة النار العادية لا تكفي لذلك . ولكن إذا أُحمي القضيبُ كثيراً

تشكيل اللدائن ( بلاستيك )

في نار أحد الأفران ، فإنه يتحول إلى سائل يمكن أن يسيل من الفرن . واذا بلغت درجةُ الحرارة حداً عالياً جداً فإنه يتحول إلى غاز .

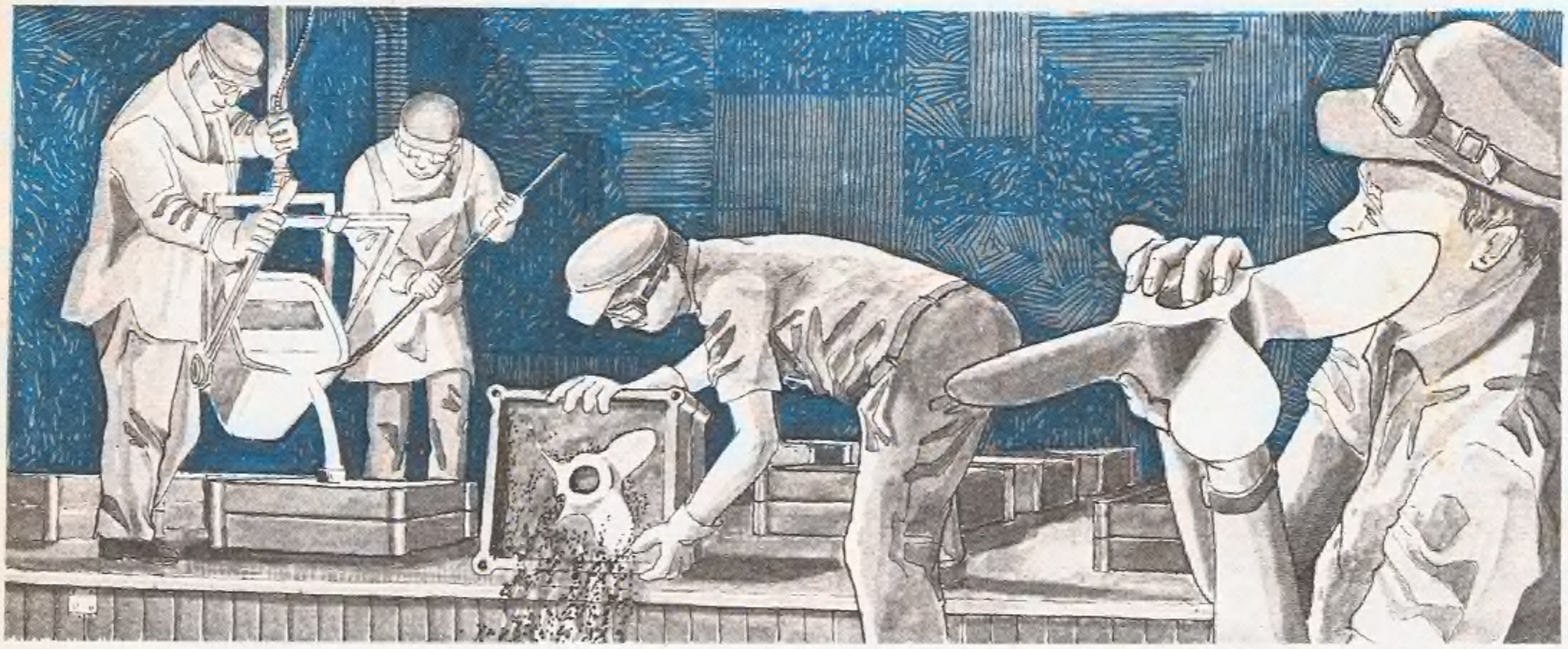
والحليبُ ودِبس السكر في العادة من المواد السائلة . لكن الحليبَ يتجمد أحياناً عندما يصيرُ الطقسُ شديد البرودة . وقد تكون رأيتَ في اعلى زجاجة الحليب حليباً متجمداً يدفع غطاءَها . لكن دبس السكر يظل سائلاً راكداً لزجاً حتى يجري تسخينه . فإذا سخن ، سال كالماء . ولكنه لا يتحول إلى مادة صلبة إلا إذا بلغت برودته برودة القطبين الشمالي والجنوبي . وفي درجات الحرارة العادية نجد المادة الطينية التي نصنع منها مختلف الأشكال مادة بلاستيكية نكيفها كما نشاء . ولكنها ليست مادة سائلة لأنها لا تسيل .

وعندما تتغير درجاتُ حرارة الاشياء واحوالها ، يتغير حجمها . فالغازات تشغل حيزاً أكبر من الحيز الذي تشغله السوائل . وعندما يتحول الماء إلى بخار ، يتمدد أو يشكل حيزاً أكبر من الحيز الذي كان يشغله . ويفسر لنا هذا لماذا يرفع البخار غطاء الإناء الذي نغلي فيه الماء . وعندما تشتد برودة الغازات التي تتحول الى سوائل ، كالهيدروجين والاوكسجين ، فإنها تحتل حيزاً أصغر بكثير من الحيز الذي كانت تحتله من قبل . ولهذا فإن الصواريخ الفضائية تحمل الغازَ على شكل سائل . فعندما يسخن يتحول الى غاز ويطلق الصاروخ إلى الفضاء .

الشمس تذيب الرجل الثلجي

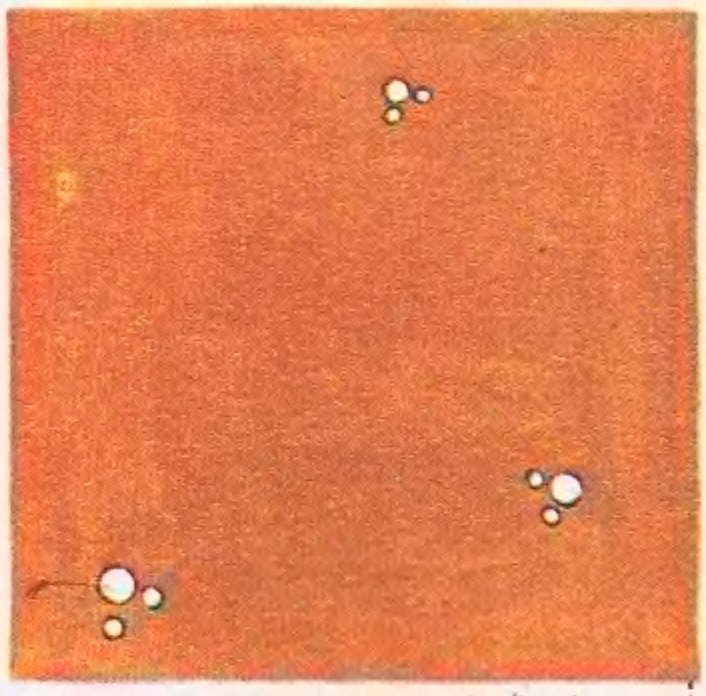
وتحتل السوائل في العادة حيزاً أكبر من الحيز الذي تحتله المواد الصلبة . فالحديد السائل الساخن مثلاً يحتل حيزاً أكبر من حيز الحديد الصلب . والأشياء الساخنة تحتل في العادة حيزاً أكبر من الأشياء الباردة .

لكن الماء لا يخضع لهذه القاعدة . فعندما تتغير حالته ويصير ثلجاً ، فإن الثلج يحتل حيزاً أكبر . وهذا هو ما يفسر لنا لماذا تنفجر مواسير المياه احياناً في الطقس البارد إذا لم تفرغ من الماء . والذي يحدث هو أن الماء يتجمد ويكبر حجمه ويتحول إلى ثلج . ولما كان داخل المواسير يضيق عن حجم الثلج فإنها تنفجر . لكن تصعب ملاحظة شقوقها ما دام الثلج صلباً . ونحن نراها حالما يبدأ بالذوبان ويتدفق منها الماء . والحليب المتجمد يخرج من فوهة الزجاجة لأن ثلاثة أرباعه هي في الحقيقة ماء يكبر حجمه اذا تجمد .

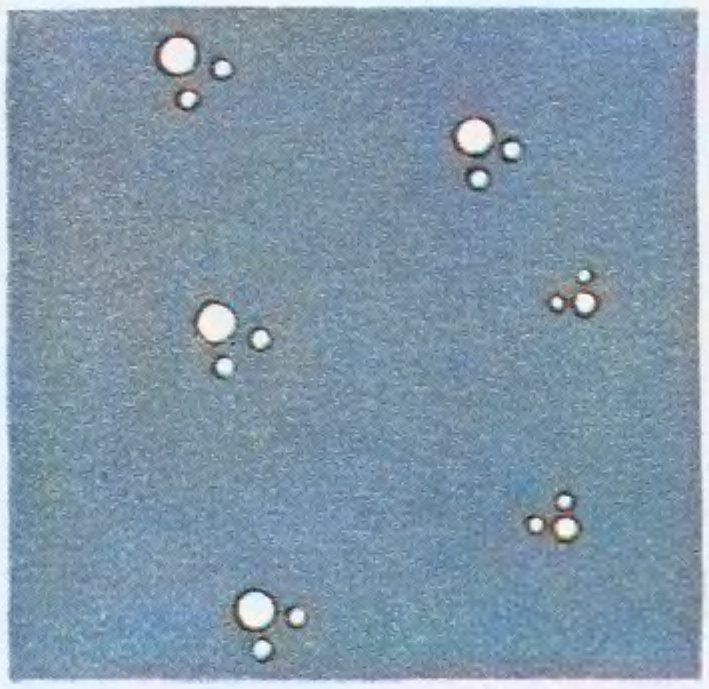


رجال يصبون الصلب المذاب في قالب لصنع محرك السفينة

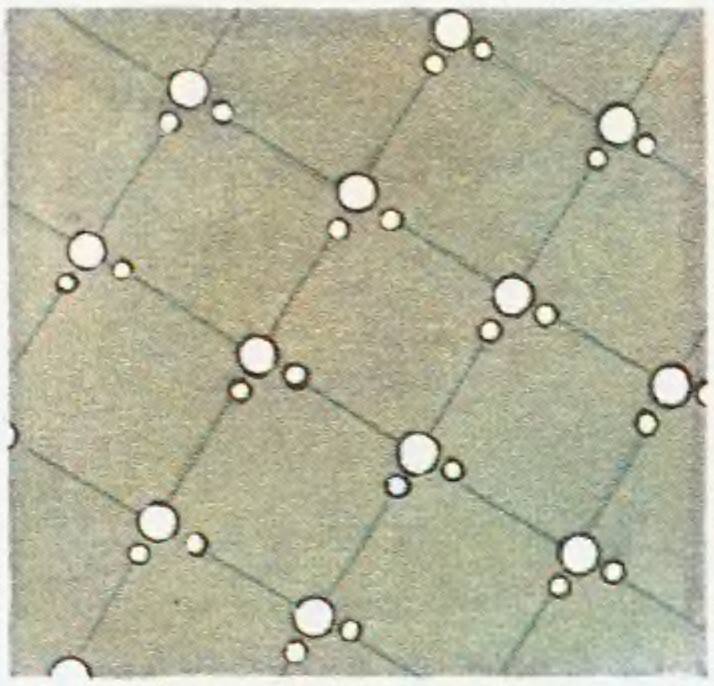
# ٥ - الجزيئات والذرات



أ — جزيئات البخار



ب — جزيئات الماء



جـ — جزيئات الثلج

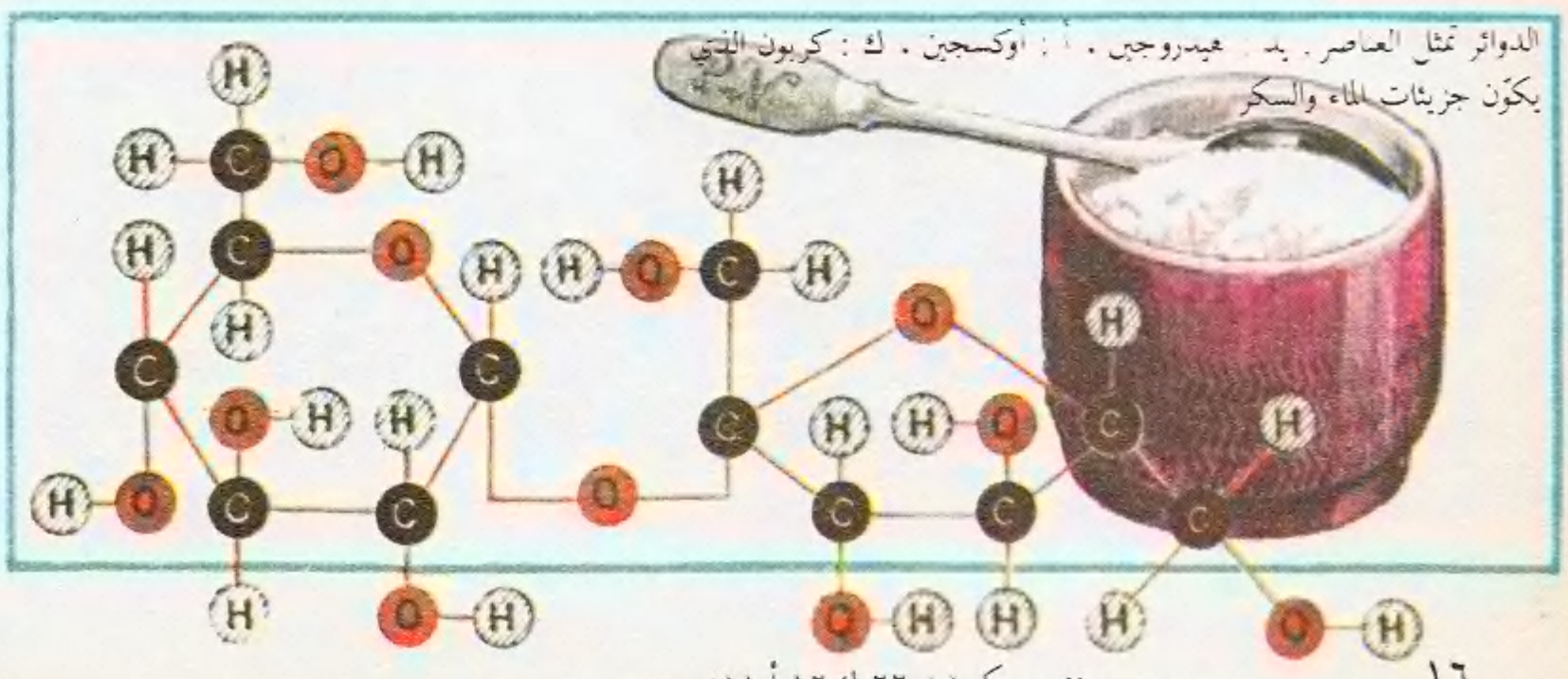
إذا وضعتَ إبريقاً مملوءً بالماء على موقد ، فإنه يسخن تدريجاً حتى يبدأ الماء بالغليان ، ويخرج بعض الماء من فوهته على شكل بخار (ماء متبخر) . فإذا اصطدم هذا البخار بسطح بارد مثل زجاج النافذة فإنه يتكثف عليها ويتحول ثانية إلى ماء . وهذا يوضح لنا أن الماء والبخار ليسا إلا شكلين مختلفين لشيء واحد .

وعندما يطير البخار من الاناء ينتشر على شكل «أجزاء» صغيرة إلى حد لا يمكن معها رؤية كل جزء على حدة . وهذه الاجزاء هي أصغر قطع من البخار يمكن ان توجد ، وتسمى جزيئات . وبما ان البخار ماء ، فإن جزيئاته هي نفس جزيئات الماء ، وكذلك فهي نفس جزيئات الثلج ، فليس الثلج سوى ماء صلب . والحقيقة هي أن جزيء البخار وجزيء الماء وجزيء الثلج ما هي الا جزيئات متماثلة . لكن بينما تتحرك جزيئات البخار بحرية ، فإن جزيئات الماء والثلج تبقى متماسكة (انظر الشكل ١) .

دعنا نتخيل انه من الممكن أن نأخذ قطعة من الثلج وأن نقسمها بسكين حاد إلى قطع صغيرة ثم إلى قطع أصغر . لا نلبث أن نجد أن السكين ليس حاداً بشكل يساعدنا على المضي في عملية القطع ، وان القطع صارت أصغرَ من ان تُقْطع . ولكن لو أمكن الاستمرار في القطع فماذا يحدث ؟ نصل في النهاية إلى أصغر قطعة من الثلج وهي الجُزَيءُ الذي يساوي أصغر «قطعة» من بخار الإناء . والحقيقة هي ان حرارة الماء وهو يغلي تعمل عمل السكين الحاد الذي تخيلناه فتقسم الماء إلى جُزَيئات .

وبالمزيد من التقسيم يمكننا ان نقسم الجزيءَ ذاته إلى أقسام أصغر . لكن هذه الاقسام لن تكون من الثلج أو الماء أو البخار . ولكنها ستكون المواد التي تؤلف الثلج أو الماء . فجزيءُ أية مادة يتكون من اجزاء أصغر تعرف بالذرات . فجزيءُ الثلج أو الماء او البخار مثلاً يتكون من ذرتين من الهيدروجين وذرة من الاوكسجين . وكلا الهيدروجين والاوكسجين غاز (وهناك كمية كبيرة من

جزيء ماء (يد ٢ أ)




جزيء سكر (يد ٢٢ ك ١٢ أ ١١)

ابريق من النحاس

ساعة ذهبية بسلسلة فضية

طلقات رصاص

[ الرصاص والذهب والفضة والنحاس والزئبق جميعها عناصر ]

الأوكسجين في الهواء الـــــذي نتنفسه) . وإذا اتحد الهيدروجين والأوكسجين يتكون منهما الماء . وبالطبع فإن الجُزَيء الواحد من الماء صغير إلى حد أنه لا يُرى . فالذرات لا يمكن رؤيتها حتى بالمجهر الدقيق .

وإذا تمكنـــا من تقسيم قطعـة من السكر بنفس الطريقة ، فإننا نصل في النهاية الى جزيء السكر . واذا قسمنا هذا الجزيء نجد أننا نحصل على ذرات من الكربون الصلب وعلى هيدروجين وأوكسجين وهما من الغازات (أنظر فصل ٤) . وإذا تناولنا مواد أكثر تعقيداً من السكر ، وجدنا أن جزيئاتها تتألف من ذرات كثيرة متنوعة . والحقيقة هي أن المواد تختلف أحداها عن الأخرى لأن جزيئاتها تتكون من أنواع مختلفة من الذرات .

وتعرف بعض المواد ، مثل الذهب والفضة ، ومثل الاوكسجين والهيدروجين بـ«العناصر» وذلك لأن جزيئاتها لا تتكون من نوعين أو أكثر من الذرات ، بل من نوع واحد . فجُزيء الذهب مثلاً يتكون من ذرات ذهب فقط . وهناك أكثر من تسعين عنصراً طبيعياً نعرف بعضها معرفة جيدة . فكما نعرف الذهب والفضة نعرف معادن الرصاص والتنك والزئبق والحديد والنحاس ، وكذلك بعض الغازات وغيرها من المواد . فكل شيء في الطبيعة — بما في ذلك الكائنات الحية — يتكون من ذرات ، وواحد أو أكثر من هذه العناصر .

والعناصر ذات أشكال مختلفة . فالحديد مثلاً صلب ، والزئبق سائل ، والأوكسجين غاز . ولكن عند تسخين مادة صلبة أو سائلة تتحول إلى غاز بدون ان تتغير جزيئاتها . وحتى الشيء الصلب ، كالحديد ، يتحول إلى سائل إذا تعرض لدرجة معينة من الحرارة ؛ فإذا رفعنا درجة الحرارة تحول إلى غاز . ومع هذا فإنه يبقى حديداً .

ونجد ايضاً أن بعض المواد التي تختلف في شكلها تتكون في الواقع من الجزيئات ذاتها ولكن على نحو مختلف . فالفحم النباتي والماس اللذان يختلفان اختلافاً تاماً في الشكل يتكونان من عنصر واحد وهو الكربون (أنظر فصل ٨) . وإذا حَمِيَت ماسة في نار درجةُ حرارتها عالية إلى الحد المطلوب ، تحولت الى رماد كما يتحول الفحم النباتي ، وهذا الرماد رماد كربوني .

الفحم النباتي والماس يتكونان من الكربون

# ٦ - المُرَكّبُ والخَلِيط

رأينا في الفصل السابق كيف تتحد الذرات وتؤلف مواد معقـــدة ، وأن أصغر أجزاء هـــذه المواد يعرف بالجُزيء . فجزيء الماء — مثلاً — يتكون من ذرة واحدة من الأوكسجين متحدة مع ذرتين من الهيدروجين (يد ٢ أ) . وجزيء السكر يتألف من ذرات الهيدروجين والكربون والاوكسجين (يد ٢٢ ك ١٢ أ ١١) .

لكن إذا أردنا ان نصنع طبقاً من الحلوى ، استخدمنا دقيقا وزبدة وخميرة وسكراً ومزجناها بالحليب ، ثم خلطناها معا حتى تصبح جاهزة للطبخ . ونلاحظ انها بعد الخلط صارت شيئاً مختلفاً عن المواد الاصلية ، وهي الزبدة والسكر والدقيق والخميرة والحليب . لكن لو أخذنا أصغر قطعة من الخليط الذي تكون منها ، فإننا لا نحصل على جزيء من الحلوى ، لأنه لا وجود لشيء مثل هذا . فقطعة الخليط مهما صغرت تبقى مؤلفة من مواد الخليط كلها . هذا مع العلم بأنه يستحيل حتى على الكيميائي أن يحلل القطعة الى المواد التي دخلت في تكوينها . ذلك أن صنع الحلوى لا يغير الزبدة والمواد الاخرى من الناحية الكيميائية . وكل ما يحدث هو خلط هذه المواد معا . وما نحصل عليه ليس إلا خليطاً . لكن عندما تتحد ذرات الاوكسجين والهيدروجين وتكون ماء ، فإنها تصير شيئاً مختلفاً اختلافاً كلياً من الاوكسجين والهيدروجين . انها تصير مركباً . والمركب مادة أخرى مختلفة .

ولنأخذ الآن شيئاً أبسط من الحلوى وهو الملح . يقول العلماء انه مركب من الصوديوم والكلور ، وانّ كل حبة من الملح تتألف من أجزاء من معدن لين فضي اللون يعرف بالصوديوم ، ومن غاز أخضر اللون مائل إلى الاصفرار يعرف بالكلور . والحقيقة هي ان الملح يسمى أحياناً كلورايد الصوديوم . وعندما يتحد هذان العنصران

الصوديوم

عناصر الملح

الكلور

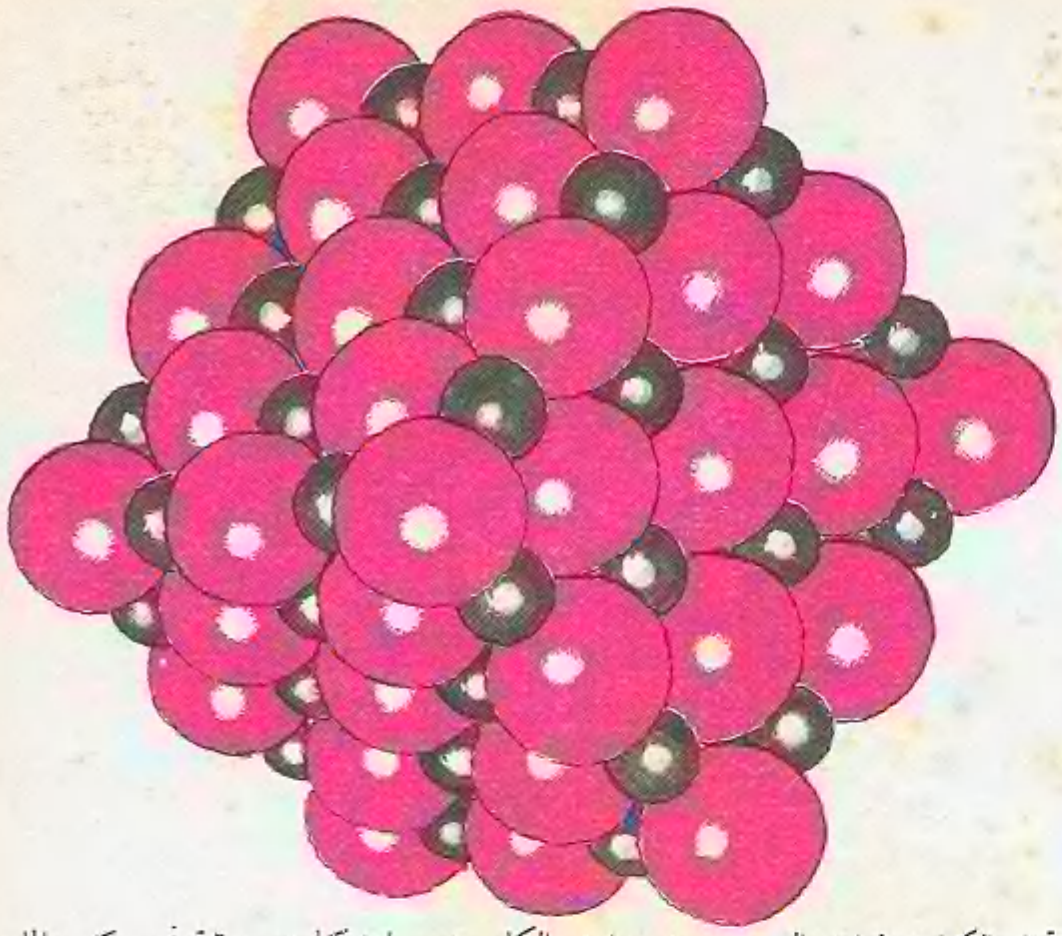
ويكونان الملح يصبحان شيئاً مختلفاً كل الاختلاف عن الصوديوم وحده أو الكلور وحده . والكلور بحد ذاته غاز قد يسبب الاختناق ويقتل الناس ، بينما لو اتحد مع الصوديوم ، الذي لا يمكن ان يؤكل وحده ، يتكون منهما الملح ، وهو مادة ضرورية للحياة حياة صحية ، ونأكلها في كل يوم من أيام حياتنا .

لنأخذ الآن قليلاً من الملح ونضعه في كأس ماء . (وكما نعرف فإن الماء (يد ٢ أ) يتكون من اوكسجين وهيدروجين) . فإذا كان الماء دافئاً ذاب الملح بسرعة ، وتكون خليط «أو محلول» يأخذ الرطوبة من الماء والملوحة من الملح . فإذا سكبنا المحلول في وعاء ووضعناه في الشمس ، فإن الماء يتبخر بسرعة ، أي أن الماء سوف يسخن ويتحول الى غاز — أو بخار ماء — ويبقى الملح وحده ، وذلك لأن الملح لم يتحد مطلقاً مع الماء ، بل اختلط به اختلاطاً فقط .

بعض المواد شديد التعقيد . ومن أشدها تعقيداً الأشياء الحية . فأي نبات أو حيوان — بما في ذلك أجسامنا — تتكون من أنواع كثيرة ومختلفة من الذرات والجزيئات مرتبة ترتيباً مختلفاً . فهي — في الحقيقة — أخلاط من المركبات . وأكثر عناصرها أهمية على الاطلاق هو الكربون (أنظر فصل ٨) . فالكربون وحده هو الذي يستطيع أن يتصل بذرات أخرى بطرق مختلفة جداً ، ويكوّن جزيئات معقدة تحتاج اليها الأشياء الحية .

والهواء (أنظر فصل ١٤) خليط من غازين مختلفين ، وهما الاوكسجين والنيتروجين ، ومن مقادير أصغر منهما بكثير من الغازات الأخرى ، وشيء من بخار الماء . وعليه فالهواء ليس مركباً ، ولا يمكنك الحصول على جُزيء هواء .

وتدخل في تكوين الأخلاط كميات من المواد المختلفة تتفاوت مقاديرها . فطبق الحلوى — مثلاً — قد يشتمل على قليل أوكثير من الزبدة ؛ ويزيد مقدار البخار في الهواء في بعض الايام والامكنة عنه في أيام وامكنة أخرى . والهواء في طبقات الجو العليا وعلى قمم الجبال لا يحتوي الا على قليل جداً من الاوكسجين ، الأمر الذى يدفع الطيارين ومتسلقي الجبال إلى التزود بكميات منه . لكن المركبات كالماء والملح ، تشتمل دائماً على نسب ثابتة من



تمثل الكرات ذرات الصوديوم (سوداء) والكلور (حمراء) كما هي مرتبة في مركب الملح

العناصر التي تدخل في تكوينها . وما لم تتوافر هذه النسب فإننا لا نحصل على المركب . فما لم تتوافر النسب ذاتها من الصوديوم والكلور فإننا لا نحصل على الملح . ولا يمكننا ان نحصل على جزيء من الماء الا إذا حصلنا على ذرتين من الهيدروجين وذرة من الأوكسجين (يد ٢ أ) .

الغواص يتنفس تحت الماء باستنشاق الاوكسجين من وعاء على ظهره

# ٧- البَلّوْرَات

رقائق ثلجية

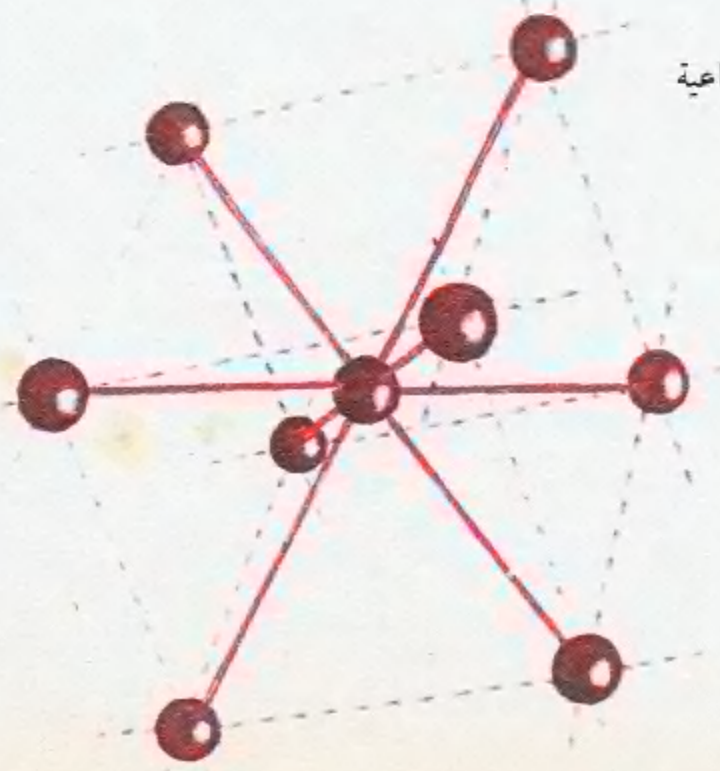
عندما تستيقظ صباح ليلة شديدة البرودة ، تجد زجاج نافذتك مغطى بالصقيع . فإذا تأملت الصقيع وجدته في الواقع عبارة عن مجمعات من قطع جميلة في شكل النجوم . ويتكون الصقيع عندما يبرد ما في الهواء من رطوبة أو بخار الماء . ويحدث هذا كما يلي . عندما تزداد البرودة ، يتحول بخار الماء الى سائل يعرف بالندى . واذا اشتدت البرودة خلال الليل ، تجمّد الندى وصار ثلجاً صلبا . ونجد الثلج على النافذة على شكل قطع صغيرة عديدة كالنجوم نسميها البلورات .

وتتكون رقائق الثلج من مثل هذه البلورات . فإن لكل منها ستة جوانب مثل النجمة السداسية . وعندما يذوب الثلج ويتحول الى ماء ، تزول أشكال البلورات . لكن حالما يتجمد الماء ثانية ويصير صلبا ، تعود البلورات الى الظهور .

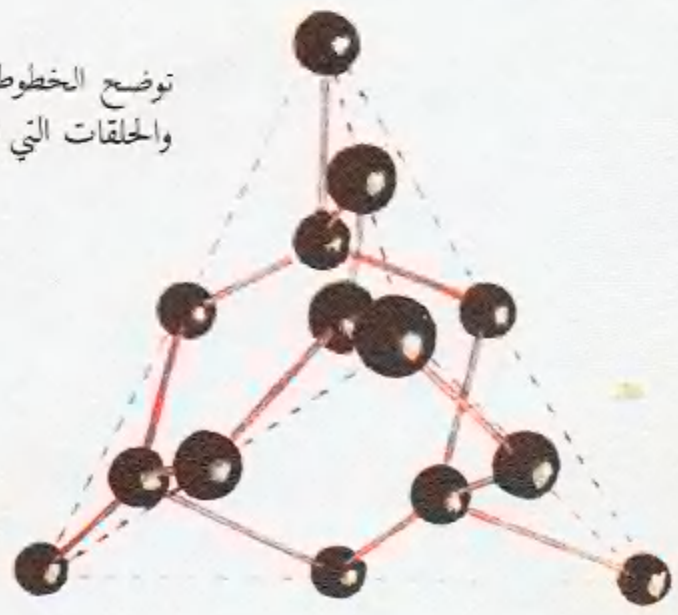
إن المواد التي تتكون من بلورات بهذه الطريقة كثيرة . لكن لبلورات كل مادة شكل خاص بها . ولو وضعتَ حباتٍ من السكر تحت منظار مكبر ، وجدتَ انها في الواقع بلورات صغيرة بعضها أطول من بعض ، وغالبيتها على هيئة صناديق صغيرة مربعة أو «مكعبات» . ولبلورات السكر دائما أركان مربعة . وحبات الملح أيضا بلورات . وتمكننا بواسطة المنظار المكبر أن نرى أن كل بلورة ملح على هيئة صندوق صغير ، وأن بعض بلورات الملح أكبر من البعض الآخر ، وأن بعضها صغير جدا في الحقيقة .

إن جميع المواد التي نستخرجها من باطن الأرض تتكون عادة من بلورات (ونقول إنها «بلورية») . ولو عاينتَ قطعةً من ورق الزجاج ، وجدتَ انها تتكون من حبات رمل على ورق مُغْرًى (أي عليه غِراء) ، ووجدتَ ان جميع الحبات بلوراتٍ من الكوارتز وكلها على هيئة واحدة تختلف عن هيئة حبات الملح . والمعادن ، وكلها تستخرج بالتعدين ، جميعها بلورية . فالحديد والصُّلب والألمنيوم والنحاس والرصاص جميعها تتكون من

توضح الخطوط المنقطة مكعب البلورة أو شكلها المكون من سطوح رباعية والحلقات التي تصلها بغيرها من البلورات الملاصقة



شكل ١ — بلورة حديد



شكل ٢ — بلورة ماس

كوارتز

البريل (أحجار شبه كريمة)

بلورات ، ولو أنها بلورات صغيرة بحيث لا ترى الا بالمجهر . والبلورات الصغيرة التي تتكون منها معادن كثيرة ، مثل بلورات النحاس والحديد ، هي كبلورات الملح على هيئة مكعبات .

ولو درسنا مثلا بلورة حديد بمجهر قوي نكتشف انها تتكون من بلورات كثيرة أصغر وكلها على هيئة واحدة ، وأن كلا منها تتكون من بلورات أصغر . وأصغر هذه البلورات لا يمكن رؤيتها حتى بالمجهر . ولهذا « يراها » العلماء باستخدام أشعة إكس كما يفعل الأطباء عندما يفحصون أجسامنا من الداخل . وترينا أشعةُ إكس أن جميع البلورات تتكونُ من ذراتٍ مرتبةً ترتيباً خاصا . فالحديد يتكون من ذرات حديد فقط . وكل مكعب حديد بلوري يتكون من تسع ذرات ، واحدة عند كل ركن من أركان المكعب ، وواحدة في الوسط . وتتكون مكعبات النحاس البلورية من أربع عشرة ذرة ، واحدة في كل ركن ، وواحدة أخرى في وسط كل سطح من سطوحه الستة . ونجد بلورات الزنك سُداسية الشكل (شكل ٣) . وبلورات الماس رباعية على هيئة بعض صناديق الحليب (شكل ٢) . وبلورات الزمرد سداسية ومثلها بلورات البريل (وهو حجر كريم أخضر في العادة) والكوارتز كما نرى في الصورتين أعلاه .

وتحتوي بلورات المركبات (أنظر فصل ٦) على أكثر من نوع واحد من الذرات في داخلها . فالملح مثلا يتكون من ذرات الصوديوم وذرات الكلور . ففي اربعة من أركان كل بلورة ملح ذرات صوديوم ، وفي الأربعة الأخرى ذرات كلور . ومن هذه الذرات الثمانية يتكون مكعب الملح البلوري . وتتكون بلورة السكر من تشكيل اكثر تعقيدا يحتوي على ذرات من مختلف الأنواع .

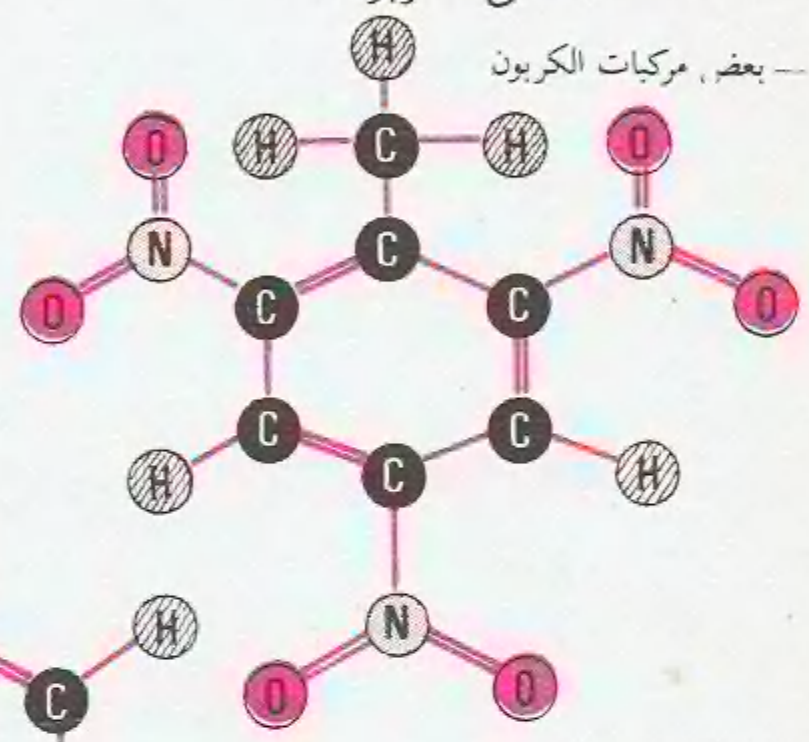
إن بلورات كثير من المعادن صافية وجميلة الى حد انها تعتبر من الحلي وتسمى جواهر . وأثمن هذه الجواهر ، كالماس والزمرد والياقوت ، صلب الى حد أنه يقطع ويجري صقله ؛ أما الجواهر الأقل شأنا مثل الجَمَشت (وهو حجر كريم أرجواني أو بنفسجي) والأوبال والعقيق الأحمر فليست في تلك الصلابة ، وليس لها ذلك اللمعان . وتتكون بلورة الماس من ذرات كربونية صافية .

إن عمل البلورات ضَرْبٌ من ضروب التسلية . ومن هذا القبيل عمل بلورات الملح . خذ فنجانا مملوء بالماء الساخن وألق فيه بعض الملح . وعندما يذوب الملح أضف مزيداً منه ، وحرِّكْهُ حتى يذوب . كرر هذه العملية حتى يتعذر عليك أن تذيب أية كمية أخرى . ثم علق خيطا قصيرا طرفه في الماء المالح ، واتركه على هذا النحو لمدة ساعات . فعندما يبرد الماء ويجف أو يتبخر ، تتكون بلورات جميلة من الملح على الخيط .

شكل ٣ — بلورة كرستال

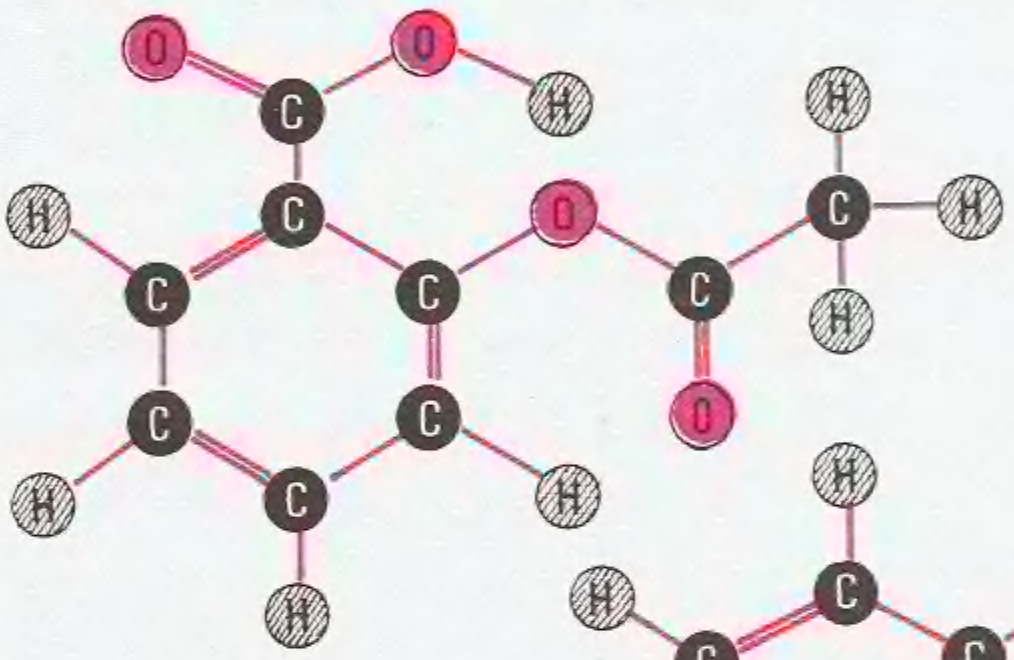
# ٨ - الكَرْبونْ

الكربون مادة خاصة جدا ، وتدخل ذراته في أشياء كثيرة . « فرصاص » الأقلام مثلا يتكون من الكربون ، وكذلك الفحم والماس كما مر معنا في الفصل الخامس . وهناك عدد من الأشياء الأخرى كالخشب والنبات والبترول يتكون أكثرها من الكربون ، ولكن تدخل في تكوينها مواد أخرى . كما أن الجزيئات التي تتكون منها أجسامنا تعتمد على الكربون .

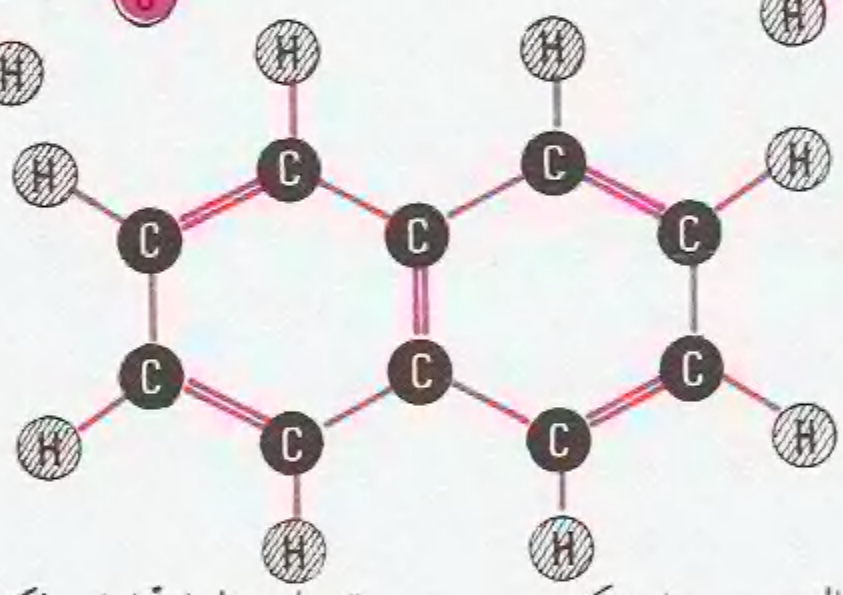


شكل ١ — بعض مركبات الكربون

اسبرين (ك ٩ يـ ٨ أ ٤)



ت.ن.ت. (متفجرات) (ك ٧ أ ٦ يـ ٥ ن ٣)



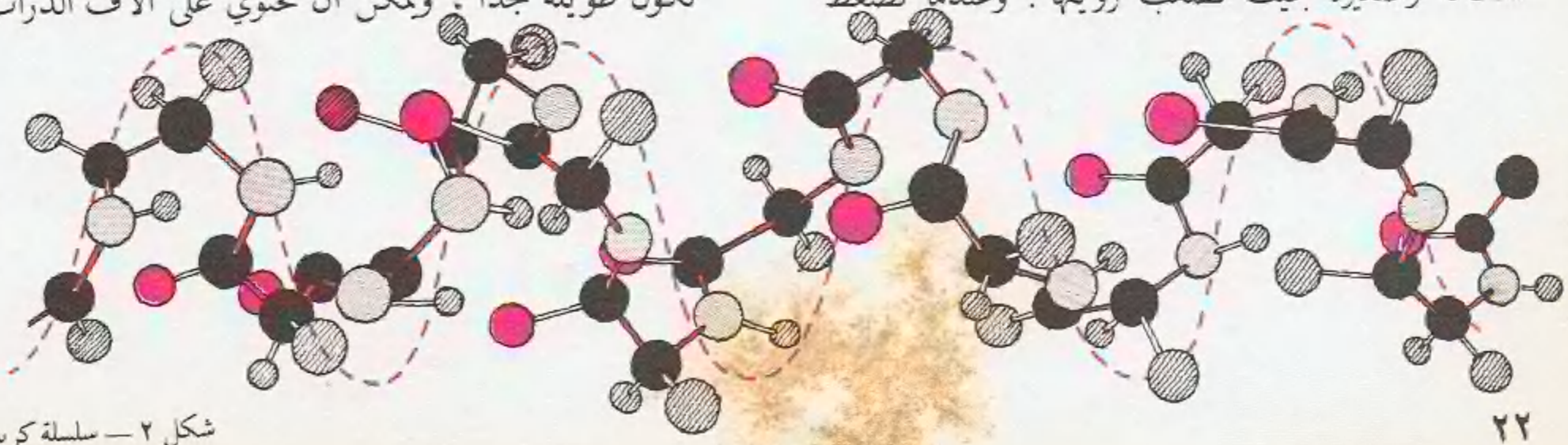
نفتالين (ك ١٠ يـ ٨)

وتتميز ذرات الكربون بخاصية التجمع معا وتكوين جزيئات بطرق مختلفة . فمثلا تتجمع ذرات الفحم والماس معا وتكون بلورات لكل منها صورتها الخاصة . وهكذا فمن ذرات الكربون يتولد شيئان يختلف شكل أحدهما عن شكل الآخر . « ورصاص » القلم أيضا من الكربون ، ولكنّ ذراتِه مرتبةٌ لا بشكل بلورات بل بشكل ألواح مسطحة وصغيرة بحيث تصعب رؤيتها . وعندما نضغط بالقلم على الورق ، فان الورق يسحب بعض ألواح الذرات التي تكوّنُ العلاماتِ عليه . وقد يبدو الورق ناعما ، ولكنه مع ذلك من الخشونة بحيث يسحب بعض ألواح الذرات . واذا حاولتَ أن تكتبَ على زجاج أو سِلوفان فان القلم لا يترك علامة ، لأن الزجاج والسيلوفان ناعمان بحيث لا يستطيعان أن يسحبا ألواحا من « رصاص » القلم .

وعلاوة على تكوين بلورات وألواح فانه يمكن لذرات الكربون أن تشكل حلقات متصلة من الذرات تشبه السلاسل ( انظر شكل ٢ ) . ولا يمكن لأية مادة اخرى ان تعمل مثلها تماما . لكن قد تحمل كل سلسلة من ذرات الكربون في حلقاتها موادَّ أخرى . فاذا علقت ذرات هيدروجين بها ، تَكَوَّنَ ما يسميه العلماءُ « هيدروكربون » . والهيدروكربون هو الذي يعطينا جزئيات البترول البرافين والقار والغاز الطبيعي

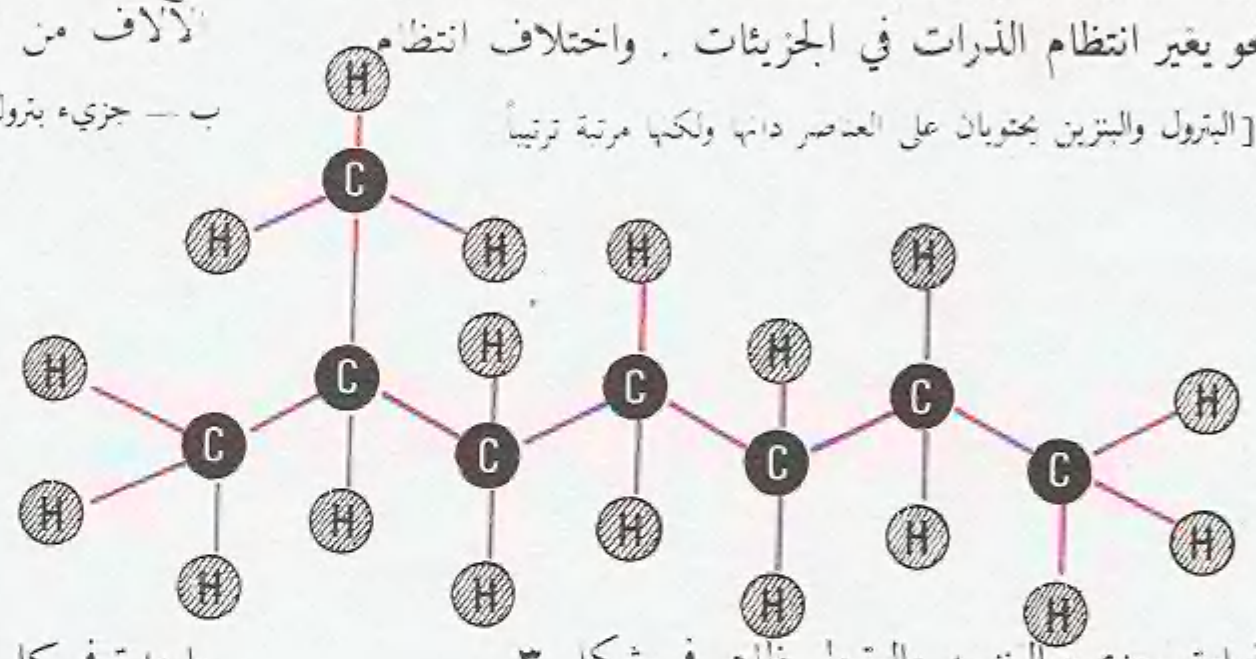
وقد اكتشف العلماءُ أن السلاسل الكربونية يمكن أن تكون طويلة جدا . ويمكن ان تحتوي على آلاف الذرات

C ك — كربون
N ن — نيتروجين
H ي — هيدروجين
O أ — أوكسجين



شكل ٢ — سلسلة كربون ملتوية

من الكربون وغيره . وهذه السلاسل الكربونية الطويلة عبارة عن جزيئات منفردة ولكنها اكثر تعقيدا مثلا من جزيئات الماء المنفردة التي تتكون الواحدة منها من ثلاث ذرات ( ذرة من الأوكسجين ، وذرتان من الهيدروجين ) . وهذه هي جزيئات مواد شديدة التعقيد مثل البلاستيك ، والأشياء الحية مثل أجسامنا ومثل النبات ، وأنواع كثيرة من الأطعمة . وقد تلتف سلسلة الكربون والذرات الأخرى بطرق مختلفة شديدة التعقيد . كما أن سلاسل الكربون قد تنتظم على هيئة خواتم . والفرق بين مختلف أنواع الزيوت ، كالبترول والبرافين يقوم على الطريقة التي تنتظم فيها ذرات الجزيئات . ويمكن للكيميائي أن يصنع بترولا أو برافاناً من زيت أحد الآبار بتسخين الزيت على نحو يغير انتظام الذرات في الجزيئات . واختلاف انتظام

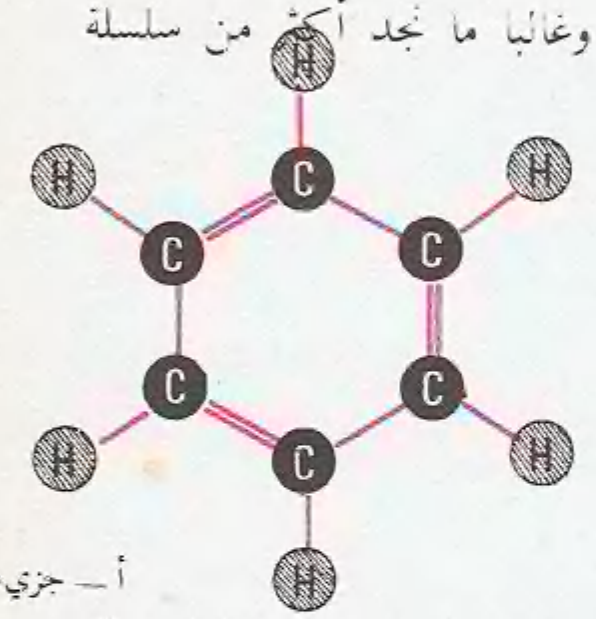


شكل ٣ — [البترول والبنزين يحتويان على العناصر ذاتها ولكنها مرتبة ترتيباً مختلفاً]

ذرات جزيء البنزين والبترول ظاهر في شكل ٣ .

وقد اكتشف الكيميائيون كيفيةَ استخراج أشياء جديدة بتسخين مواد تتكون من سلاسل هيدروكربونية مثل الزيت أو الفحم في أوعية ضغط ضخمة ، وبخلطها بمواد كيميائية أخرى . فعندما تصبحُ شديدةَ السخونة فعلا ، فإن ذرات المواد الكيميائية الأخرى تلتصق بالسلسلة الهيدروكربونية وتؤلف معا جزئيات ذات نظام جديد . وقد يتولد من هذا بلاستيك لصنع الفناجين أو طُشوت الغسيل ، أو نسيج صناعي لعمل الملابس .. فالنايلون مثلا نسيج صناعي يتكون من جزيئات تتألف من سلاسل كربونية تنتظم فيها ذرات النيتروجين والهيدروجين والأوكسجين بطريقة خاصة . ويحتوي الحليب على سلاسل كربونية يمكن للكيميائي أن يستخرجها ويعيد تشكيلها بحيث يولد بلاستيكاً لصنع الأشياء الصلبة كالأزرار والمقابض التي نَفْتَحُ بها الأبواب .

والسلاسل الكربونية الموجودة في الأشياء الحية أكثر تعقيدا حتى من تلك التي نجدها في الزيوت والبلاستيك والنسيج الصناعي . وقد تحتوي هذه السلاسل على مئات الآلاف من الذرات ، وغالبا ما نجد أكثر من سلسلة



ب — جزيء بترول

أ — جزيء بنزين

واحدة في كل جُزيء . وقد تكون السلاسل معا كالحزم أو الحبال . ومن الصعب على العالم أن يُفَرِّدَ هذه الجزيئات المعقدة ، ولهذا ، فمع أنه يستطيعُ ان يستخرج نسيجاً صناعيا ، فانه الى الآن لم يتمكن من ترتيب الجزيئات على نحو يمكنه من أن يصنع نبتة حيّة أو حيوانا حيّا . وفي شكل ٢ نرى أحد السلاسل الملتوية .

يصنع الابزيم ( الشكلة ) والزر وحجر الدومينو من الحليب

المشط وفرشاة الاسنان يصنعان من الفحم المخلوط بمواد كيماوية أخرى

# ٩- السَّاخِنُ وَالبَارِدْ

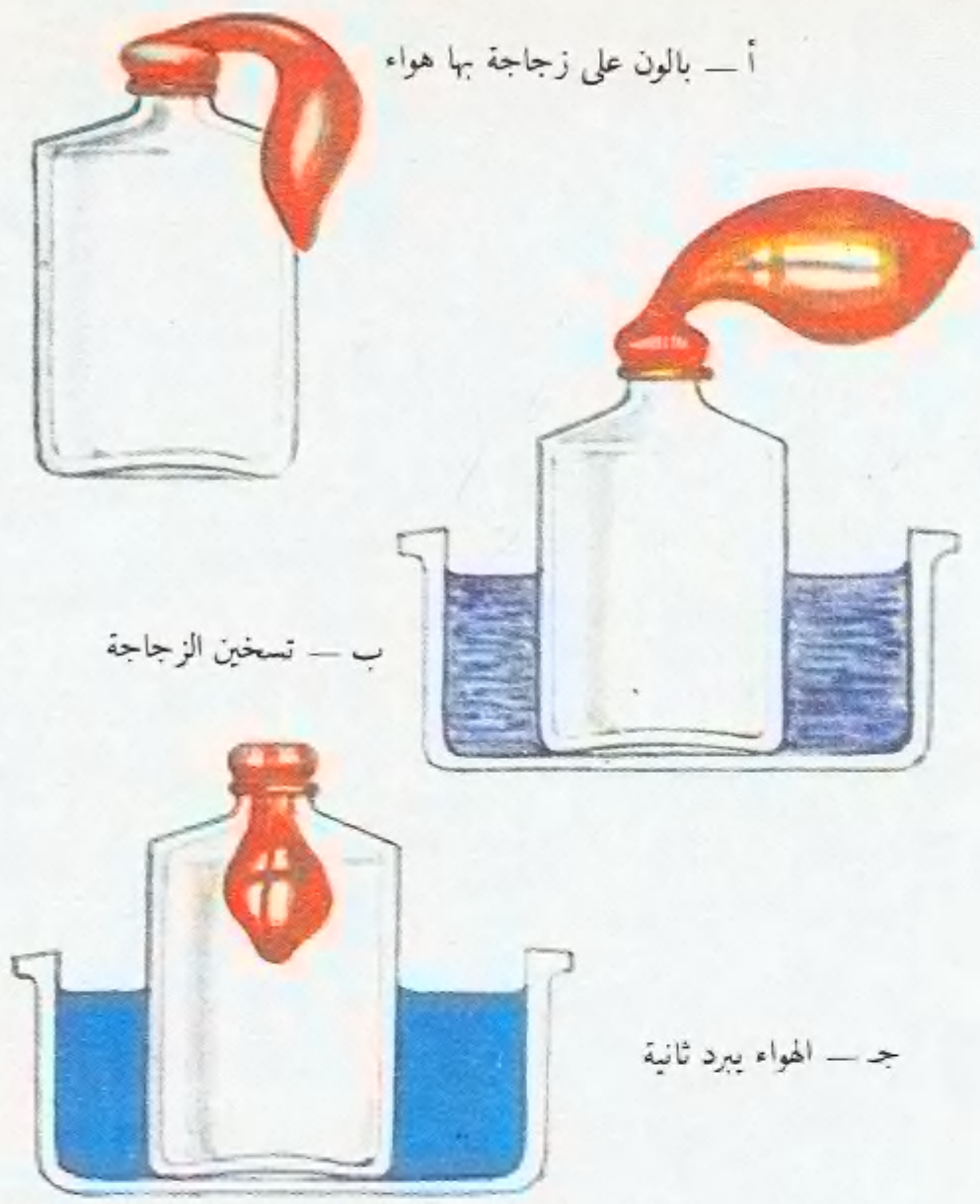
في المنازل حنفيات للماء البارد وأخرى للماء الساخن . وعندما نفتح حنفية الماء البارد يخرج ماء بارد . وعندما نفتح حنفية الماء الساخن يخرج ماء ساخن . ونحن لا نرى الفرقَ بينهما ، لأن الماء في الحالين واحد – يخرج صافيا ولا لونَ له ؛ ولكننا نحس به بسهولة . فنحن نعلم أن الماء الساخن اسرع من البارد في إذابة المواد كالسكر والملح . وعليه فالفرق بينهما ليس شيئا نحسه فقط ، وانما هو شيء يتعلق بالماء ذاته .

ويظهر الفرق بين الماء البارد والساخن واضحا اذا استخدمنا ثرمومترا (ميزانا للحرارة) . فاذا وضعنا ثرمومترا بأنبوبته الزجاجية الطويلة وبُصَيْلته (مستودع الزئبق) المستديرة في ماء بارد ، فان السائل الملون داخله لا يتمدد فوق البُصيْلة . لكن إذا وضعناه في ماء دافىء فإن السائل أو الزئبق يتمدد في الأنبوبة . أما اذا كان الماء ساخنا فان السائل يصل الى أعلى الأنبوبة تقريبا . والحقيقة هي أنه كلما سخن الماء ارتفع السائل في الانبوبة .

ويرتفع السائلُ أو الزئبقُ في الانبوبة الضيقة لأن الحرارة تجعله يحتل مكانا أكبر ، أو تجعله «يتمدد» . والحرارة تجعل الماءَ أيضا يتمدد ، ولكن ليسَ الى درجة كبيرة ، ولهذا فليس من السهل ملاحظة تمدده . والمواد كلها سواء كانت غازات أو سوائل أو مواد صلبة ، فانها تشغل مكانا أكبر اذا جرى تسخينها .

وبنفس هذه الطريقة يعمل الثرمومتر الذي نقيس به حرارة المريض . فهو مملوء بالزئبق الذي يتمدد في الأنبوبة عندما نضعه في فم المريض . وكلما زادت حرارة الفم زاد تمدد الزئبق . وعلى الأنبوبة سلسلة تصاعدية من الأرقام يعرف منها الطبيبُ او الممرضة مدى تمدد الزئبق ، ومنه يستدل على درجة حرارة المريض . واذا شربتَ فنجانا من الشاي الساخن ، وقستَ درجة حرارتك بعد ذلك مباشرة ، تجد ان حرارتك عالية مع أنك لستَ بمريض .

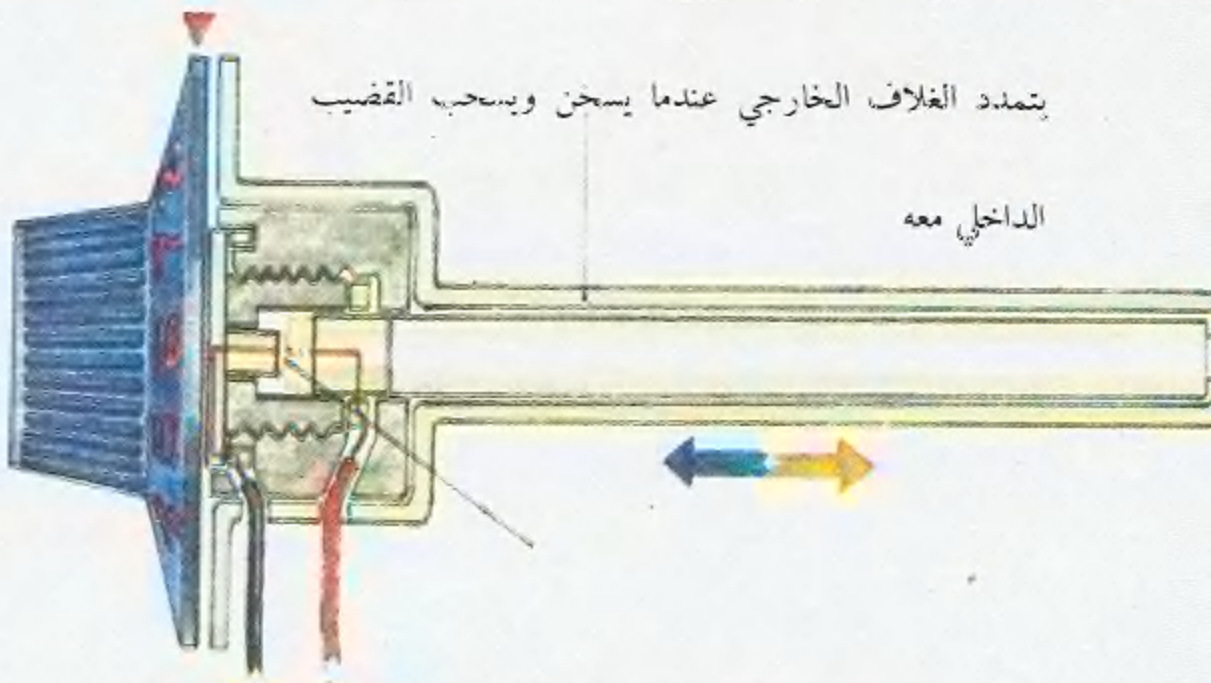
ويمكننا أن نضَعَ مقياس درجات الحرارة على الثرمومتر بطريقتين . الاولى الطريقة المئوية أو مقياس سِلْسيوس الذي اخترعه العالم السويدي أندرز سلسيوس عام




عندما تسخن الزجاجة يتمدد الهواء ويفحر البالون . وعندما تبرد الزجاجة ينكمش الهواء ويسحب البالون إلى داخلها

١٧٤٢ . ودرجة الصفر في هذا المقياس (س صفر) هي درجة تجمد الماء ، ودرجة مئة (س ١٠٠) هي درجة الغليان . أما الطريقة الأخرى فهي مقياس فَهْرِنْهَيْت الذي اخترقه العالم الألماني جبريل فَهْرِنْهَيْت عام ١٧٣٤ . ودرجة الصفر (ف صفر) أبرد كثيرا من الماء المتجمد ، فهي درجة الحرارة التي يتجمد عندها محلول مواد كيماوية معينة في الماء . ودرجة تجمد الماء فيه هي ٣٢°ف ، ودرجة غليانه هي ٢١٢°ف . ويُسْتَخْدم مقياس فهرنهيت عادة في الثرمومترات الطبية ، ولكن لا تظهر عليه سوى درجات الحرارة اللازمة لقياس حرارة المرضى .

والمعادن (انظر فصل ٢٥) تتمدد عند التسخين أكثر من أية مواد أخرى . ولهذا نجد دائما فجوات بين قضبان السكك الحديدية المصنوعة من الصُّلب حتى تتمددَ بعد أن يمر القطار فوقها ويسخنها . فبعد كل مئة متر من القضبان نجد فجوة . وحيث لا توجد هذه الفجوات – وبخاصة في الجو الحار – نجد أن القضبان تنثني وتتلوى بعد مرور القطار عليها وتسخينها مما يسبب خروج القطار عن




عند تحرك الغلاف والقضيب ينقطع الاتصال وتتوقف الكهرباء عن التسخين . وعندما يبردان يعود الاتصال مرة أخرى

طريقه وبالتالي تدهوره . على أن الأساليبَ الحديثة مكّنت المهندسين من الاستغناء عن هذه الفجوات .

وقد اخترع المهندسون جهازا عظيم الفائدة يعرف « بالثرموستات » يحافظ على درجة حرارة المعادن . ويستخدم هذا الجهاز في البيوت للأفران والأسلاك الكهربائية ، ويعمل طبقاً للمبدأ التالي : أن القضيب المعدني يتمدد عندما يسخن ، وينكمش ثانية عندما يبرد . ويمكن ضبطه بواسطة الأرقام التي تظهر حوله . ففي داخل ثرموستات الفرن مثلا قضيب معدني . وعندما تصل درجة حرارة الفرن الحد المطلوب ، يتمدد القضيب بحيث ينقطع الاتصال بمصدر الحرارة سواء كان كهرباء أو غازا . وكلما برد الفرن أخذ القضيب بالانكماش ، حتى اذا انكمش الى حد معين عاد الاتصال مع الكهرباء أو الغاز . اذا فهو دائما يتمدد ويقطع تيار الكهرباء أو مجرى الغاز ، ويعود الى الانكماش ويوصل التيار أو الغاز ، وبهذا تبقى درجة حرارة الفرن هي ذاتها لا مرتفعة جدا ولا منخفضة جدا .

وينبغي ان يكون القضيب المستعمل في الثرموستات من المعدن لأن المعدن يكتسب حرارة وبرودة الهواء المحيط به بسرعة كبيرة . فحالما يسخن الفرن يسخن القضيب ، وحالما يبرد يبرد القضيب ايضاً . ولا فائدة من استخدام قضيب خشبي أو زجاجي لان الخشب والزجاج يسخنان ويبردان ببطء . والمعادن كما يسميها المهندسون « موصلات جيدة » للحرارة . فاذا وضعتَ يدكَ على جزء من حاجز معدني معرض للشمس ، مثلا ، شعرتَ بحرارته ؛ واذا وضَعْتَها على جزء منه غير معرض للشمس ، شعرتَ ببرودته . ولو كان الحاجز من الخشب لاستغرق تسخينه مدة أطول ، ولاحتفظ بالحرارة مدة أطول . ولهذا يبقى دافئا مدة طويلة اذا غابت الشمس .

ونحن نلبس الثياب الصوفية والقطنية لأن الصوف والقطن موصلات بطيئات للحرارة . واذا ارتدينا المعاطف ونحن نحس بالدفء ، حافظت المعاطف على الدفء حتى ولو كان الهواء باردا . وفي الأماكن الحارة كالصحارى مثلا يلبس الناس أردية من القطن ، لأنها تمنع حرارة الشمس من الوصول الى أجسامهم .

في الصحراء الحارة يلبس العربي ثياباً فضفاضة من القطن لتحميه من الحرارة

# ١٠ - كيف يُولّدُ الاحتِكاكُ الحَرارَة

إذا بَرَدَتْ يداك في يوم شديد البرودة ، فإن إحدى الطرق التي تتبعها لاعادة الدفء إليهما هي أنْ تفركهما بقوة . فإذا حاولت أن تفركهما أو أن تحكَّ واحدة منهما على ذراع كرسي ، فَسرْعَان ما تُحِسُّ بالدفء . لكن من أين جاءت الحرارة ؟ إن الهواء حول يديك لا يزال بارداً . إذن فيداك هما اللتان ولدتا الحرارة . لقد تولدت الحرارة لأن فرك اليدين يحدث الاحتكاك ؟

اذا نظرت الى يديك وجدتهما في مُنتهى الملاسة (النعومة) ولكن فيهما نتوءات دقيقة جداً . وعندما تفرك يداً بالأخرى تحول هذه النتوءات دون انزلاق الواحدة على الأخرى بسهولة ، ولهذا فإننا نبذل مجهوداً لاستمرار الفرك . هذا المجهود أو الطاقة يتحول بالفرك إلى حرارة والحرارة تدفىء اليدين . وبما أن الحرارة تولدت من فرك يدين «خشنتين» نقول بأنها تولدت من «الاحتكاك» .

تتيح الرحلوقة الملساء على الثلج الاملس للمتزحلق أن يقطع مسافة ٨٠ ميلاً في الساعة

الاحتكاك الذي يحدث عندما يمر شيء خشن فوق آخر .

ولإطار السيارة نتوءات بارزة صنعت خصيصاً لتحولَ دون انزلاقه بسهولة كبيرة ، ولكي تمكنه من الصمود على الطريق بزيادة الاحتكاك . ولو كانت الاطارات ملساء لانزلقت السيارة على الطريق وصعب توقيفها . ويفسر لنا هذا الخطر الذي ينطوي عليه استخدام إطار قديم أملس في السيارة . فنتوءات الإطار تستخدم الاحتكاك لتوقيف السيارة حالما تُشَدُّ الفرامل . وما يحدث للأيدي يحدث للاطار . فاحتكاك الإطار بالطريق يولد الحرارة التي تدفئه وتدفىء الطريق أيضاً . ولهذا السبب فإن الثلج يذوب على الطرق بسبب حركة السير . وبعد أن يقوم المرء برحلة في السيارة تسخن إطاراتها الى حد يصعب معه احياناً لمسها .

ويمكن الاستفادة من الحرارة التي يولدها الاحتكاك . ومن الأمثلة على هذا علبة الكبريت . فعلى جانبي العلبة ورقتان خشنتان إذا احتك بهما أعلى عود الثقاب ولد الاحتكاك حرارة تشعله . وفي قداحة البترول حجر . وعندما يحتك هذا الحجر بأعلى العجلة الفولاذية ، تبعث الحرارة شرارة تُشعل البترول . وفي الأزمنة القديمة جداً وقبل أن توجد علب الكبريت ، اكتشف الناس كيف يُشعلون النـــار بحك قطعتين من الخشب إحـــداهما بالأخرى ، أو بضرب قطعة من الصوان بأخرى . ولكي يحصلوا من الاحتكاك على حرارة تكفي لإشعال النار كان عليهم ان يُجروا عملية الحك بسرعة . وكانت لمختلف الجماعات من الناس طرق مختلفة لاشعال النار . فمنهم من كان يُثْبِتُ في الأرض لوحاً من الخشب له تجويف في اعلاه ، ثم يضع في التجويف قطعا صغيرة من الخشب الجاف أو أوراق الشجر الجافة ، ويدخل بعد ذلك عصا في التجويف ، ويدفعها ثم يسحبها بسرعة مرات عديدة ، فلا يلبث الاحتكاك أن يولد شرارة تشعل النار في اللوح .

ولا نكاد نفكر في الأمر حتى يتبين لنا أن هناك نوعاً من الاحتكاك في كل شيء نفعله تقريباً . فأثناء سيرنا تَثْبتُ أقدامنا على الأرض بالاحتكاك ، ولولا ذلك نتزلق ، ونعجز بالتأكيد عن صعود أية تلة . ولهذا يصعب علينا أن نسير على الثلج الأملس الزلق ، ويستحيل علينا أن نصعد تلة جليدية بدون نعال لها مسامير أونتوءات

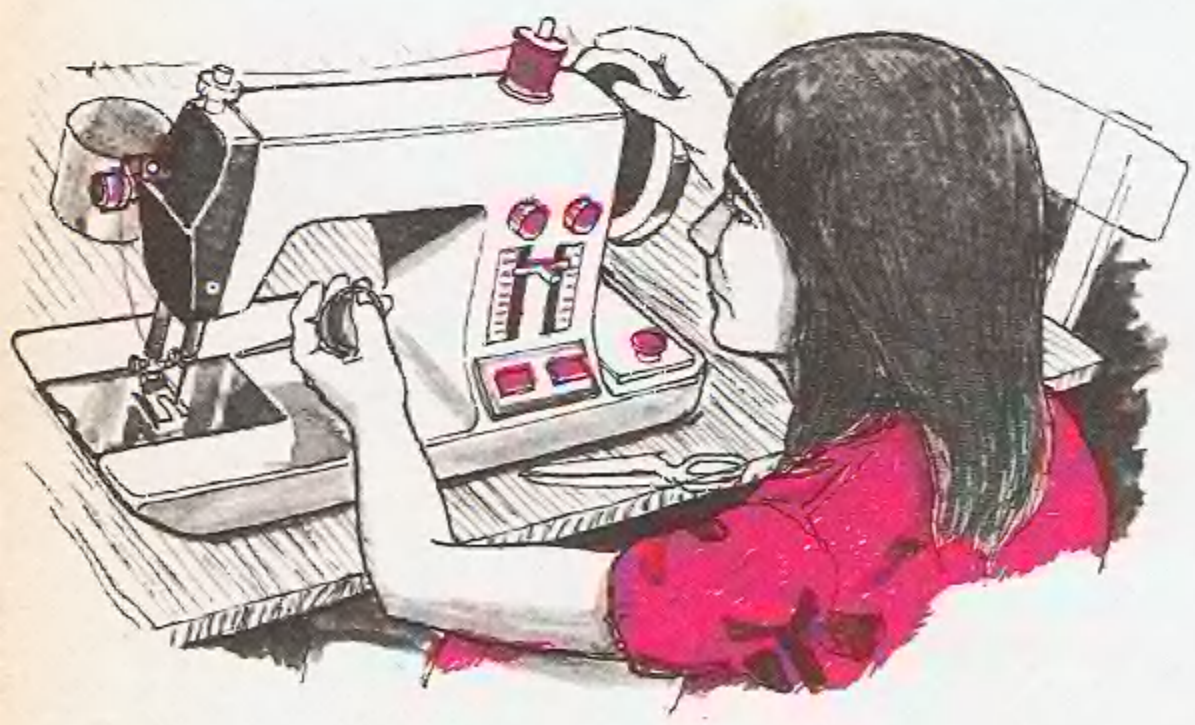
للسيارة الحمراء سلاسل تمسك بالثلج الزلق وتوقف الانزلاق

معدنية طويلة . وعندما نضغط على فرامل الدراجة فإن قطع المطاط المثبتة في الفرامل تمسك بجوانب العجلين ، ولا يلبث احتكاكها أن يوقفه . وإذا دفعنا طوقا أوكرة على الأرض ، فإن احتكاكها بالأرض يوقفها ما لم نبذل المزيد من الطاقة ونواصل الدفع .

والاحتكاك بوجه عام يبطء حركة الأشياء أو يوقفها ، وبذلك يسبب لنا الازعاج . وفي جميع الآلات حيث تدور أو تتحرك قطع معدنية أمام أخرى يحدث الاحتكاك دائماً حتى عندما يبدو المعدن في منتهى الملاسة . وفي الآلات التي تتحرك أجزاؤها بسرعة كبيرة يشتد الاحتكاك حتى بين القطع الملساء . وهذا الاحتكاك لا يستهلك الطاقة اللازمة لإدارة الماكنة فحسب ، وانما يسخن المعدن وبذلك يُساعد على استهلاكه . وللتقليل من الاحتكاك ما أمكن يقدم المهندسون بتزييت الاجزاء المتحركة لأن الزيت مادة زلقة تدخل بين القطع المعدنية ، وتحول دون تلامسها ، وبهذا تدور الآلة في سهولة ويسر وبذلك لا تتبدد الطاقة في الاحتكاك .

فكل منا يدرك كيف يشعر وهو يركب دراجة صدئة ، أو يدفع عربة أطفال ، أو ينشر خشباً بمنشار يحتاج إلى تزييت . فجزء كبير من طاقتنا يتبدد بسبب الاحتكاك .

ومنذ مئات السنين كان المخترعون يحلمون بصنع آلات يمكن ان تدور بلا توقف بعد تشغيلها . لكن أحداً لم يستطع حتى الآن صنع آلة تظل دائرة ، وذلك لأنه لم يتم بعد اكتشاف طريقة يجري التخلص بها من احتكاك أجزاء الآلة بعضها ببعض . ومهما كانت القوة التي ندفع بها الآلة عند تشغيلها ، فإن الاحتكاك سوف يتسبب في وقوفها عاجلاً أو آجلاً . وهناك احتكاك حتى بين الهواء والطائرة التي تمر فيه . وعندما تعود مركبة الفضاء من الفضاء الخارجي الى الجو الأرضي ، يشتدُّ الاحتكاكُ الى حد تصبح معه جدرانها الخارجية حمراء من السخونة .



الفتاة تزيت ماكنة الخياطة لتدور بسهولة

# ١١ - الحَرارة وَالطّاقَة

السيارة تحرق البنزين ، وطاقة الفتى تدير عجلات الدراجة

عندما يبدأ ماء الإبريق في الغليان ، يتصاعدُ البخار من فوهته . وإذا تركت الابريق يغلي ، فلن يلبث البخار أن يبدأ برفع الغطاء والخروج من تحته . فالبخار الذي يطرده الماء الغالي من الابريق يندفع بقوة كافية لرفع غطاء ثقيل جداً . لكن هذا لا يحدث إلا إذا استمر الماءُ في الغليان . والماء لا يستمر في الغليان إلا إذا واصلنا تسخينه على موقد غاز مثلاً . فإذا رفعنا الابريق عن النار لا يعود الماء يستمد الطاقة الحرارية التي تجعله يغلي ويدفع البخار الى الخارج .

والحرارة الكثيرة تولّد طاقة كبيرة . فمثلاً إذا اشتعلت النار في مبنى له شبكة من العوارض الفولاذية القوية والثقيلة ، فإن الطاقة الحرارية تلوي العوارض وتثنيها . وفي موقد النار تعمل الطاقةُ التي تتولد من النار المتأججة على تكسير الخشب والفحم إلى أن تتحول الى كومة من الرماد .

ويمكننا ان نصنع لعبةً تسير بالحرارة وتوضح لنا أن للحرارة طاقة . لنقطع مثلاً قرصاً من الورق . يمكنك أن تفعل هذا برسم خط دائري حول وعاء مستدير مثل غطاء طنجرة صغيرة أو باستخدام بيكار . ثم أحدث شقا في القرص من طرفه الى وسطه كما نرى في شكل أ . كرر عملية الشق ، ثم اسحب الأجزاء المشقوقة وألصق أحدها بالآخر بحيث ينثني القرصُ ويكوّن مخروطاً كما نرى في شكل ب . ثم أحدِثْ شقاً صغيراً عند طرف كل جزء من المخروط ، واثنِ الأطرافَ المشقوقة على هيئة أطراف المروحة . ثم أدْخِل خيطاً في المخروط أو ضَعه على رصاصة قلم مدببة أو إبرة خياطة مثبتة فوق راديأتور (شكل ج) تجد المخروط يدور باستمرار . ويمكنك أن تشتري مخروطات معدنية فوقها جنيات أو ملائكة وتحتها شمعات . وعندما تنير الشموع ، تدور المخروطات ، وتضرب الجنياتُ قطعاً معدنية ، فتُحدث صوتاً مدوياً .

صنع لعبة تدور بالحرارة

شكل أ

شكل ب

شكل ج

إن الطاقة التي تحرّك هذه الألعاب هي واحدة : تتولد هذه الطاقة من الحرارة سواء كانت حرارة راديياتور أو شمعة . فحرارةُ الراديياتور أو الشموع تسخّن الهواء من فوقه ، والهواء الساخن يرتفع نحو السقف . إذْ لما كان الهواء الساخن أخفَّ من البارد ، فإنه يرتفع دائماً فوقه . وعندما يتصاعد يدفع أطراف الألعاب ويديرها ، كما يدير أطراف المخروط باستمرار .

وتوجد طرقٌ أخرى لتوليد الطاقة غير استخدام الحرارة مباشرة . فالطاقةُ التي تحرك السيارة والدراجة النارية تتولد في محركها . اذ داخل المحرك يجري احتراق البنزين مولداً طاقة حرارية تحدث انفجارات خفيفة (أنظر فصل ١٣) . والدفع الناتج من هذه الانفجارات هو الذي يدير المحرك .

ولدى إدارة محرك الدراجة النارية ، نستطيع أن نسمع بوضوح تام أصوات الانفجارات ، لأنَ المحرك يدور ببطء يُمكّننا من أن نسمع الانفجارات واحداً بعد الآخر . اما بالنسبة للسيارة ، فلها في موتورها «كاتم» خاص يخفف من صوت الانفجارات ولهذا فإننا لا نسمعها بوضوح .

والطاقة الحرارية لا تستخدم كلها في ادارة المحرك ؛ فاحتراق البنزين وانفجاره يدفئان المحرك أيضاً . والحقيقة هي أن المحرك يَسْخُن كثيراً خلال السير . ولهذا عمل المهندسون على تبريده بالماء أو الهواء . لكن كما هو الشأن في أمر النار ، والراديياتور ، وأي شيء آخر يسخن ، فإن الطاقة تتولد من احتراق شيء ما . ففي السيارة يحترق البنزين ، وفي أفران المصانع قد يكون الشيء المحترق هو الفحم النباتي أو فحم الكوك او الزيت . ويُسمّى الشيء المحترق وقودا .

عندما تتحرك الكائنات الحية تستخدم طاقة . بل إنها تستخدم بعض الطاقة حتى لو لم تتحرك . فحتى لو لم نتحرك تواصل قلوبنا ضخّ الدم في جميع أنحاء أجسامنا ، وكذلك فإنه لا غنى لنا عن مواصلة التنفس . ومصدرُ الطاقة التي يستخدمها الانسان أو الحيوان هو الغذاء الذي يتناوله ، والهواء الذي يتنفسه . فالمواد الكيميائية التي يحتوي عليها الطعام وغاز الاوكسجين الذي في الهواء تتحول داخل الأجسام «وتحترق» لتولد الطاقة . ويمكننا أن نقول بأنها «الوقود» الذي يمدنا بالطاقة . وهذا الضرب من الاحتراق لا يحتاج الى لهب أو نار . إنه «احتراق كيميائي» . فالمواد الكيميائية في الغذاء تتحول بواسطة مواد كيميائية في الجسم . ومن عملية التحول هذه تتولد الحرارة والطاقة . والحرارة تولد فينا الدفء ، والطاقة تمكننا من أن نعيش ونتحرك .

وهناك مثل آخر على استخدام الحرارة المتولدة من الطاقة الكيميائية ، ولكننا لا ننصحك بتطبيقه حرصا على سلامتك . فإذا أردت ان تُسخّن علبة لحم مثلاً ، ولم تكن لديك نار ، ضع اللحمَ داخل صفيحة أكبر ، واملأ الفراغ من حولها بكلس وماء . وحالما يختلط الكلس بالماء ويؤثر كل منهما في الآخر ، يحدث احتراق كيميائي وتغير كيميائي ، وتتولد منهما طاقة حرارية كافية لتسخين ما في العلبة . وكثيراً ما سخنّ المكتشفون طعامهم في امكنة لا نار فيها . لكن العبث بالكلس لا يخلو من الخطر .

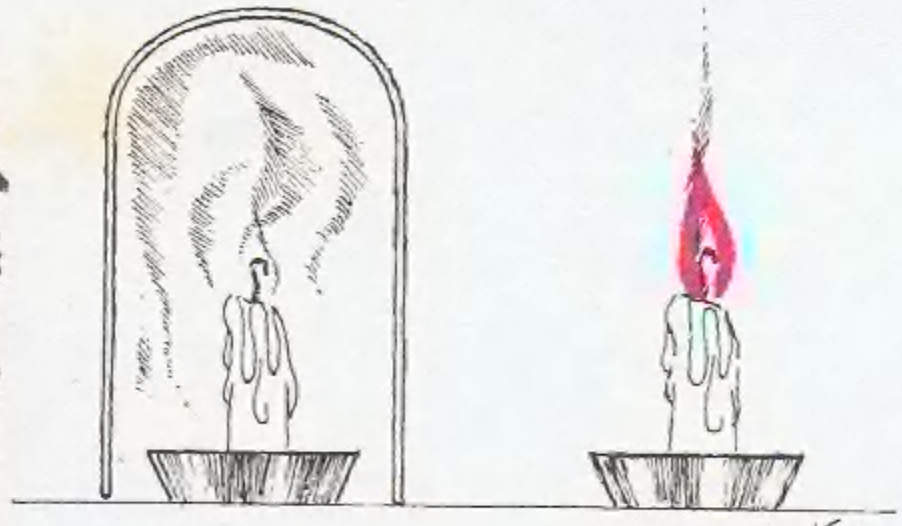
الشراب الحلو يعيد الطاقة إلى اللاعب بعد لعبة صعبة

# ١٢- الاحتراق

عندما يشتعل عود ثقاب يرتفع منه لهب أصفر. ويرتفع مثله من الشمعة إذا أشعلت. ويرتفع اللهب من المواد المحترقة كلها — من الفحم النباتي المحترق، وقصاصة الورق، وطباخ الغاز، وحتى من البيت عندما يحترق. وقد يكون اللهب أصفر، وقد يكون غير ذلك، لكنه يتجه دائماً إلى أعلى لا إلى أسفل، وذلك لأنه غاز ساخن. والغازات الساخنة تتجه دائماً إلى أعلى لأنها أخف من الغازات الباردة.

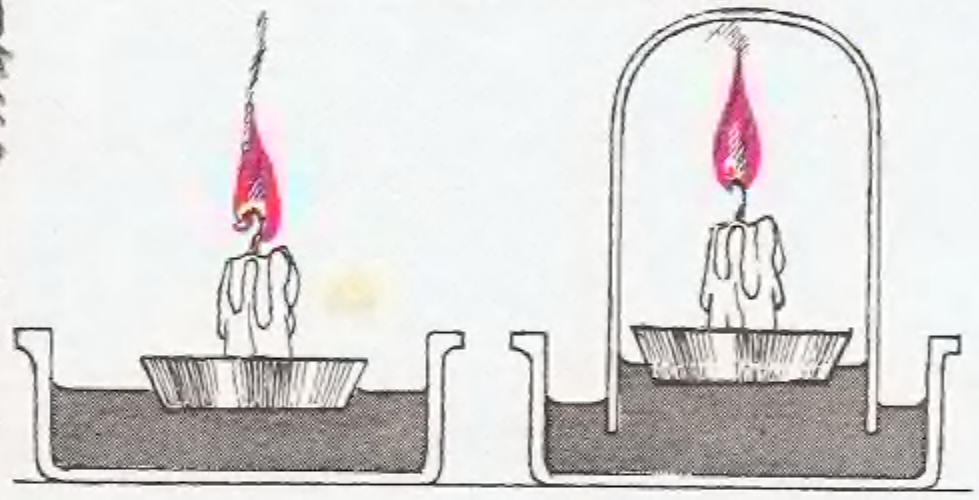
وينتج اللهب عن طريقة احتراق الأشياء. فعندما يحترق شيء ما، يسخن بحيث يتحول الى غاز (أنظر فصل ٤). ولكن تحتاج كل مادة الى الهواء لتحترق؛ ويتولد اللهب من اختلاط الغاز الساخن لمادة ما بالهواء. فإذا لم يكن هناك هواء، لا يتكون اللهب ويتوقف الاحتراق. واذا وضعتَ شمعة على صحن فنجان وأشعلتها، فإنها تحترق برفق، ويتساقط بعض شمعها على الصحن، ويتحول البعض الآخر الى غاز بسبب الحرارة. ويختلط الغاز بالهواء، ويولد حرارة وهو يحترق. لكن إذا وضعت على الشمعة المشتعلة إناء زجاجياً مقلوباً يمنع عنها الهواء، فإن اللهب يتقلص، ويتوقف الاحتراق بعد ثانيتين أو ثلاثة، وتنبعث من الشمعة هبة دخان خفيفة ثم ينتهي الاحتراق تماماً (شكل ١).

واذا رفعنا الإناء المقلوب يمكننا ان نعود فنشعل الشمعة. وعندئذ تعود الشمعة الى الاحتراق لأنه يتوافر لها الهواء الذي تختلط به. ويمكننا ان نشهد بالفعل كيف تستخدم الشمعة المحترقة الهواء إذا قمنا بتجربة أخرى (شكل ٢). خذ وعاء كبيراً — وليكن طشت غسيل مثلاً — وضع شمعة مثبتة على صحن فنجان في قاع الوعاء. ثم اسكب ماء في الوعاء حتى يرتفع مقدار بوصتين. فإذا قمنا باشعال الشمعة فانها تحترق بحرية في الهواء. لكن إذا وضعنا إناء زجاجياً كبيراً مقلوباً على الصحن والشمعة يحدث شيء غريب. فالشمعة تبقى تحترق لفترة بسبب وجود الهواء في الاناء الزجاجي. لكن بينما يحدث هذا فإن الماء يرتفع فيه. وفي الوقت ذاته يأخذ



شكل ١
تنطفىء الشمعة عندما ينفد الهواء

شكل ٢
الماء يرتفع في الاناء الزجاجي بينما تحترق الشمعة



ماء الطشت في الهبوط بوضوح وبطء والانتقال الى الاناء. ترى ما الذي يحدث فيسبب هذا؟ لماذا يرتفع الماء في الاناء، وماذا يحدث للهواء الذي كان فيه؟ الذي يسبب هذا كله هو الشمعة المحترقة. فعندما يأخذ غاز الشمع بالاختلاط بالهواء والاحتراق باعثا لهباً أصفر لامعا، فإنه يستهلك بعض الهواء. وعليه فإن هواء الاناء يتناقص ويزحف الماء ليأخذ محله، وهذا هو سبب ارتفاع الماء في الاناء.

وقد يخطر ببالنا أننا لو تركنا الشمعة تحترق لمدة طويلة فإن الهواء يُستهلك خلال الاحتراق، وأن الإناء سوف يمتلىء بالماء بدلاً من الهواء. لكن هذا لا يحدث. إذ أن الهواء لا يختلط كله بالغازات عندما تحترق الاشياء، وما يختلط منه بها هو جزء صغير فقط. فما نسميه «هواء» هو خليط من غازات مختلفة أهمها النيتروجين والاوكسجين، والنيتروجين أربعة أضعاف الاوكسجين. والاوكسجين وحده هو الذي يختلط خلال الاحتراق ويتحول الى طاقة

حرارية . ولكن النيتروجين لا يحترق .

وحالما تستهلك الشمعة المحترقة تحت الاناء الزجاجي كل الاوكسجين من الهواء الموجود داخله ، فإنها تتوقف عن الاحتراق . ولما كان الأوكسجين أقل من ربع الهواء ، فإن الماء لا يحتل من الاناء إلا أقل من ربعه ، ويظل باقي الاناء مملوء بالنيتروجين والغازات الأخرى . والحقيقة هي أن هذه طريقة جيدة لقياس كمية الأوكسجين في الهواء ومقارنتها بكميات الغازات الأخرى .

وعندما يحترق شيء ما ، فإن اللهب ينتج من اتحاد الاوكسجين بالغازات الساخنة المنبعثة من المواد المحترقة . فإذا احترقت ورقة مثلاً ، فإن الاوكسجين يتحد بالغازات المنبعثة من الورق الساخن ، ويتحد معها بقوة تولد الضوء والحرارة . وهذا هو ما نسميه نحن « الاحتراق » ويسميه العلماء « بالاحتراق الداخلي » .

ولما كان الاحتراق لا يتم بلا أوكسجين ، فإننا نطفىء النيران أو نمنعها من الانتشار بمنع الاوكسجين عنها . ونفعل هذا بصب الماء عليها ، لأنه يساعد على إخمادها . فهو بمثابة غطاء يخنق النيران . والماء كذلك يبرد المواد المحترقة ، فيحول دون تحولها إلى غازات .

لكن بعض النيران — كنيران الزيت أو البترول المحترق — لا يطفئها الماء ، لأن الزيت او البترول يطفو على وجه الماء ، وبهذا يأخذ بعض الاوكسجين من الهواء . وإزاء هذا يرش رجال الاطفاء مسحوقاً خاصاً أو رغوة على النار لالقاء ستار عليها يمنع عنها الاوكسجين . وفي بعض الأحيان يرش رجال الاطفاء ديوكسيد الكربون على النار لأنه يطرد عنها الأوكسجين ويخمدها .

يستخدم رجال الاطفاء رغوة خاصة لاخماد هذه النار العظيمة التي سببها احتراق البترول

# ١٣- الانْـــفِجَارَات

عيدان ثقاب ذات رؤوس حمراء وأخرى ذات رؤوس سوداء

يبدأ عودُ الثقاب في الاحتراق عندما يحتك بأحد جانبي علبة الكبريت . فإذا قَدحْنا رأسه بورقها الخشن ، اشتعل الرأس لهباً ، مُحدثاً فرقعة وانفجارا خفيفاً . ويحدثُ هذا لأن المواد الكيميائية التي يحتوي عليها رأسُ العود تسخن كثيراً من جراء احتكاكها بالورق الخشن ، وتتحول إلى غاز. وحالما يختلطُ الغاز بالاوكسجين الذي في الهواء ، يأخذ في الاحتراق ، ويرتفع اللهب . ونلاحظ الاحتراقَ عادةً بسبب ما يرافقه من فرقعة وانفجار خفيف . وحالما ينفجر رأسُ العود ، يحترق خَشَبه بطريقة عادية .

وغالبيةُ عيدان الثقاب لها الآن رؤوس سوداء بدلاً من الحمراء ، وذلك لأنَّ الحمراء أكثر قابلية للانفجار مما نحتاجه في حياتنا العادية . أما السوداء ، فهي تحتوي على عدد أقل من المواد الكيميائية المتفجرة ، ولهذا فهي أقل خطراً . فالعود ذو الرأس الأسود يُحدِث انفجاراً ، ويشتعل عند مُجرد سخونته بعد احتكاكه . بل لا بد لانفجاره من أن تختلط مواده الكيميائية بالمواد الكيميائية التي يشتمل عليها الجانب الخشن في علبة الكبريت . فإذا ما حدث الاختلاط ، تولد انفجار كافٍ لاشعال عود الثقاب .

وبعضُ المواد الكيميائية مثل رأس عود الثقاب ، يمكن جعلُها قابلة للاحتراق إلى حد أنها تنفجر بالتسخين أو الاحتكاك . وهناك مواد أخرى تنفجر إذا تعرضت لضربة ، وهذا يفسّر لنا كيف ان المسدس الذي يطلق الكبسولات يُحدث « دوياً » . فالكبسولات تكون في شريط طويل من الورق الخشن يوضع داخل المسدس . وعندما يُشدّ الزند تهوي فجأة مِطرقةٌ صغيرة على الكبسولة . وبسرعة فائقة لا تمكننا من رؤية ما يحدث ،

الديناميت ينسف مدخنة في قرية تصنع الفخار ولم يعد أهلها في حاجة إليها

كبسولة مسدس. سحب الزند لطرق الكبسولة

تسحقُ المِطرقة ما في الكبسولة من مواد كيميائية ، وتُسخنها الى حد تتحول معه إلى غاز . ويختلط الغاز بالهواء ويحترق بعنف في جزء من الثانية ، وتنفجر الكبسولة مُحدثة دوياً .

ومن السهل أن نوضح كيف ان الدوي أو سحق المادة يولد الحرارة . فإذا دققت مسمارا كبيراً في قطعة خشب صلبة وضربت المسمار بعنف ، فإنك تجد رأس المطرقة ورأس المسمار ساخنين .

والقذائف التي تطلقها المدافع يجري اعدادها بحيث تعمل بالطريقة ذاتها . ففي مقدمة القذيفة فتيل تندفع نهايته إلى داخل القذيفة حالما تصيب الهدف . وعندئذ تضرب مِطرقةٌ المواد المتفجرة داخل الفتيل ، فتولد حرارة تفجر المواد . وهذه المواد بدورها تفجر مواد أخرى داخل القذيفة ذاتها . وبذلك يحدث دويان ، واحد بعد الآخر . ويمكن للقذيفة أن تُحدث أضراراً كبيرة في وقت قصير جداً بسبب الكمية الضخمة من المتفجرات التي بداخلها .

ويمكن استخدامُ أنواع كثيرة مختلفة من المواد الكيميائية في صنع المتفجرات . فالبارود الذي يدخل غالبا في صنع الألعاب النارية ، مثلاً ، يتكون من خليط من الكبريت والفحم النباتي ونترات البوتاسيوم . ومن المتفجرات الأخرى الديناميت الذي يستخدمه المهندسون عادة في نسف الصخور وحفر المحاجر . لكن الالعاب النارية لا تحتوي على شيء من الديناميت لأنه شديد الخطورة . فالديناميت ، وهو خليط من الغليسرين ومواد كيميائية أخرى ، يمكن أن ينفجر بالضرب أو بالتسخين . والآلة التي تدور بالبنزين مثل السيارة تسير بقوة الانفجارات التي يحدثها البنزين عندما يسخن ويتحول الى غاز ، والشرارة الكهربائية هي التي تولد الانفجار .

واعظم الانفجارات التي صنعها الانسان هي انفجارات القنابل الهيدروجينية . لكن هذه الانفجارات تحدث لأسباب مختلفة . فهي تنجم من القيام فجأة باطلاق كمية كبيرة من الطاقة المختزنة داخل الذرة (انظر فصل ٥) . وقد توصل العلماء الى كيفية إطلاق الطاقة الذرية خلال الأعوام الثلاثين الماضية فقط . وهم يتعلمون الآن تدريجاً كيف يتحكمون بها بشكل يمكنهم من استخدام هذه القوة الهائلة لخير الناس لا لنسف المدن .

والانفجارات كلّها تحدث فجأة . وسواء سببتها المواد الكيميائية التي تحترق معا بسرعة ، أو سبّبها إطلاق القوة المخزونة في الذرات ، فإنها كلها تتم بتوليد غاز ساخن . فعندما تكون المادة غازا ، تحتل مكانا أكبر من المكان الذي تحتله وهي سائلة أو صلبة (انظر فصل ٤) . ولهذا فإن الانفجار يفجر الأشياء أو يدفعها بعيدا . وهذا هو سبب نسف القنابل للمباني ، وتطاير قطع ضخمة من الصخور في الهواء عندما ينفجر الديناميت في المحجر . فالمادة المتفجرة تتحول الى غاز وتدفع الهواء من حولها بعنف .

الألعاب النارية

# ١٤- الهَـــوَاء

ريح شديدة تدفع ما يعترض طريقها

ما هو الهواء؟ كل منا يعلم أنه لكي يحيا الانسانُ أو الحيوانُ أو النباتُ لا بد له من أن يتنفس الهواء . ونعلم أيضا ان رُوّادَ الفضاء ، عندما يقومون برحلاتهم ، يجدون أنهم كلما ارتفعوا قلَّ الهواء وقلَّتْ كميةُ الأوكسجين فيه . ولكي يتنفسوا ، يحملون معهم الهواءَ الذي يحتاجون اليه . وحتى متسلقو الجبال الشاهقة ، مثل قمة إفرست ، فإنهم يحُملون معهم الأوكسجين ، لانهم كلما صعدوا قل الهواء الذي يجدونه . وقد رأينا في الفصل ١٣ أنه بدون الهواء لا يحدث الاحتراق . واذا أراد الانسان ان يشعل ناراً نفخ عليهـا الهواء بـالكير ، وذلك لأن اللهب يحتـاج الى الأوكسجين .

نحن نعلم أن الهواء يتحرك . وعندما يتحرك نسميه ريحا . فإذا تحرك بلطف ، حرك شعرنا ، أو حرك أوراق الشجر ؛ أما إذا تحرك على شكل عاصفة ، فقد يصيرُ قويا إلى حد أنه يُسقط الأشجار وحتى البيوت . ونقيسُ قوةَ الريح بقولنا إن قوتها تبلغ كذا من الأميال في الساعة . وتصير الريح عاصفة اذا بلغت سرعتها أربعين ميلاً في الساعة . ومتى بلغت سرعتها ٧٠ ميلاً في الساعة ، صارت عاصفةً شديدة الخطر . لكن بالرغم من أن الهواء قد يكون قويا جدا ، فإننا لا نراه ؛ وما نراه هو تأثيره لا غير . ويمكننا ان نرى الضباب . لكن الضباب ليس هواء ، وانما هو بخار ماء في الهواء . وقد يغشى الأرضَ ضبابٌ أسود يمكننا رؤيته لكنه ايضا ليس هواء ، وانما هو دخان وغبار في الهواء .

وفي الفصل ٣ ذكرنا أن الهواء غاز . والواقع أنه خليط من غازات كثيرة مختلفة . والجزء الأكبر من هذه الغازات هو من النيتروجين ، ويليه الاوكسجين ، ثم كميات صغيرة متعددة من الغازات الأخرى ، مثل الأرغون . كما توجد في الهواء كمية معينة من الغبار ومن بُخار الماء . ويزداد بُخار الماء كلما ارتفعت « الرطوبة » أي عندما يصبح الجو رطبا .

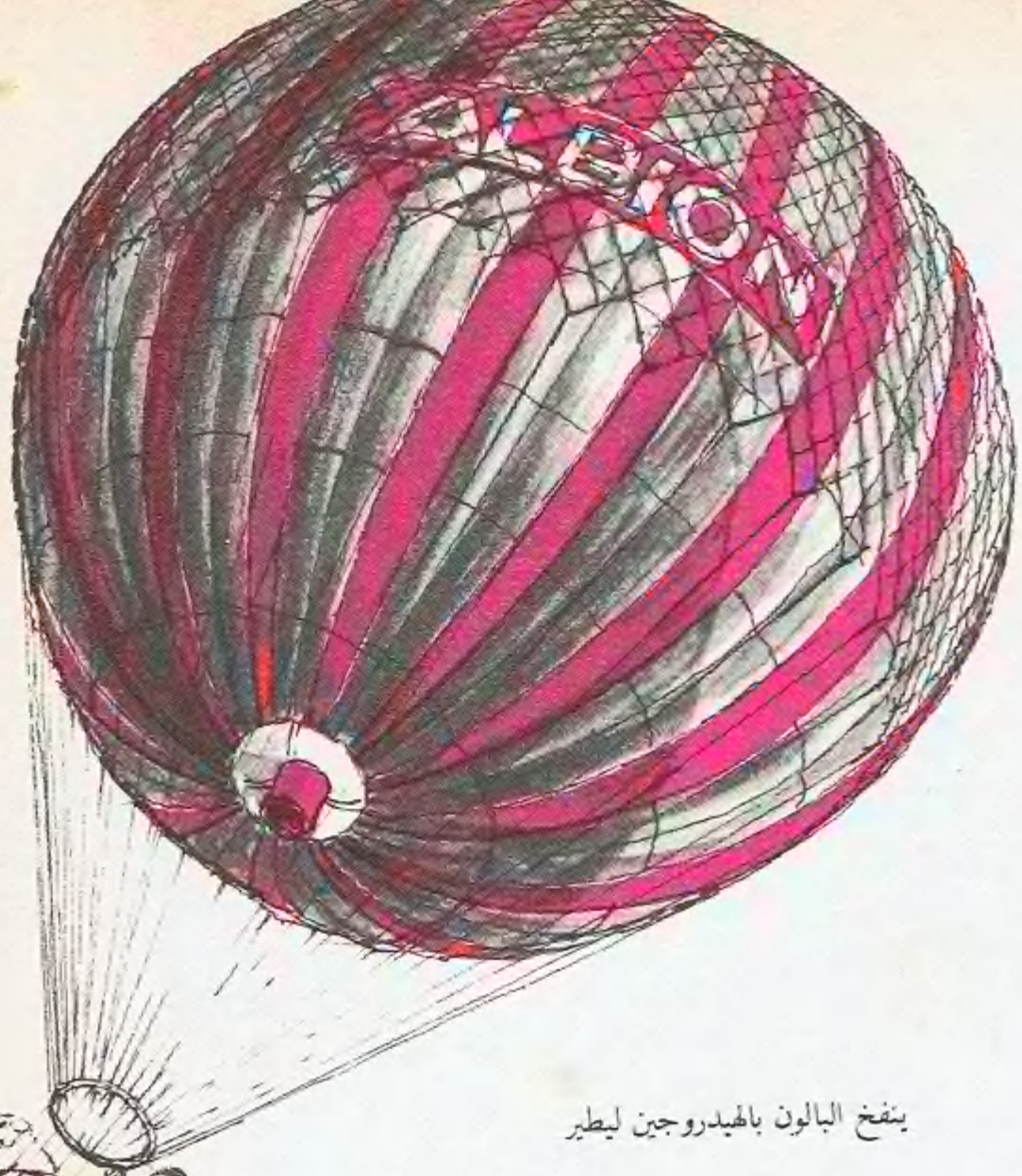
وبما أن الهواءَ غاز ، فانه ليس له شكل محدد . ولكنه كالسوائل يأخذُ شكلَ الأشياء التي يملأها . فعندما نأخذ

يجري نفخ الهواء بالكير لكي تشتعل النار

نفسا طويلا ، فإننا نملأ رئاتنا (جمع رئة) بالهواء ، بالرغم من أننا لا نرى شيئا يدخل فيها . لكننا نُحِسُّ بصدرونا تنتفخ عندما تمتلىء بالهواء ، وتعود الى الانكماش عندما يخرج منها . وهذا شبيه بما يحدث للبالون الذي يكبر عندما ننفخ فيه ، ويعود الى الانكماش عندما يخرج منه الهواء . والشيءُ ذاتهُ يحدث عندما ننفخ إطار الدراجة . فإذا ثُقب الإطار خرج منه الهواء وانكمش .

نقول ان الهواء كالماء يدخل في كل مكان يمكنه الدخول فيه . ولْنَرَ الآن ما الذي يحدث . لو افترضنا أن لدينا طشتا واسعا ومرطبانَ مُربى مملوء ين بالماء ، وأفرغنا المرطبان في الطشت ، ترى هل يصير المرطبان فارغا؟ نعم ، إنه يبدو فارغا . ولو غطسناه في الماء وحركناه يمينا وشمالاً فإنه لا يلبث أن يمتلىء بالماء ويَهْوي الى قعر الطشت . ولكن لو أمسكنا بالمرطبان « الفارغ » بشكل عمودي بحيث تكون فوهته الى الأسفل ، وغطسناه في الطشت نجد أن الماء يكاد لا يدخل فيه ، وأن علينا أن نمسك بالمرطبان جيدا لنحول دون ارتفاعه فورا الى السطح . واذا أَمَلْنا المرطبانَ قليلا ، تبدأ فقاقيع الهواء بالارتفاع الى وجه الماء والانفجار . ثم لا يلبثُ المرطبانُ ان يمتلىء بالماء ويهوي الى قاع الطشت . وهكذا نرى ان المرطبان لم يكن فارغا ، وانما كان مملوء بالهواء . والحقيقة أن كل شيء--- كالمرطبان والغرفة والبيت والفضاء– يكون مملوء بالهواء ، إلا إذا كان في داخله شيء أثقل منه طرده وحل محله . (وسنرى في الفصل التالي كيف يمكننا تفريغ شيء تفريغا تاما حتى من الهواء) .

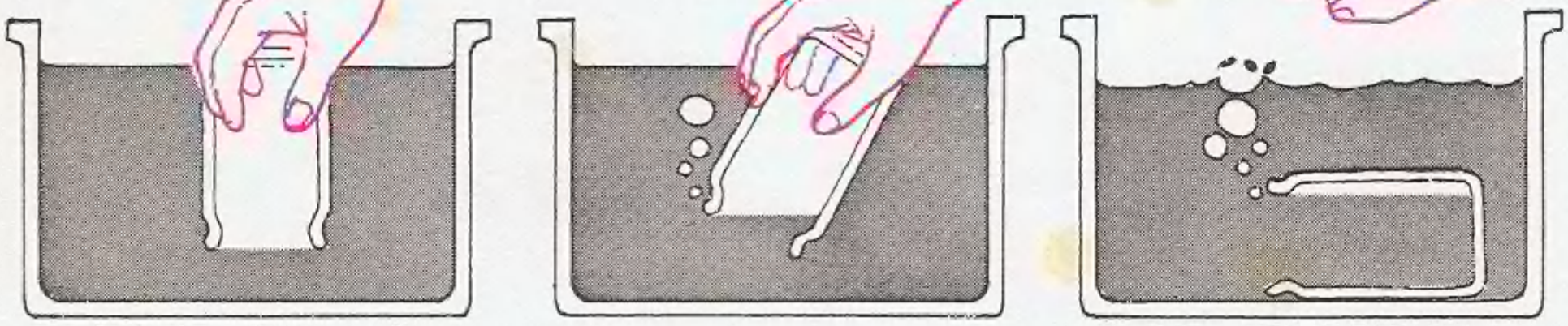
وأحيانا يُحبس الهواءُ في شيء كالماسورة مثلاً ، ولا يتمكن من الخروج منه . وفي هذه الحالة يكوِّنُ ما نسميه « عقدة هوائية » . وتتكون العقدة الهوائية في بعض الاحيان داخل أنبوب ضيق يوصل البنزين من الخزان الى آلة السيارة أو الدراجة النارية . وفي هذه الحالة يتعذر وصول



ينفخ البالون بالهيدروجين ليطير

البنزين ما لم نطرد الهواء . وتتكون العقدة الهوائية أحيانا في مواسير مياه البيوت وبخاصة اذا أوقفنا جريان الماء لإصلاح خلل في ماسورة مثلا ، ثم أعَدْنا الماء اليها . فعندما يندفِعُ الماء في الماسورة ، تُحاول فقاقيع الماء الهرب . وفي هذه الأثناء يحدث الكثير من الفرقعة في الماسورة ، والكثير من البقبقة في حنفية الماء لأن الماء وفقاقيع الهواء تحاول معا الخروج منها .

وبما أن الهواء مادةٌ يمكن ان تملأَ الاشياء ، فلا بد أن يكون له وزن . وهو خفيف جدا اذا قيس بالماء . ولكنه كما رأينا في الفصل ٣ ليس أخف المواد . فالبالون المملوء بالهيدروجين يطير في الهواء ، ولا شك أننا جميعا رأينا ورقةً ميتة أو ريشةً تطير في الهواء . والحقيقةُ هي أن الهواءَ يضغط علينا دائما بقوة . ولكن بما أنه يضغط علينا من كل ناحية ، من داخل أجسامنا وخارجها ، فإننا لا نلاحظه . وسنقرأ المزيد عن ضغط الهواء في الفصل ١٩ .



يهرب الهواء من المرطبان قبل أن يدخله الماء

# ١٥- الفــراغات

لو رجعنا الى كلمة «فراغ» في القاموس ، وجدنا أنها تُشيرُ الى مكان لا شيءَ فيه . لكن سبقَ لنا أن رأينا أننا عندما نقول مثلاً بأن المرطبان لا شيء فيه ، ننسى أنه ليس في الواقع فارغا ، وإنما هو مملوء بالهواء . لكن العالمَ يقصد بكلمة «فراغ» المكان الذي تم طردُ الهواء منه . والحقيقة هي أنه يكاد يستحيل علينا أن نوجد فراغا كاملاً . وعليه فإننا في العادة نقصد بالفراغ وعاءً فيه القليل من الهواء الذي يقل ضغطه نحو الخارج كثيراً عن ضغط الهواء من الخارج عليه .

إذا أخذنا مثلاً علبة صفيح مقفولة إقفالا محكما بسدادة (شكل ١) ورفعنا سدادتها ، وصببنا فيها شيئا من الماء ، ثم عرضناها للحرارة فوق شعلة غاز أو سخانة كهربائية ، فلا يلبث الماء أن يغلي ويتحول الى بخار. وكما رأينا في فصل ٤ فان الماء الساخن بعد ان يتحول الى بخار يحتل مكانا اكبر بكثير من المكان الذي كان يشغله وهو ماء . ولهذا فان البخار يملأ الصفيحة ، ويطرد الهواء ، ثم يندفع منها الى الخارج . وعندما يغلي أكثر الماء ، نأخذ العلبة بقطعة من القماش الخشن ونقفلها بالسدادة إقفالا محكما ، ثم نتركها حتى تبرد . وعندما يبرد البخار في العلبة ، ينكمش ثانية ، ويصير ماء ، ويحتل مكانا صغيرا فيها . لكننا بإقفالها نمنع الهواء من الدخول وملء الفراغ فيها . وبهذا يبقى ما فوق الماء فارغاً ، أي أنه صار هناك فراغ حقيقي .

لكن يحدث الآن شيءٌ غريب . إذ لا تلبث العلبة ان تنبعج كما لو أن شيئاً ثقيلاً كان يضغط عليها من الخارج . وأخيرا تلتوي العلبةُ كلها . وكما نعلم ، فالهواءُ يضغط على العلبة من الخارج كما كان يفعل قبل البدء بهذا الاختبار . لكن قبل البدء به كان الماء أو البخار يضغط من الداخل بنفس القوة التي كان الهواء في الخارج يضغط عليها ، وبذلك تعادلت القوتان . لكن تكوّن الآن فراغٌ داخل العلبة ، ولم تعد فيها قوة تقاوم الضغط من الخارج . ولهذا انكمشت جدران العلبة .

وفي القرن السابع عشر ، اخترع العالم الالماني أوتوفون جيريك مضخة هوائية يمكنها ان تمتص الهواء من العلبة ، بالطريقة التي يُدخِل بها منفاخُ الدراجة الهواء . وهكذا تمكن بسهولة من تكوين فراغ . وخلال تجاربه على الفراغات ، اكتشف ان للفراغ بين شيئين قوةٌ تجذب هذين الشيئين أحدَهما الى الآخر ، كما حدث لجدران الصفيحة من جراء ضغط الهواء من الخارج . وقد قام فون جيريك بقطع كرة كبيرة مجوفة من النحاس الى نصفين ، وثبّتَ حلقةً من النحاس على ظهر كل منهما ، ثم ضمَّ النصفين أحدَهما الى الآخر وفرَّغ جميعَ الهواء من التجويف بينهما . فتسبب الفراغ الذي أحدثه في ضغط الهواء من الخارج والتحام النصفين كأنهما قطعة واحدة . وبعد أن دعا الناسَ لرؤية تجربته ، ربط بكل حلقة من حلَقَتَيْ الكرة المتقابلتين ثمانيةَ جياد قوية ، وجعل كلَّ مجموعة منهما تشدُّ باتجاهها . لكن الجياد لم تستطع شق الكرة النحاسية الى نصفين . هذا مع العلم بأنه لم يكن هناك شيء يشد النصفين غير ضغط الهواء من الخارج .

ويمكننا أن نُشاهِدَ شيئاً مثلَ هذا يحدث في المطبخ عندما نقوم بتعليب الفاكهة . إذ نضع الفاكهة مع ماء

شكل ١

فون جيريك يستخدم مضخته الهوائية لامتصاص الهواء من بين نصفي الكرة النحاسية المجوفة

لم يستطع فريقا الجياد فصل نصفي الكرة أحدهما عن الآخر

يغلي في زجاجة . وكما حدث بعلبة الصفيح ، فان بخارَ الماء يملأ الزجاجة . وعندئذ تسدُّ الزجاجةَ بغطاء له حلقةٌ من المطاط ، وتثبّته عليها بمشبك . وعندما يبردُ البخارُ وينكمشُ ، ينشأ فراغ في أعلى الزجاجة . وعندما تبرد الزجاجة تماما ، يمكننا نزع المشبك لأن الفراغ يثبّت الغطاء وحلقةَ المطاط . والحقيقة هي أننا إذا أردنا نزع الغطاء فانه علينا ان نستخدم سكينا . ويُستخدم الفراغ أحياناً في سد المرطبانات التي نراها في المخازن . ويمكننا أن نفتحها بخرق أغطيتها . إذ حالما نخرق غطاء إحداها فإننا نسمع الهواء وهو يندفع ليملأ الفراغ وعندئذ يخرج الغطاء .

والفواكه المحفوظة بهذه الطريقة تظل طازجة لأنه ليس فيها هواء . وطالما أنه ليس فيها هواء فإنه ليس بها ميكروبات . وعليه فإنه يمكن استخدام السد بالفراغ لحفظ الأشياء . ويمكن استخدامه كذلك في إبقاء الأشياء في درجة حرارة معينة عالية أو منخفضة . وقارورة الفراغ التي نراها في شكل ٢ هي وعاء ذو جدارين بينهما فراغ لأنه جرى امتصاص الهواء الذي كان بينهما . ويوضع الغذاء الساخن كالشاي مثلا داخل القارورة بين الجدران الداخلية ثم تسد القارورة سدا محكما ، فيظل الشاي ساخنا لأن الفراغ حوله يحول دون تسرب أشعة الحرارة (انظر فصل ٣٩) . والجدران الداخلية تكون مصقولة كالمرايا فتعكس أشعة الحرارة الى الداخل . ويحدث الشيء ذاته إذا وضعنا بوظة في القارورة ، فإن الحرارة لا تتسرب من الخارج اليه . وهكذا فان الأشياء الساخنة تظل ساخنة ، والباردة تظل باردة . والحقيقة هي أن سدادة القارورة لا يمكن ان تحول تماما دون تسرب الهواء ، ولهذا فإن حرارة الشاي وبرودة البوظة لا يلبثان أن يتغيرا بعض الشيء .

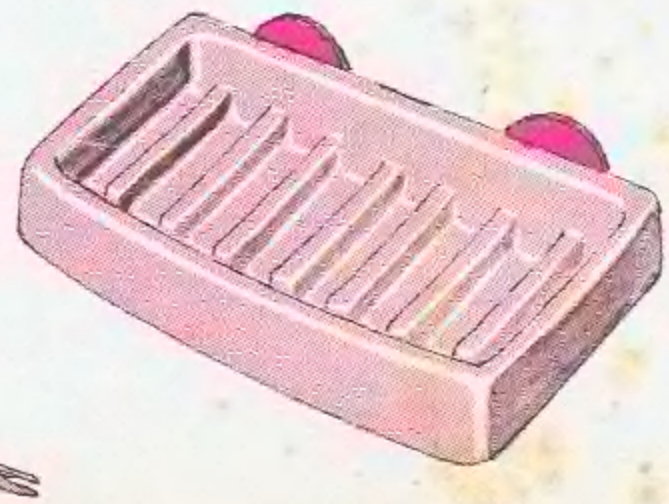
شكل ٢
قارورة فراغ

# ١٦- الامْتِصَاصُ وَالسَيْفنَة

رأينا في الفصل السابق مدى قوة امتصاص الفراغ — كانت قوية إلى حد أن فريقين من الجياد ، كل فريق يتألف من ثمانية منها ، لم يستطيعا فصل نِصفي كرة فون جيريك النحاسية المجوفة . والآن سوف نستعرض بعض الطرق التي تستخدم بها قوة امتصاص الفراغ .

لنفترض أنك تريد ان تشرب كأسا من عصير الليمون بواسطة قصبة رفيعة . إنك تضع أحد طرفي القصبة في الكأس وتضع الطرف الآخر في فمك ، وتمص العصير . حالما تفعل هذا ينتقل هواء القصبة الى فمك فتبتلعه . وإذا أبقيت القصبة في فمك تكون فيها فراغ جزئي يمتلىء بالعصير . ثم إذا مصصت مصة خفيفة جدا جرى العصير الى فمك .

إذا انسدت بالوعة المطبخ بشيء مثل ورق الشاي ، فيمكن ازالة الانسداد بالأسلوب ذاته وذلك باستخدام ماصة مطاط على شكل الكأس . توضع هذه الماصة فوق فتحة البالوعة ويجري الضغط عليها لتنبسط ثم تُترك فتعود إلى شكلها الأول (كالكأس) ساحبة معها الهواء . وهذه العملية توجد فراغاً في البالوعة يمتص ما يسدها بسهولة . وأسلوب استخدام هذه الماصة المطاطية المصنوعة على شكل كأس هو الذي يُبقي صحون البلاستيك للصابون أو علاقات مناشف الحمام ثابتة على الجدران بدون مسامير أو غراء . فالهواء يضغط على رأس العلاّقة من الخارج فيتكون فراغ تحته دون أن يكون هناك ضغط مضاد يفصله . وهناك نوع من الأقواس أو المسدسات التي يلعب بها الأطفال تطلق سهاماً أو رصاصات لها رؤوس من المطاط . وعندما يصيب أحد السهام مثلاً هدفه ينبسط ويطرد الهواء بينه وبين الجدار مكوناً فراغاً . وبهذا يلصق



صحن صابون مثبت على الحائط بواسطة رؤوس امتصاص

مكنسة كهربائية

بالجدار . والمكنسة الكهربائية لها موتور كهربائي يدير مروحة تمتص بدلاً من أن تنفخ . فهي تمتص الهواء من أنبوب الفراغ ، ثم تسحب اليه الغبار والوسخ ، ومنه إلى الكيس .

ويحرص كثير من البستانيين على أن تكون لديهم أحواض أو خزانات للماء . وأسرع طريقة لملء حوض منها هو باستخدام خرطوم ماء . ويثبّت أحد طرفي الخرطوم في حنفية ويُدلّى الطرف الآخر في الحوض . ولنفترض ان البستاني بعد امتلاء الحوض أقفل الحنفية وسحب منها طرف الخرطوم وذهب ليشرب الشاي تاركاً الطرف الآخر في الحوض ، فإنه عندما يعود تأخذه الدهشة لأنه يجد الحوض فارغاً . وعندما يذهب الى طرف الخرطوم الآخر يجد بركة كبيرة من الماء . ترى كيف تسرب الماء من الحوض وتدفق من ذلك الطرف ؟ إليك ما حدث . عندما انتزع طرف الخرطوم من الحنفية أخذ الماء يخرج منه . لكن بما ان الطرف الآخر في الحوض ، فالهواء لا

سهام ذات رؤوس امتصاص

ينفذ إليه . وهذا يجري امتصاص الماء من الحوض . ويستمر الماء في التدفق من الحوض حتى يفرغ . ويعرف ما حدث « بالسيفنة » .

وتتجلى فائدة السيفون في تفريغ الصهاريج وغيرها إذا لم يكن قلبها ممكناً . إذ يمكن عندئذ تفريغ الصهريج في مصرف أو وعاء . وكلما نحتاجه لذلك أنبوب مملوء بسائل يدلى طرف منه في الصهريج والطرف الآخر في المصرف أو الوعاء . وعندما يبدأ السائل بالتدفق من الطرف الذي في الصهريج أو الوعاء يترك خلفه فراغاً . ولا بد أن يكون هذا الطرف على مستوى ادنى من الصهريج . إذ بالرغم من أن قوة امتصاص الفراغ ترفع الماء من الصهريج ، فإنها لا تستطيع ان ترفعه إلى مكان أعلى من مكان خروجه . ويمكنك أن تحس بقوة الامتصاص إذا وضعت يدك على طرف الأنبوب المدلى في الصهريج خلال عملية السيفنة .

ومن السهل أن تجرب السيفنة بنفسك إذا أخذت كأسين وأنبوباً صغيراً من المطاط . املأ أحد الكأسين بالماء . ثم اغمس طرف الأنبوب فيه ، وضع الطرف

سحب البستاني الخرطوم من الحنفية وذهب ليشرب الشا

الآخر في فمك . ثم مص الماء حتى يمتلىء الأنبوب . ثم أخرج طرفه من فمك ودلّه في الكأس الفارغ ، لكن على شرط ان يكون الكأس الفارغ في مستوى أدنى من مستوى الكأس المملوء . عندئذ ترى الماء يتسرب بالسيفنة من الكأس المملوء الى الفارغ .

وكثيراً ما يستخدم المهندسون السيفونات عندما تنقل السوائل من مكان عال إلى مكان منخفض بينهما نقاط مرتفعة . ويستخدم الأسلوب ذاته في شبكات تزويد المياه وتصريفها وفي نقل الزيت بالأنابيب .

•• فعل الشعري يجعل ماء القارورة يسري

# ١٧ - الفعل الشّعْرِيّ

إذا سكبت نقطة من سائل كالحبر الأحمر مثلاً على مكتبك او طاولتك ، فأفضل طريقة لازالتها هي أن تستخدم ورقة نشاف . فإذا أمسكت الورقة من طرفها ، وقرّبت الطرف الآخر من النقطة ، ترى الحبر يسري فيها ويصبغها باللون الأحمر . فإذا كبرت كمية الحبر ، صعدت الى نقطة أعلى في الورقة . لكننا نعلم ان السوائل عندما تسيل تتجه الى أسفل لا إلى أعلى . إذاً ، فما الذي يجعلُ الحبرَ يسري في الورقة إلى أعلى . الواقع أن الشيء ذاته يحدث لو كان السائل المسكوب ماء . لكن من الأسهل مشاهدة السوائل الملونة كالحبر الأحمر أو الأزرق .

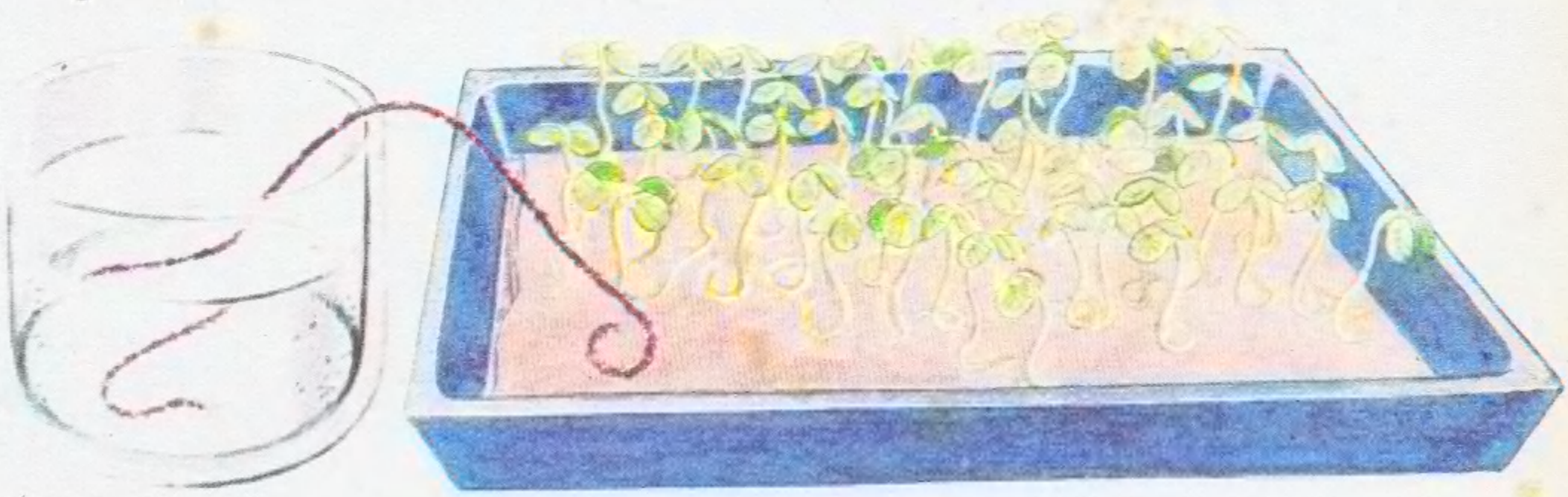
وبدلاً من النشاف يمكنك أن تستخدم منديلك . فإذا قرّبت طرفه من النقطة ، حدث الشيء ذاته . وبالطبع فإنك لن تستخدم منديلك إذا كانت نقطة السائل المسكوبة حبراً ، لأنّ الحبر يلطخ المنديل . ويمكنك في هذه الحالة أن تستخدم قطعةً من الكتان أو القطن .

ولو أنك استخدمت بدلاً من ورق النشاف ورقاً مصقولاً كالورق الذي تكتب عليه ، تجد أنه لن يسحب شيئاً من الحبر . إذاً فما هو الفرق بين ورق النشاف ومنديل القطن أو الكتان ، وبين ورق الكتابة ؟

إذا أخذت قطعة سكر ، وغمست طرفها في فنجان شاي ، يمكنك أن ترى الشاي يرتفع ويبلل قطعة السكر ويلونها . لكن الشاي لا يرتفع في الملعقة ولا في إصبعك لو غمست طرف أحدهما فيه . من هذا يتضح أن ورق النشاف والكتان والقطن والسكر يختلف عن ورق الكتابة المصقول والملعقة والإصبع . ولو وضعت قطعة سكر تحت زجاجة مكبرة أو عدسة مجهر ونظرت إليها ، وجدت أنها تتكون من بلورات صغيرة جداً بينها مسافات صغيرة . وإذا نظرت إليها بعد أن تتشرّب الشاي ، تجد أن المسافات الصغيرة قد امتلأت بالشاي . ويحدث الشيء ذاته لورق النشاف والقماش . فهما يتكونان من ألياف متباعدة . أما ورق الكتابة المصقول فأليافه مضغوطة على نحو يجعله ملسا وصالحاً للكتابة ، ولا يترك ثُقوباً يسري فيها الحبر .

وتُعرف حركة السوائل إلى أعلى في الثقوب الصغيرة بـ«الفعل الشّعري» . فأصل الكلمة الانجليزي مأخوذ من كلمة لاتينية معناها «شعرة» ، والخروق التي نتحدث عنها ليست أعرض من الشعرة . ولكي نكتشف سببَ ارتفاع السوائل في هذه الثقوب بينما تشدها الجاذبية إلى أسفل ،

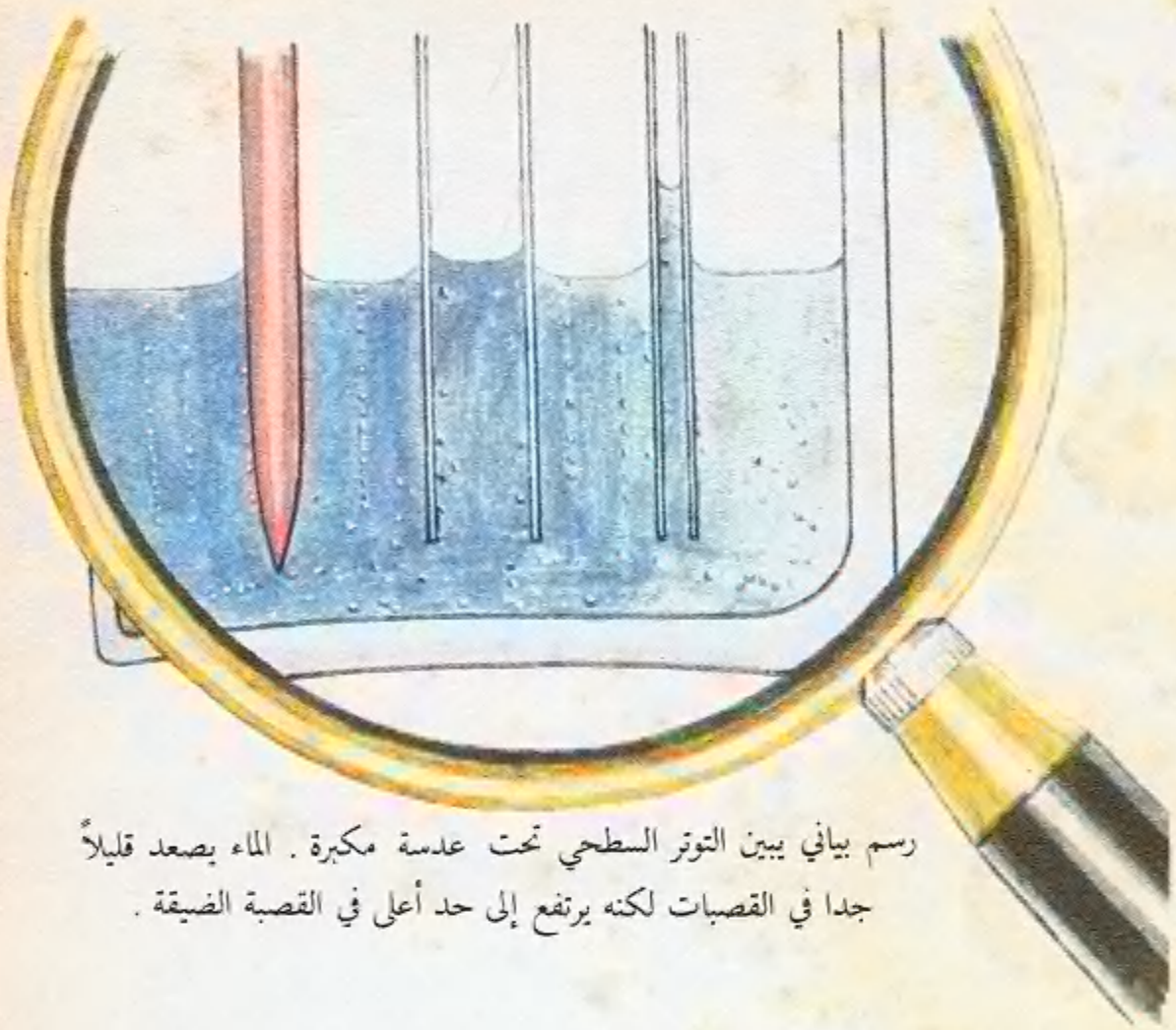
بلورات السكر تحت الزجاجة المكبرة



الفعل الشعّري يجعل ماء القارورة يسري في خيط الصوف ، ويبلل ورقة النشاف ، ويروي النباتات الحارة .

لا بد لنا من أن نفحص السوائل بدقة أكبر . ولننظر إلى قطرات المطر وهي تسيل على زجاج النافذة بعد زخة مطر . نجد أن القطراتِ الكبيرةَ تسيلُ بسرعة . لكننا لا نَلبثُ أن نلاحظ أن بعض القطرات بقيت عالقة على الزجاج . والسبب في هذا هو أن قطرة السائل مُغَلّفة بنوع من « الجلد » يمكّنها من التماسك . فالجزيئات التي تتكون منها القطرة — سواء كانت قطرة ماء أو حبر أو شاي — تتماسك عند سطحها وتكوّن « الجلد » ، وهذا هو ما يدعوه العلماء بـ« التوتر السطحي » . لكن القطرة الكبيرة تسيل على الزجاج بسبب ثقلها في الوقت الذي تحافظ فيه على تماسكها كقطرة . والتوتر السطحي يحدث عند سطح السوائل سواء كانت قطرات أو في حوض أو غيره من الأمكنة .

وإذا نظرت بدقة كبيرة إلى زجاجة مملوءة بالماء مُستخدماً إذا أمكن عدسة مكبرة ، فقد ترى أن التوتر السطحي يجعل الماء يرتفع قليلاً عند التقائه بسطح الزجاجة . وإذا غمستَ إبرة خياطة في زجاجة ماء ، تلاحظ أن سطح الماء لا يكون مستوياً كل الاستواء ، وذلك لأنه يرتفع قليلاً حول الإبرة ومعه بعض الماء الذي يكون قد امتصه . وعندما نلمس الحبر المسكوب على الطاولة بورق النشاف ، فإن التوتر السطحي للحبر يرفع الجلد إلى فراغات الورق الصغيرة ومعه ما امتص من الحبر . ونظراً لوجود عدد كبير من المسافات الصغيرة في ورق النشاف ، فإن الجلد يدخل فيها ومعه المزيد من الحبر الذي امتصه . والامتصاص او الفعل الشّعري الذي يسببه التوتر السطحي قوي بحيث يستطيع دفع الحبر إلى ورق النشاف بالامتصاص . والحقيقة أن العلماء يعتقدون أن هذا هو الذي يمكّن الرطوبة التي تستمدها جذور النبات من التربة من الوصول إلى جميع اجزاء النبتة حتى إلى قمم الأشجار العالية .



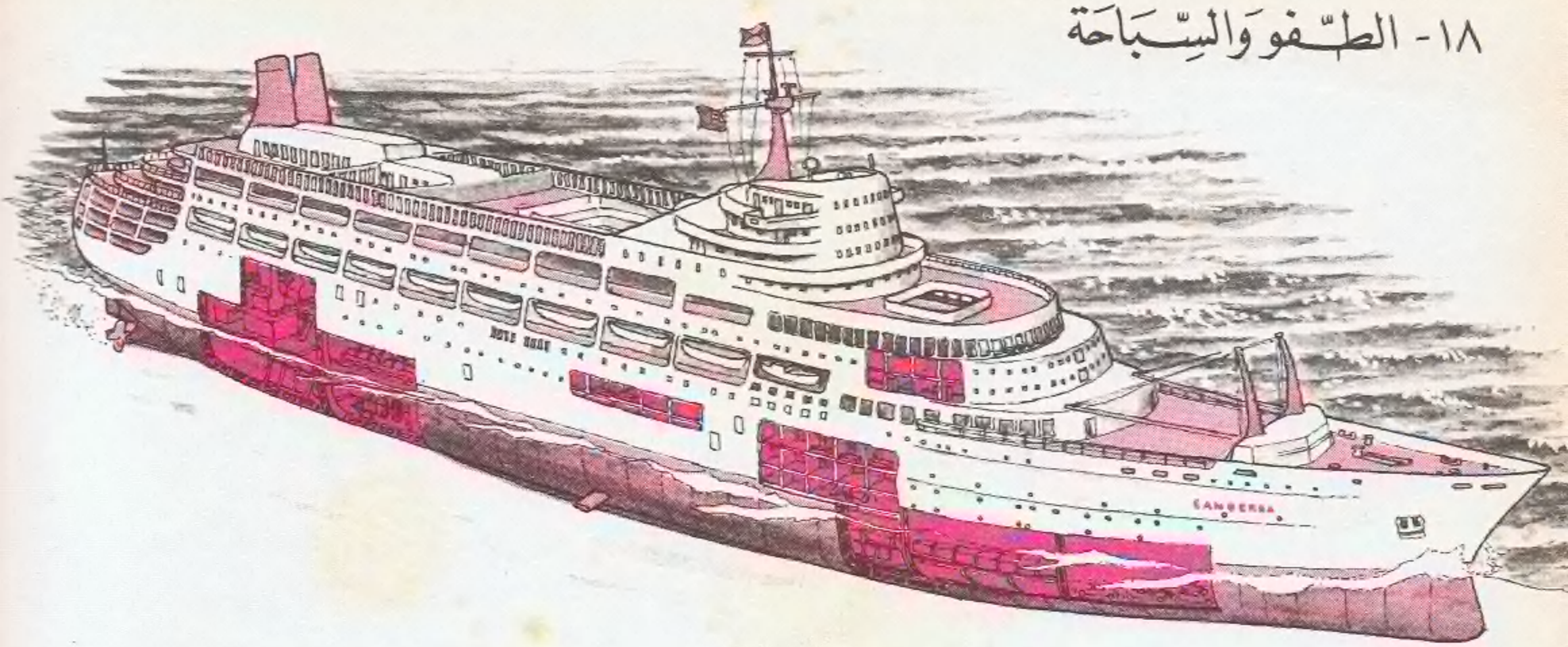
رسم بياني يبين التوتر السطحي تحت عدسة مكبرة . الماء يصعد قليلاً جدا في القصبات لكنه يرتفع إلى حد أعلى في القصبة الضيقة .

والفعل الشّعري لا يحدث إلا من خلال ثقوبٍ الواحدُ منها في حجم الشعرة . فإذا لمست زجاجة من عصير الليمون بقصبة ، فإن التوتر السطحي يدفع العصير مسافة قصيرة في القصبة ، إلا إذا مصصته من الطرف الآخر . فعندما تلمس القصبة سطح السائل ، فإن التوتر السطحي يعمل على رفع جلد العصير على جوانب القصبة كما حدث في حالة الإبرة . لكن ما لم تكن الثقوب صغيرةً جداً فإن الجلد لا يكون قوياً بحيث يمتص قدراً كافياً من السائل لملئها . فإذا كانت الثقوب كبيرة ، كما هي الحال في الاسفنج ، فإن السائل لا يملأ سوى قسم منها . أما إذا كانت الثقوب أكبر بكثير ، مثل ثقب القصبة ، فبالرغم من أن السائل يرتفع فيها ، فإنه ينتشر انتشاراً واسعاً لا يساعده على الارتفاع كثيراً فيها .

قطرات المطر على زجاج النافذة .

يرتفع الحبر الاحمر في ورق النشاف

# ١٨- الطّفو والسِّباحة




رسم جانبي لاحدى عابرات المحيطات الضخمة يرينا بعض الفراغات المملوءة بالهواء والتي تمكن السفينة من أن تطفو

هل سبق لك أن عجبت كيف تستطيع سفينة ضخمة مصنوعة من مواد ثقيلة كالحديد والصلب وتحمل مئات الناس أن تطفو فوق مياه البحر؟ إذا أخذت قطعة واحدة من الحديد وألقيت بها في الماء فإنها تغطس فيه. وإذا أنت نفسك وقعت من قارب في البحر، فإنك تغطس في الماء وتغرق، ما لم تكن قادراً على السباحة. إذا لماذا لا تغرق السفينة؟

إذا قذفنا قطعةً من الفلين في الهواء، فإننا نعلم أن قوة الجاذبية سوف تُرجعها إلى الأرض (انظر فصل ٢٠). لكن إذا ألقينا بها على بركة ماء، فإنها لا تهوي إلى قعرها، بل سوف تطفو على سطح الماء. ويمكنك أن تغرقها بيدك، ولكنها لا تلبث ان تقفز إلى السطح حالما تسحب يدك. على أننا لو ألقينا حجراً في البركة، فإنه يهوي إلى القعر في الحال. ولكي يهوي إلى القعر، فلا بد له من أن يزيح قدراً معيناً من الماء. والجاذبية بدورها تشد الماء إلى أسفل. وعليه فإن الماء يدفع الفلين أو الحجر إلى الوراء ليمنعها من إزاحته. ولما كان الفلين أخف من الماء، فإن الماء يدفعه إلى الأعلى. لكن لما كان الحجر أثقل من الماء فإنه يستطيع أن يزيح الماء ويحل محله.

والعالم اليوناني ارخميدس الذي عاش قبل ٢٢٠٠ سنة في سيراكوز كان اول من فهم فعلا مسألة «الطفو» أو القابلية للطفو، وكيف أن الطفو يعتمد على مقدار الماء الذي يحل الجسمُ محلّه. ولقد توصل إلى هذا الاكتشاف بينما كان في حمام عام. فقد لاحظ أنه كلما أنزل جسمه في الماء ارتفع الماء أكثر فأكثر. وأدرك أنه يستطيع معرفة مقدار كمية الماء التي ارتفعت، وبذلك يعرف مقدار كمية الماء التي حل جسمه محلها. وبهذه الطريقة استطاع ان يقارن بين كميات الماء التي تحل محلها أجسام من مواد مختلفة. ولقد سُرَّ باكتشافه إلى حد انه نسي كل شيء من ملابسه، وقفز خارجاً من الحمام وعاد إلى بيته وهو يصرخ «لقد وجدتها! لقد وجدتها!»

حجم رطل الفلين أكبر خمسين مرة من حجم رطل الحديد

قارب نجاة منتفخ ومملوء بغاز ثاني أكسيد الكربون (ك٢أ) . ويمكن أن تملأه بالغاز في ٣٠ ثانية . ويستطيع بعد ذلك أن يحمل ٢٦ شخصاً بدون أن يغرق

ماذا يحدث لو أننا رمينا في البركة قطعةً من الفلين وقطعة من الحديد تزن كل منهما رطلاً ؟ بينما تطفو قطعةُ الفلين على سطح الماء يهوى الحديد فيه . لماذا يحدث هذا مع العلم بأنهما من وزن واحد ؟ الواقع أن حجم الفلين الذي يزن رطلاً كبير جداً ، بينما حجم الحديد الذي يزن رطلاً أصغر بكثير . وعليه فإن رطل الفلين يحل محل قدر من الماء أكبر بكثير من القدر الذي يحل محله الحديد وهو يهوي الى القعر . وهكذا فإن قدراً من الماء أكبر يدفع الفلين إلى الأعلى ويمنعه من أن يهوي في الماء . وإذاً ، فالأشياء تطفو على سطح الماء إذا كانت أخف وزناً من الماء الذي تحل محله لو هوت فيه ، وتهوي الى قعر الماء إذا كانت أثقل وزناً من الماء الذي تحاول أن تحل محله . وعليه فإن غرق الشيء أو طفوه يعتمد على نسبة وزنه إلى حجمه .

يجري تصميم القوارب بحيث يكون جزء القارب المغمور بالماء مملوء بالهواء الذي هو أخف من الفلين . وعليه فإن حجم الماء الذي يدفع السفينة الى أعلى كبير جداً بحيث أن أثقل القوارب لا يغوص في الماء إلا قليلاً . فإذا نظرت إلى قارب فارغ فوق الماء تجد ان الماء لا يغمر إلا قسماً قليلاً من جوانبه . لكن حالما تدخله يغوص أكثر قليلاً . وكلما زاد ثقل حمولته التي تحل محل الهواء غاص أكثر فأكثر في الماء . فإذا زاد وزن القارب وحمولته على وزن الماء الذي يحل محله أخذ في الغرق .

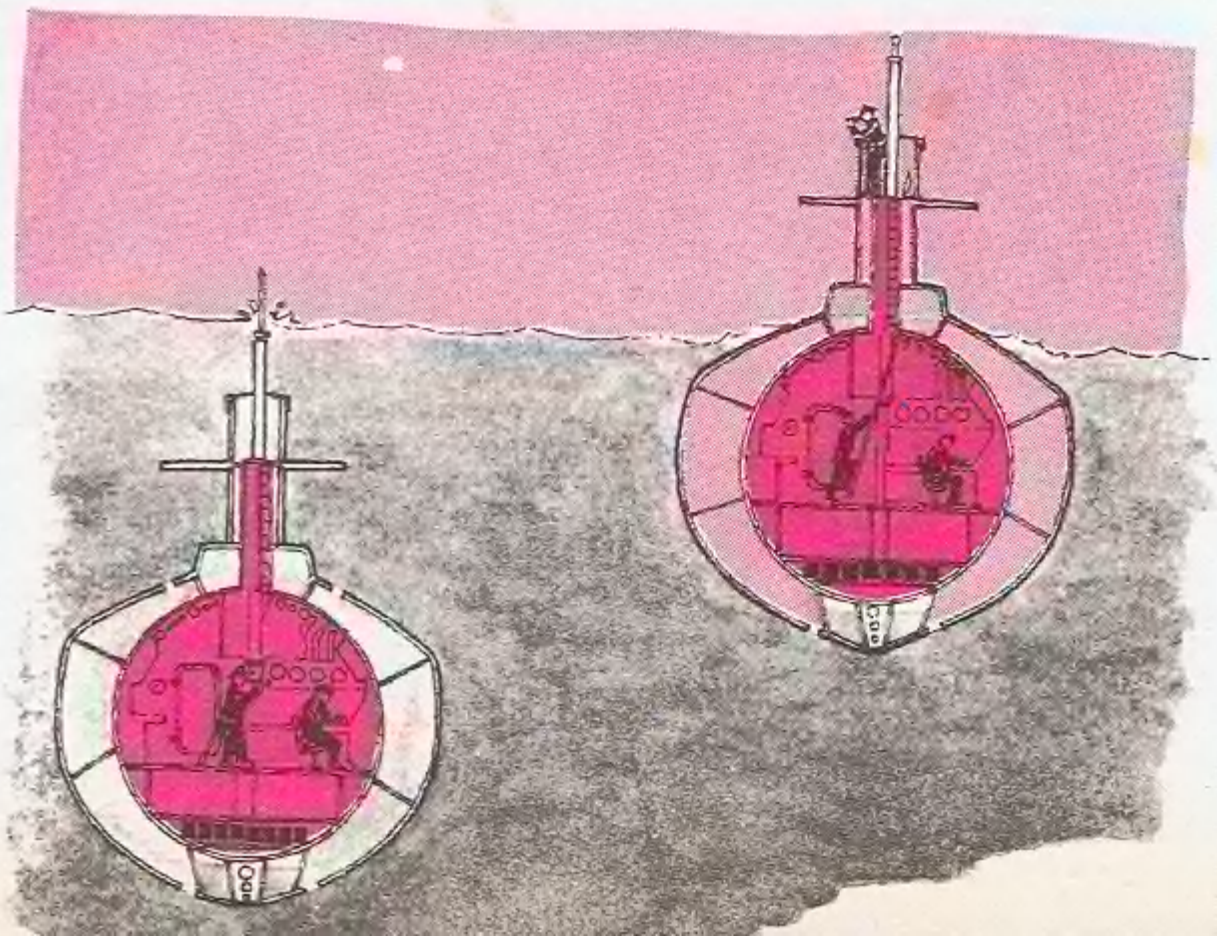
والسفينةُ الضخمة ، مثل كوين ماري ، تحل محلَّ قدر هائل من الماء . لكن بالرغم من ثقلها البالغ ، فإن جزء كبيراً من قسمها المغمور بالماء يكون « فارغاً » — اي مملوء بالهواء . ولا بد لمن يصممون السفن من أن يحسبوا بدقة بالغة وزن الماء الذي تحل محله السفينة مع حمولتها الكاملة وذلك لمعرفة مقدار الحمولة . ويشار إلى حجم السفينة بعدد أطنان الماء الذي تحل محله . فسفينة كوين اليزابيت مثلاً تحل محل ٨٨٦٧٣ طناً . واذا كانت السفينة ثقيلة جداً ، أو اذا كانت حمولتها أثقل بكثير من الماء الذي تحل محله ، فإنها تتعرض للغرق . أما إذا كانت خفيفة جداً ، فقد يثقل أعلاها وتتعرض لأن تنقلب . ولهذا نجد أن الشاحنات الكبيرة عندما تبحر بدون حمولة تحمل في عنابرها صهاريج لتمكنها من الغوص إلى الحد الذي يبقيها طافية .

وعندما نسبح ، نتمكن من أن نَبْقى على سطح الماء لأن في أجسامنا كثيراً من الهواء . وعليه يسهل علينا أن نطفو على الماء . وعندما تغطس في الماء ، فإنك دائماً تعود إلى السطح مرة أخرى . والواقع أنك لا تغرق إلا عندما تبدأ بابتلاع الماء بدل الهواء . وللسمكة « مثانة سباحة » اي كيس فيه هواء . فإذا ارادت ان تغوص في الماء وأن تَبْقى تحته ، فإنها تضغط المثانة وتتخلص من بعض الهواء وتدخل فيها ماء .

مقطع عرضي لغواصة

أ — عند الغوص تُملأ صهاريج الحمولة الفارغة بالماء .

ب — عندما تصعد الغواصة إلى سطح الماء ، يجري تفريغ الصهاريج .



# ١٩- الضَغْطُ وَالضَخّ

جميعنا يعرف معنى كلمة ضغط . ولكننا في العادة نربط بينها وبين الأشياء الصلبة كضغط أقدامنا على الأرض ، أو ضغط شيء ثقيل الوزن على أكتافنا . على أن السوائل والغازات تضغط أيضاً . وقد ينظر أحد الأشخاص إلى سيارته ويقول : «إن ضغط اطاراتي منخفض جداً . ويجب علي أن أنفخ فيها المزيد من الهواء لرفع الضغط» . والمواد الصلبة تضغط عادة باتجاه واحد . فالشيء الثقيل يضغط أكتافنا إلى أسفل ، وفي الزحام يكون الضغط إلى هذا الجانب أو ذاك . إلا أن السوائل والغازات تضغط ضغطاً متساوياً بكل اتجاه . وعندما ننفخ بالونا بالهواء ، فإن الهواء يضغط على جدرانه الداخلية ويدفعه إلى الخارج في جميع الاتجاهات . وكلما نفخنا مزيدا من الهواء ، فإن الهواء يتعرض إلى مزيد من الضغط ، ويقوم بدوره بدفع جدران البالون بقوة أكبر ويمدد المطاط . واذا واصلنا النفخ بشدة تعرض الهواء لضغط عال ، وفجّر البالون .

وبالطبع فإن الهواء كما رأينا في الفصل الخامس عشر يضغط على البالون من الداخل والخارج على السواء . والهواء يضغط على الأشياء كلها من الخارج . ويقدر ضغطه على البوصة المربعة بأربعة عشر رطلاً . ويبدو هذا الضغط كبيرا جدا . لكن لما كان هذا الضغط من جميع الجهات ، من داخل أجسامنا مثلاً ومن خارجها ، فإننا لا نلاحظه . ولو كان الضغط من الخارج فقط ، فإن أجسامنا تنهار كما حدث لصفيحة الفراغ في الفصل الخامس عشر .

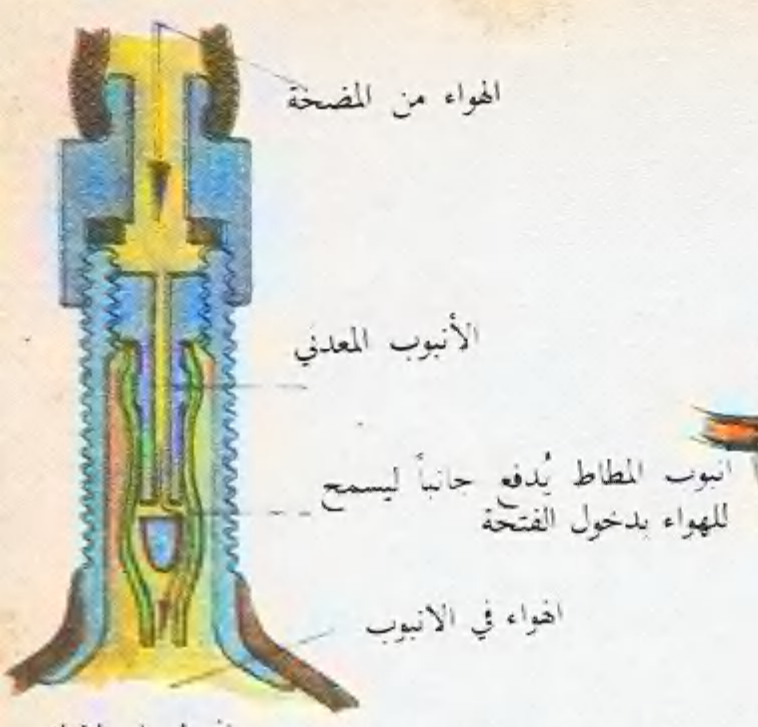
والسوائل كالماء تضغط أيضاً . فالماء مثلاً يضغط في حوض الماء نحو الخارج في جميع الاتجاهات . لذلك من الضروري أن تكون اوعية الماء من القوة بحيث تقاوم الضغط . لكن بينما يمكن ضغطُ الهواء والغازات الأخرى بحيث تشغل حيزاً أصغر ، فإنه يصعب ضغط السائل . وعندما يغلي الماء ويتحول الى بخار ، فإنه يتمدد ويرفع غطاء إبريق الشاي أو الغلاية . وفي طنجرة الضغط لا يسمح للبخار أن يخرج منها ، ولهذا فإنه يكون مثل الهواء داخل إطارات السيارة أو البالون تحت ضغط مرتفع . وعليه فينبغي ان تصنع طنجرة الضغط من معدن سميك لتمنع قوة البخار داخلها من تفجيرها . ويتم طبخ الطعام في هذا البخار المرتفع الضغط بسرعة ، كما ان اللحم يخرج منها طرياً جداً .

عندما تفتح حنفية ماء ، يجري الماء في الحوض أو المغسلة بتأثير الضغط . ولهذا نرى الماء يسيل من خزانات الماء فوق سطح البيت . فثقل الماء في خزانات يضغط على بعض الماء ويدفعه في المواسير إلى مختلف الحنفيات في البيت . لكن ينبغي أن تكون الحنفيات أكثر انخفاضاً من الخزان ، لأن الماء لا يجري إلى الأعلى . نعم إن الضغط يدفع الماء إلى أعلى في المواسير ، ولكنه لا يرفعه إلى مكان أعلى من المصدر الذي يجيء منه . ولهذا نرى خزانات الماء على سطوح البيوت . ولكي ندفع الماء إلى مكان عال جداً فلا بد من استخدام مضخة .

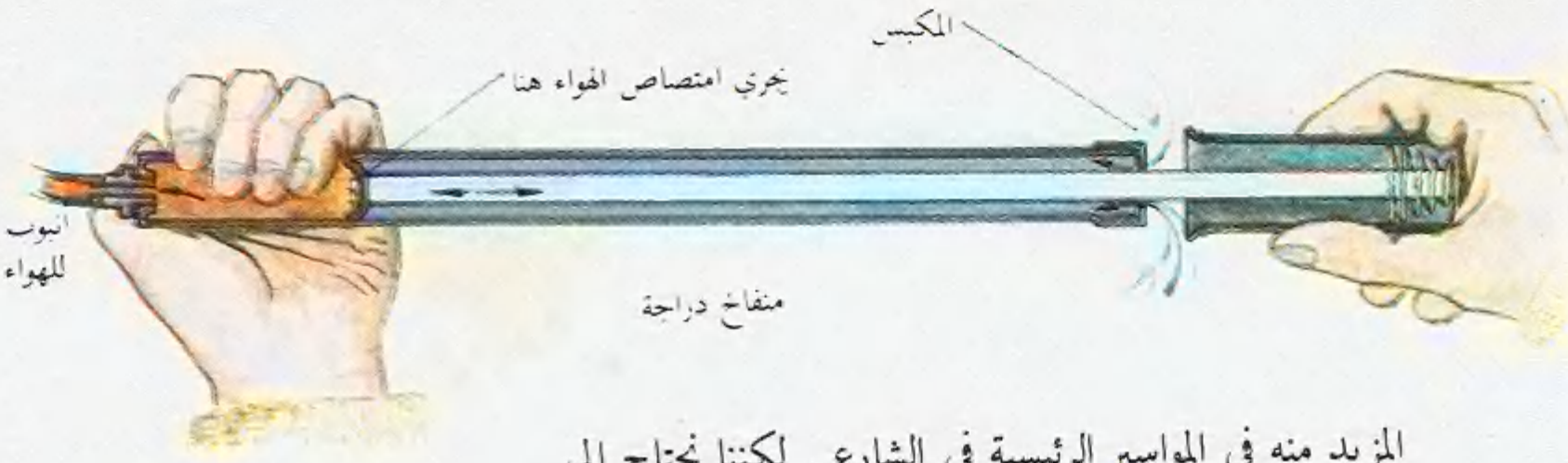
كلما خرج المزيد من ماء الخزان الرئيسي ، جرى

ميكانيكي يختبر ضغط أحد الاطارات

مقياس الضغط يقيس لنا الضغط بعدد الأرطال فوق البوصة المربعة .



رسم بياني لصمام الاطار



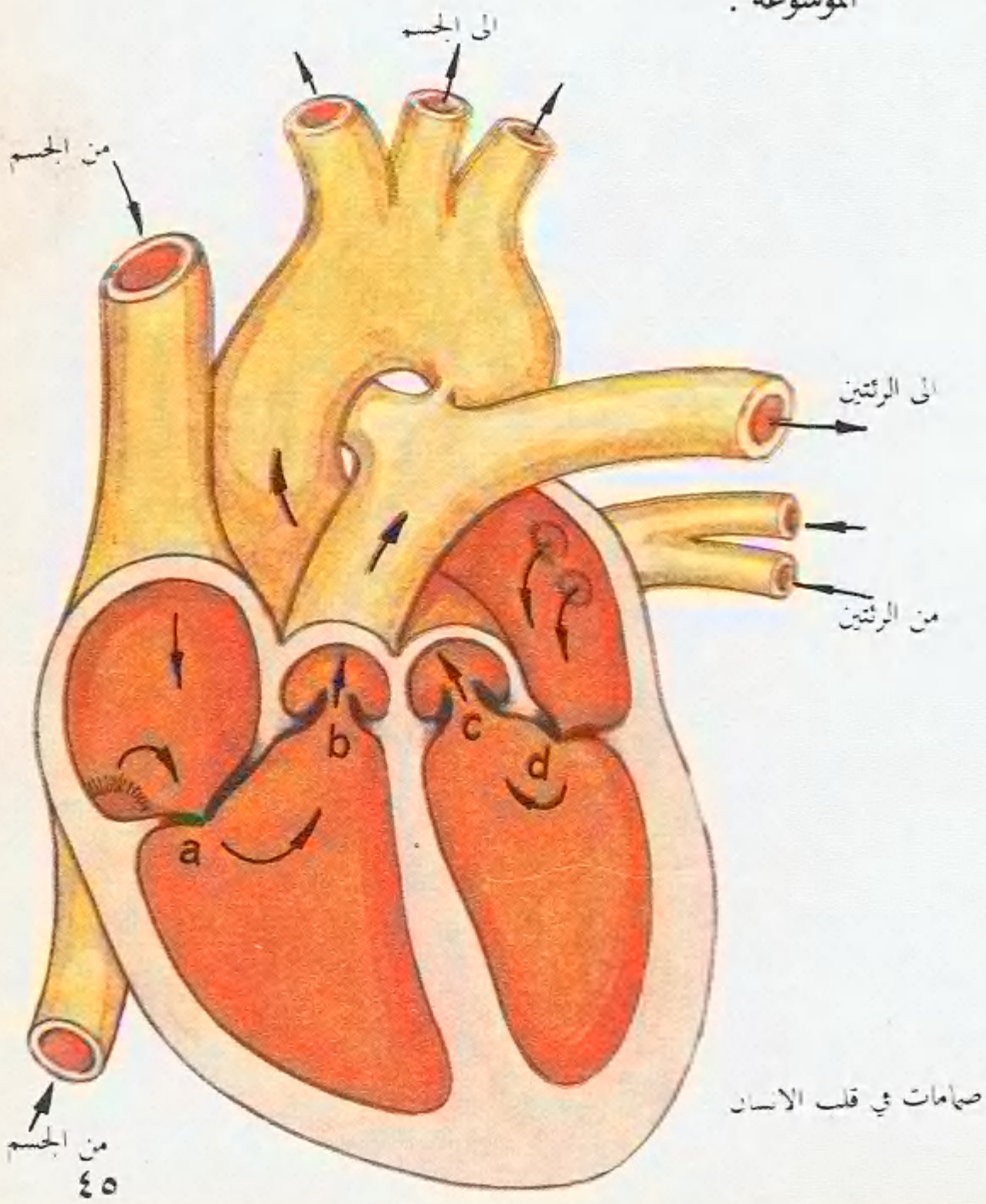

المزيد منه في المواسير الرئيسية في الشارع . لكننا نحتاج إلى مضخة قوية من مضخات مصلحة المياه لتجبر الماء بتأثير ضغط شديد الارتفاع على ان يرتفع من مواسير الشارع إلى المواسير التي تحمله إلى جميع الخزانات فوق سطوح البيوت . وهذه المضخة القوية تعمل بنفس الطريقة التي تعمل بها منفاخ عجلة الدراجة .

إذا قمتَ بتفكيك منفاخ عجلة الدراجة تشاهد في داخل الأنبوب الطويل اسطوانة مستديرة تسمى «المكبس» . هذا المكبس يتحرك إلى أعلى والى اسفل عندما تسحب يد المنفاخ أو تضغطه . فعندما تضغطه يتحرك المكبس إلى أسفل الانبوب ويسوق الهواء أمامه ويدفعه داخل الصمام إلى الاطار الداخلي . وعندما تسحب يد المنفاخ يسحب معه المكبس . لكن لماذا لا يمتص المكبس الهواءَ مرةً أخرى ؟ إنه لا يستطيع أن يمتصه بسبب الصمام .

إن الصمام من أروع الوسائل التي تسمح للسوائل أو الغازات بالمرور في طريق وعدم الرجوع . فللأنبوب المعدني داخل الصمام فَتْحتان داخل أنبوب من المطاط . فعندما يجري نفخُ الهواء يمر في الفتحتين ويدفع المطاطَ جانباً . لكن حالما يدخل الهواء ، يقوم أنبوب المطاط بإقفال الفتحتين ومنع الهواء من الخروج . ولجميع المضخات مكابس وصمامات تعمل بنفس الطريقة . بعضها يضخ الماء ، وبعضها يضخ البنزين في السيارة .

والمكنسة الكهربائية تمتص الهواء والغبار في كيسها . ويمكنك أن تشتريَ مضخات صغيرة لرش الدهان أو المبيدات لقتل الذباب أو حشرات البساتين . وعندما تضغط المقبض ، يفتح الصمام ويخرج السائل بتأثير الضغط المرتفع داخل المضخة الصغيرة .

وفي كل جسم من أجسامنا مضختان : إحداهما هي الرئتان اللتان تمتصان وتنفثان الهواء الذي نتنفسه ، والأخرى القلب الذي يضخ الدم في الشرايين (التي تشبه مواسير شبكة المياه) ، ومنها الى جميع أنحاء الجسم . والشرايين ذاتها مجهزة بصمامات لتمنع تدفق الدم في غير مجراه الصحيح . وكان اول من أكتشف كيف يضخ القلبُ الدم انجليزي اسمه وليم هارفي وذلك في عام ١٦٢٨ . ويمكنك ان تقرأ عنه في كتاب آخر من كتب هذه الموسوعة .



صمامات في قلب الانسان

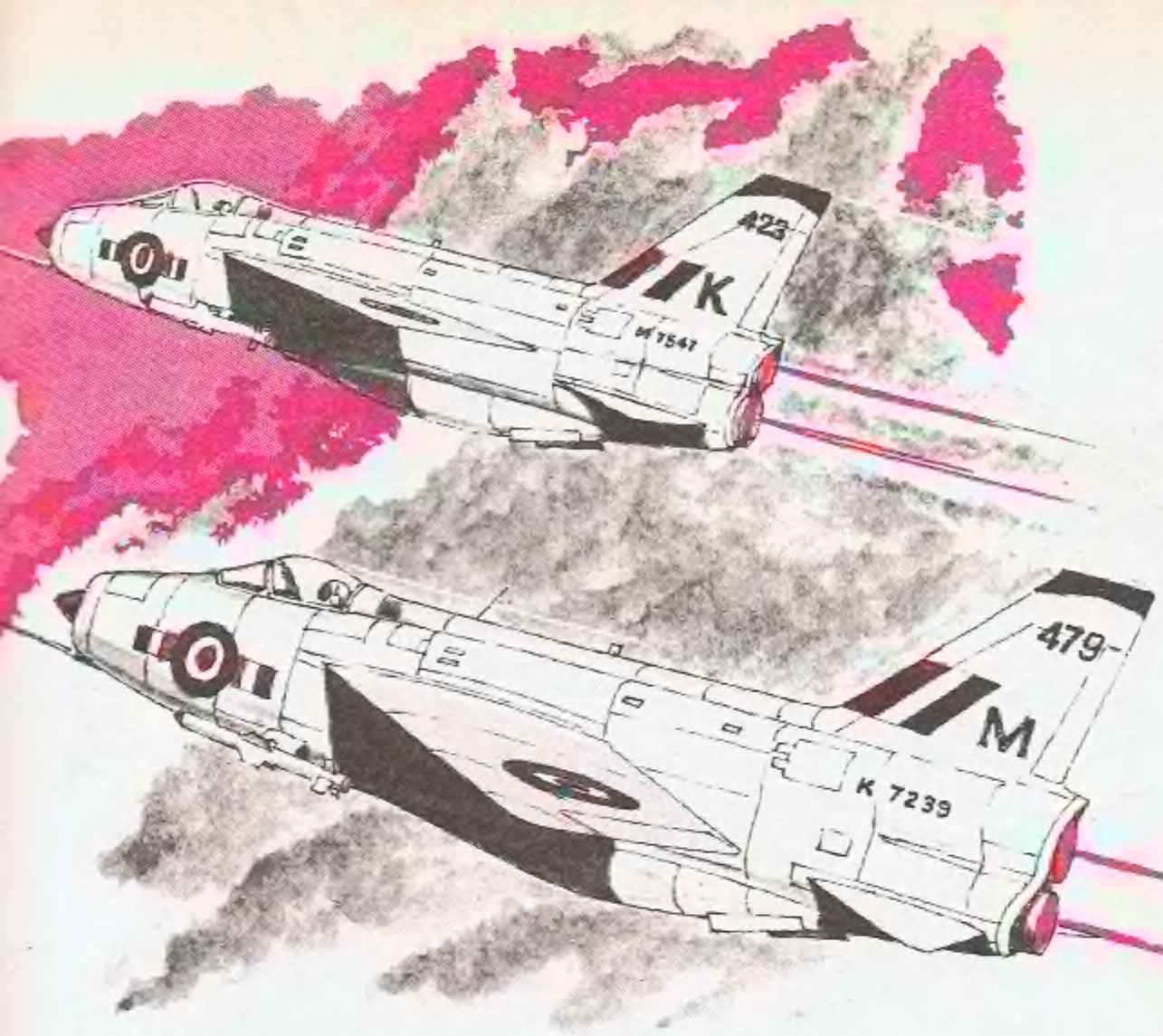
# ٢٠ - الجَاذِبيّة - القِسم الأول

منذ أكثر من ثلاثمئة عام كان شاب اسمه اسحق نيوتن يجلس في حديقة منزله في لِنْكولنشير. وبينما كان يفكر، حدث فجأة أن سقطت تفاحة من شجرة على الأرض. فبدأ يتساءل: لماذا سقطت التفاحة على الأرض عندما انفصلت عن الشجرة؟ لماذا مثلاً لم تتجه نحو السماء؟ لماذا الأرض؟ هل في الأرض شيء سحب التفاحة؟

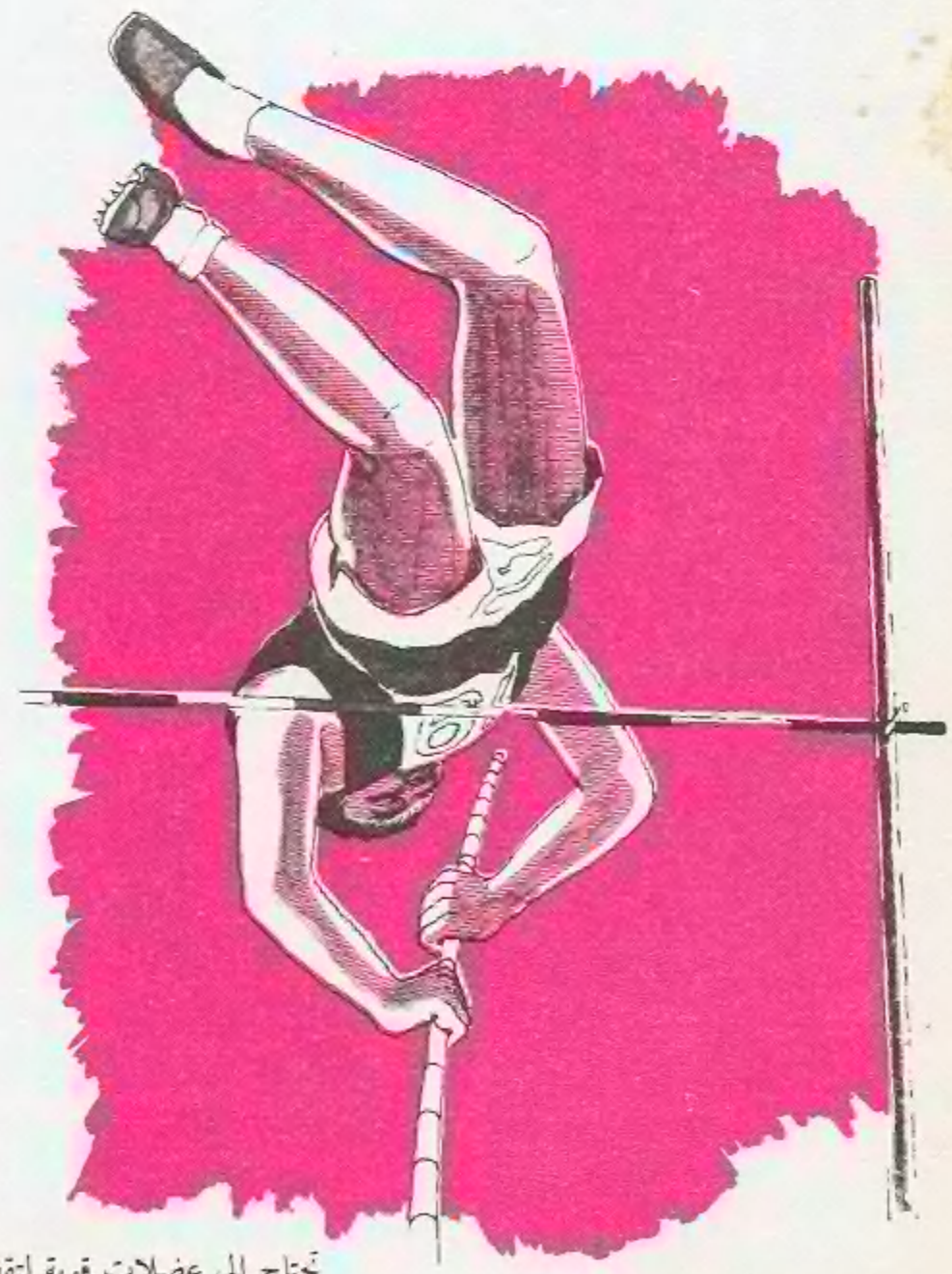
هذه هي الفكرة التي أدت الى اكتشاف نيوتن لقانون الجاذبية. وقد توصل أيضاً إلى أنه علاوة على سحب الأرض للتفاحة، فإن التفاحة كانت تحاول من جهتها سحب الأرض اليها. والحقيقة أن الجاذبية هي القوة التي تعمل على تماسك الأجسام. وكلما كبرتْ كتلة الجسم، زادت قوة جاذبيته. فعندما انفصلت التفاحة عن الشجرة سحبتها الأرض. وفي الوقت ذاته حاولت التفاحة سحب الأرض لملاقاتها. لكن نظراً لصغر التفاحة المتناهي بالنسبة للأرض، فإن التفاحة وحدها هي التي شوهدت حركتها.

والجاذبية تؤثر في كل وقت على كل شيء وعلى كل شخص. فهي التي تسبب سقوط الكتاب على الأرض إذا قذفت به عن الطاولة، كما أنها هي التي تسبب خروج الماء من حوض الحمام إذا رفعت السدادة. والأرض تعمل على سحبِ كل شيء إلى أسفل نحو مركزها. ولهذا فإنك إذا وقفتَ على كرسي عال وقفزت إلى الخارج، أو حتى إلى أعلى، فإنك لا تستمرُّ في أي من الاتجاهين، لأن الأرضَ تشدُّك إلى أسفل إلى أن تصطدم بها! وكلما اقتربت من الأرض زادت سرعة سقوطك، لأن الجاذبية تسحبك طوال الوقت، وبهذا تزداد سرعتك أكثر فأكثر (أنظر فصل ٢١). وإذا قفزتَ من فوق سور عال، فإنك ترتطم بالأرض، وقد يلتوي كاحلك، وذلك لأن سرعةَ حركتك عندما تصل إلى الأرض تكون أكبرَ من سرعتك لو قفزتَ من على كرسي. لكن لو قفزت من فوق صخرة عالية، أو من نافذة مرتفعة، فإن سرعة حركتك عندما ترتطم بالأرض تكون كبيرة إلى حد يحتمل معه أن تقتل.

والجاذبية تبقينا على سطح الأرض. ولو حاول شخص أن يقفز في الهواء أكثر من بضعة أقدام، فإن الجاذبية تسحبه إلى الأرض. والآلة القوية هي التي تمكن الطائرة من البقاء في الجو. وإذا قذفتَ كرةً إلى أعلى بكل




تحتاج الطائرات الحربية الأسرع من الصوت إلى آلات ومحركات نفاثة قوية تستطيع التحليق على ارتفاع شاهق

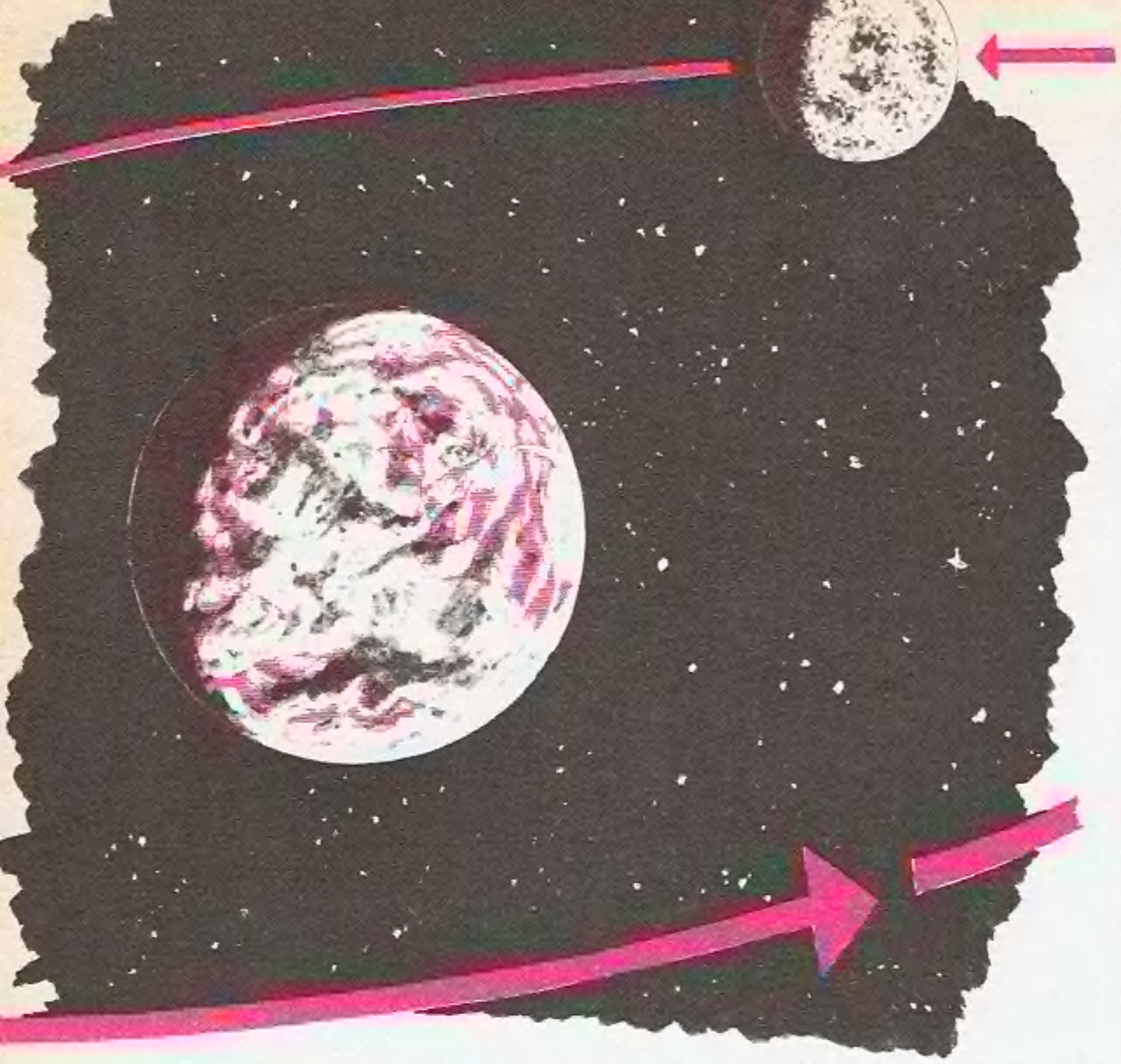


تحتاج الى عضلات قوية لتقفز عاليا فوق القضيب

قوتك ، فإنك تلاحظ أنها تتحرك في خط منحن قبل رجوعها إلى الأرض . ولو لم تكن للأرض جاذبيةٌ لرأينا الكرة تسير في خط مستقيم بدلا من الخط المنحني ، ولا تعود إلى الأرض .

ولو فقدتِ الأرضُ جاذبيتَها ، فمن المسلم به أننا نطير أثناء دورانها في الفضاء . ولكن لحسن الحظ لا يحدث هذا . لكن بالرغم من أننا نعرف كيف تعمل الجاذبية ، فإننا لا نعرف سبب حدوثها . وحتى نيوتن نفسه لم يتمكن من اكتشاف السبب . ولم يتمكن أحد إلى الآن من تفسيره تفسيراً كاملاً .

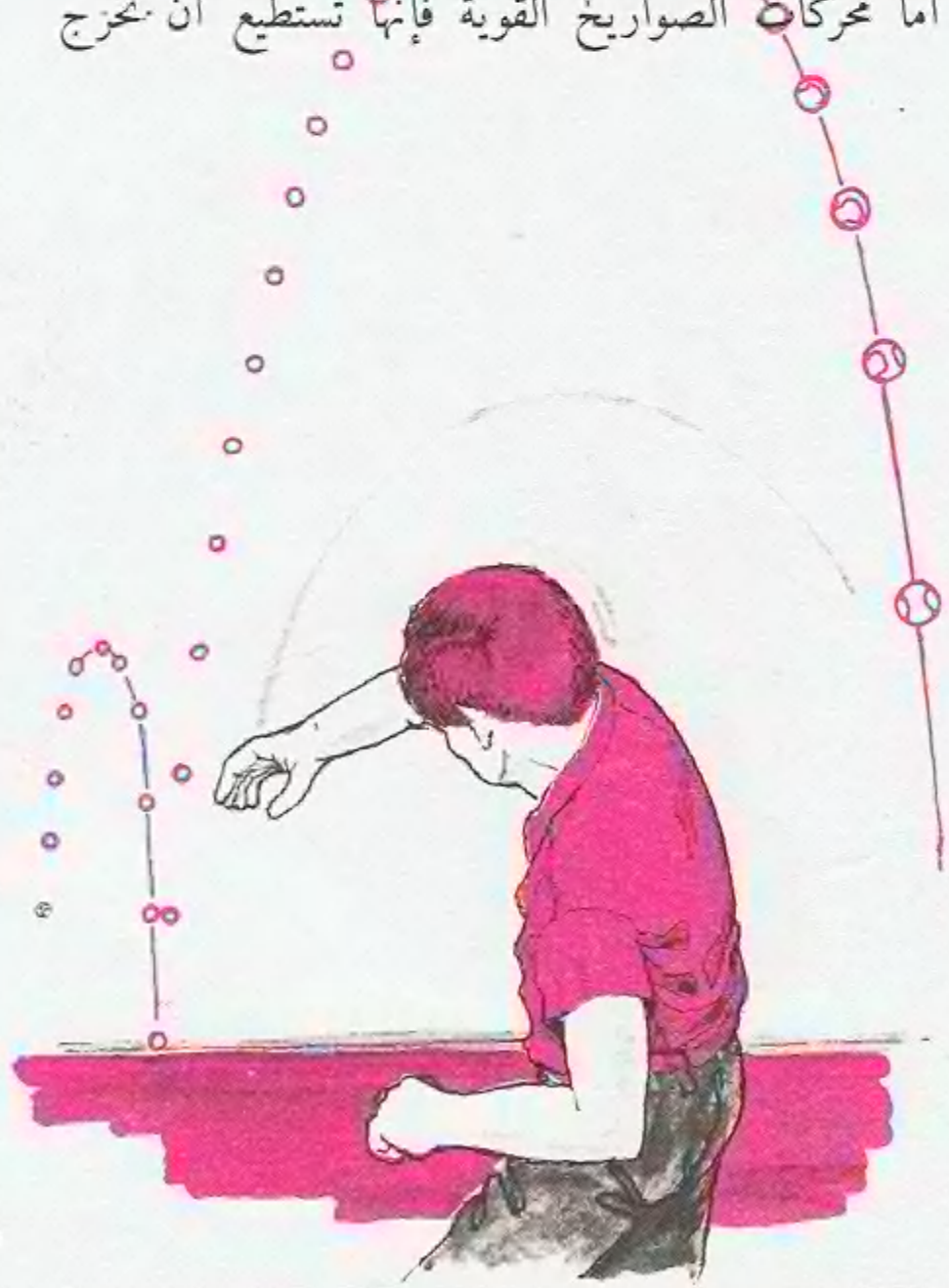
للأرض قوة جذب شديدة . ولكن الصواريخ الحديثة التي تنطلق الى الفضاء تستطيع الإفلات من الجاذبية لأنها تنطلق بسرعة كبيرة . وكما ترى في الشكل ، فإن أقصى ارتفاع تصل إليه الكرة التي نقذفها في الهواء يعتمد على القوة التي نقذفها بها . وكلما زادت سرعة انطلاقها ، زاد ارتفاعها في الهواء . ولو أمكن قذفها بحيث تنطلق بسرعة كافية فإنها قد تُفْلِت إلى الفضاء ولا تعود . ولكن لا يمكن لأحد أن يقذف الكرة على ذلك النحو . أما محركات الصواريخ القوية فإنها تستطيع أن تخرج



إن قوة شد الجاذبية الأرضية تمنع القمر من أن يسبح في الفضاء

مركبات الفضاء من الأرض بسرعة هائلة بحيث تعجز جاذبية الأرض عن شدها واعادتها إليها . وهذه هي الطريقة التي تمكننا الآن من إطلاق الصواريخ إلى القمر .

وبسبب الجاذبية نشعر بثقلنا . فنشعر بوزننا فوق اقدامنا لأن الأرض تشدنا إليها . لكن الذي يسير على القمر لا يشعر بالثقل الذي يشعر به وهو على الأرض ، وذلك لأن القمر أقل ضخامة من الأرض ، وبالتالي فإن قوة جاذبيته أضعف بكثير من الجاذبية الأرضية . فإذا كنت تزن ستة «أحجار» على الأرض ، فإنك تزن «حجراً» واحداً فقط على القمر . وإذا كانت عضلاتك في حالتها الطبيعية ، فإنك تستطيع ان تقفز من عشرة الى عشرين قدماً وانت على القمر ، ولن تسقط بسرعة ، بل ترتد ببطء إلى الخلف . وتطأ الأرض بلطف بدون ان تلحق بنفسك اي أذى . أما الكواكب الأكبر حجماً ، ككوكب المشتري مثلاً ، فلها قوة جذب أكبر ، وللشمس قوة جذب اكبر من هذه .



تعود الكرة الى الأرض في مسار منحن

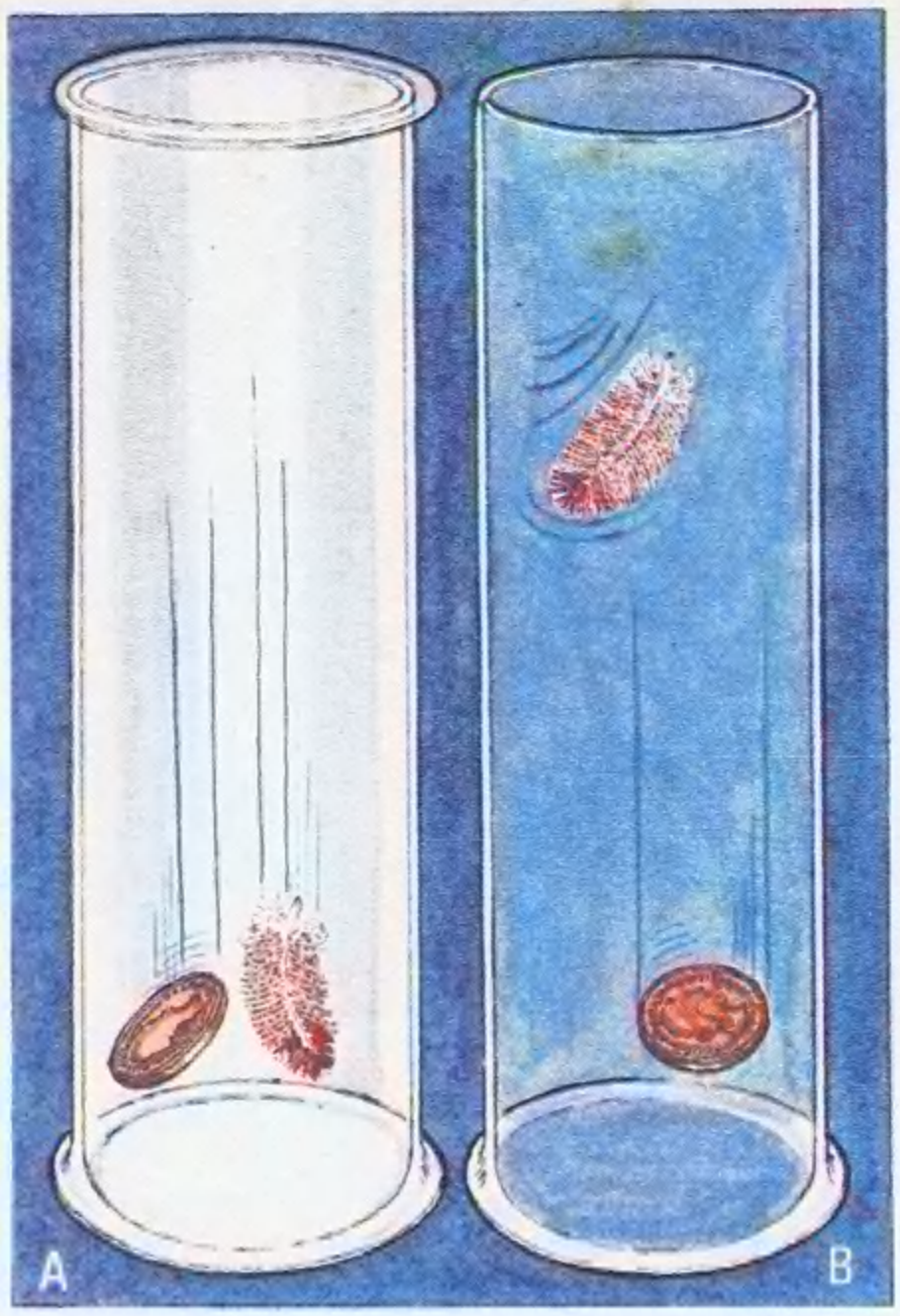
## ٢١ - الجاذبيّة - القسم الثاني

تبدو بعضُ الأشياء وكأنها لا تخضع لقانون الجاذبية . لكنها في الواقع ليست كذلك . وقد ذكرنا في الفصل الثالث ان البالونات المملوءة بغاز الهيدروجين تطير إلى الاعلى بدلاً من أن تهبط إلى الأرض . ونحن نعلم أن البالونات التي تستخدم في المطارات ومدن الملاهي تُشدُّ إلى الأرض لئلا تطير في الهواء . والحقيقة هي أن الجاذبية تَشُدُّ البالونات من خلال الهواء إلى الأسفل كما تشدّ كل شيء آخر . ولكن نظراً لأن بالون الهيدروجين أخف بكثير من الهواء المحيط به ، فإن الهواء يقاومه ويدفعه إلى أعلى . وإذا أطلق البالون في الهواء ، فإن الهواء يدفعه فيرتفع أكثر فأكثر فوق الأرض . وكلما زاد ارتفاعه يقل الهواء من حوله ويخف وزنه حتى يصبح الهواء خفيفاً كالبالون ، وعندئذ يتوقف البالون عن الارتفاع (أنظر فصل ١٤) . (والواقع أن البالون ينفجر في الغالب قبل أن يبلغ هذا الارتفاع) .

وهذا يفسر أيضاً سبب ارتفاع لهب النار إلى أعلى بدلاً من الاتجاه إلى أسفل . فالغازات التي يتكون منها اللهب أخف من الهواء (أنظر فصل ١٢) . والريشة ايضاً تطير في الهواء ، وبخاصة في أيام العواصف ، وذلك لأنها خفيفة جداً . لكن لأنها ليست خفيفة كغاز الهيدروجين ، فإنها لا تلبث ان تشق طريقها في الهواء إلى الأرض . وإذا أصابها المطر فإنها تبتل وتثقل وتسقط مباشرة على الأرض . اما قطعة النقد المعدنية فإنها بسبب وزنها لا تطير في الهواء حتى في يوم عاصف ، بل تندفع بسهولة في الهواء إلى الأرض .

لقد ظل العلماء مدة طويلة يعتقدون أن قوة الجاذبية تجذب الأشياء الخفيفة إلى الأرض بسرعة أقل من تلك التي تجذب بها الأشياء الثقيلة . وبقي اعتقادهم هذا مجرد نظرية لم يقم احد بإثباتها . وحول عام ١٦٠٠ كان يعيش في ايطاليا عالم اسمه جاليليو لا يؤمن بشيء حتى يجري إثباته . وذات يوم أخذ جاليليو يرقب مصباحا ثقيلا معلقا في كاتدرائية بيزا وهو يتأرجح . ولاحظ أنه يستغرق الوقتَ ذاته في كل مدة يتأرجح فيها سواء أكان الخط المنحني

الباراشوت الكبير الخفيف يشق طريقه الى الأسفل ببطء ويعيق سقوط من قفز به




أ — القطعة المعدنية والريشة تسقطان معاً في أنبوبة مفرغة من الهواء
ب — في أنبوب فيه هواء .

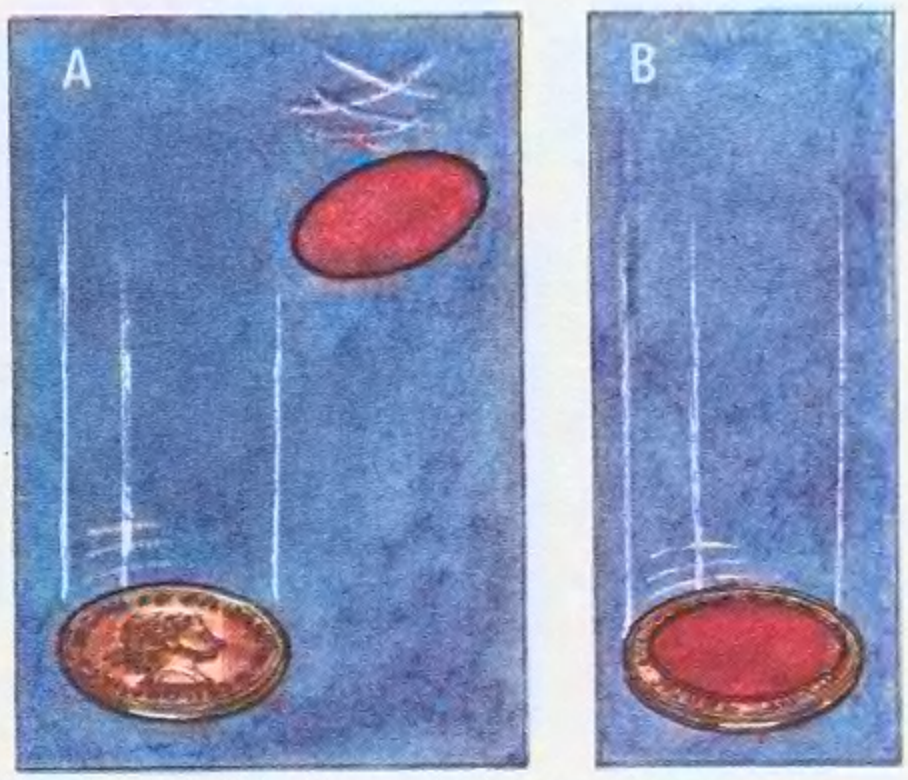
الذي يقطعه في التأرجح طويلاً أم قصيراً . ولهذا فكرانه ربما كانت الاجسام الثقيلة والخفيفة تستغرق الوقت ذاته في السقوط من علو معين . لكن بقي عليه أن يثبت ذلك .

وتقول قصة يرجح أنها غير صحيحة بأن جاليليو ذهب مع عدد من اصدقائه الى برج بيزا العالي ومعه قطعتان من الحديد إحداهما تزن عشرة أرطال ، والأخرى رطلا واحداً . وصعد جاليليو ومعه القطعتان إلى قمة البرج بينما بقي اصدقاؤه على الأرض . ثم ألقى جاليليو القطعتين في وقت واحد . فلاحظ اصدقاؤه ان القطعتين وصلتا الأرض في وقت واحد ، بالرغم من ان إحداهما كانت أثقل من الأخرى . على أن جاليليو كان يعلم ان تجربته لم تكن شديدة الدقة لأن مقاومة الهواء تجعل سرعة سقوط الاجسام الثقيلة أكبر من سرعة سقوط الأجسام الخفيفة .

ويمكن اثبات نظرية جاليليو بدقة بالغة لو أخذنا انبوباً زجاجياً طويلاً وافرغناه من الهواء واسقطنا فيه ريشة وقطعة معدنية في لحظة واحدة . اذ نلاحظ أن الريشة والقطعة تصلان قاع الانبوب في الوقت ذاته . وإذا أعدنا التجربة ذاتها والهواء في الأنبوب ، فإن الهواء يقاوم الريشة أثناء سقوطها ، فتصل القطعة المعدنية إلى قاع الأنبوب قبلها . وبهذا نعلم ان كل الأشياء تسقط إلى الأرض بسرعة واحدة ، إلا أن الأشياء الخفيفة تسقط بسرعة أقل من الثقيلة التي تساويها في الحجم لأن مقاومة الهواء تعيق سقوطها !

هناك تجربة سهلة يمكننا أن نجريها بأنفسنا . خذ قطعة نقد معدنية ، ثم قُصّ قُرصاً من الورق أصغر منها قليلاً . فإذا أخذت القطعة بيد ، والقرصَ باليد الأخرى ، وأسقطتهما معا على الأرض في لحظة واحدة فإنك تلاحظ (شكل أ) أن القطعة تصل إلى الأرض اولاً . لكن لو وضعتَ القرص فوق القطعة وأسقطتهما معا (شكل ب) تجد أنهما يصلان إلى الأرض في لحظة واحدة لأن قطعة النقد تمنع الهواء من أن يعيق سقوط القرص .

فيما بعد قام العلماء ، وبخاصة ايزاك نيوتن بمتابعة ما قام به جاليليو ، وتوصلوا بدقة إلى معرفة السرعة التي تسقط بها الأشياء الى الأرض — وبعبارة أخرى توصلوا إلى السرعة التي تسحب بها الجاذبية الأشياء إلى الأرض . وقد عرفنا أنه كلما سقطت الأشياء مسافة أكبر ازدادت سرعتها . ويقول العلماء ان سرعتها تزداد بمقدار ٣٢ قدماً في الثانية ، وهذا يعني أنه عند نهاية كل ثانية تسقط بسرعة تزيد ٣٢ قدماً على سرعتها في الثانية السابقة .

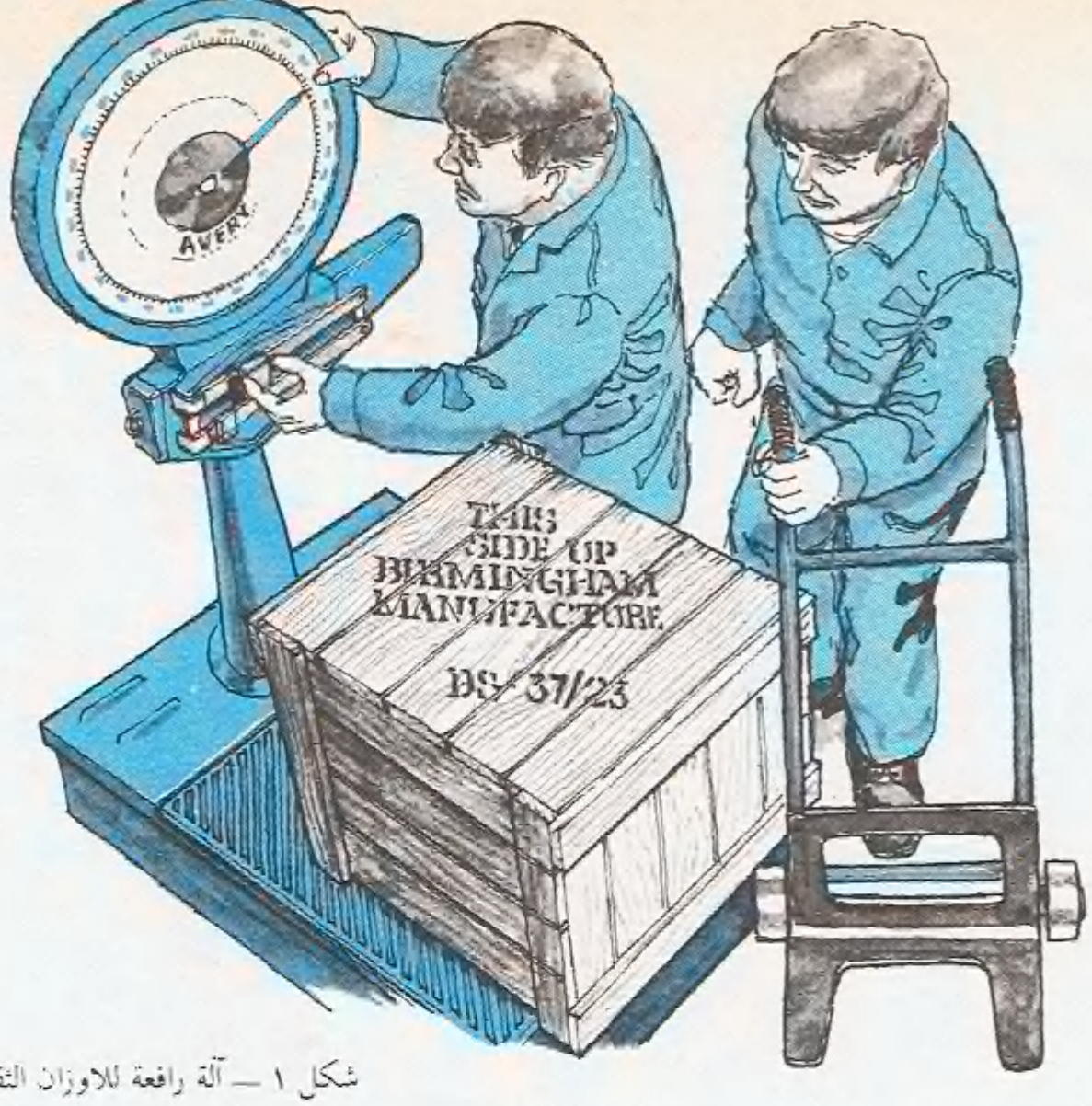


# ٢٢ - مَاذا يَعْني « الوَزن »

عندما نريد ان نقارن بين شيء ثقيل وآخر خفيف فإننا نتكلم عن وزنه . وهذا الكتاب لا يزن كثيراً ، ونستطيع أن نرفعه بيد واحدة بسهولة . ولكن من المؤكد انك لا تستطيع أن ترفع بلاطة كبيرة من الاسمنت حتى لو استخدمت كلتا يديك وذلك لأن الاسمنت أثقل بكثير من الكتاب .

ولكي نقيس الوزن نستخدم « وحدات » قياس مختلفة . ففي بريطانيا وأميركا يُستخدم نظام للقياس يقوم على الرطل والأوقية ، كما بدء بالاستعمال النظام المتري . وقد يزن الطفل الصغير تسعة الى عشرة أرطال ، بينما يزن ولد في التاسعة من عمره خمسين أو ستين رطلا . ولوزن الأشياء الثقيلة كالفحم تُستخدم وحداتٌ أكبر . ففي انجلترا وحدة تعرف بـأوزان المئة ، وفيها ١١٢ رطلا . وفي كل عشرين وحدة منها ٢٢٤٠ رطلاً أو ما يساوي طناً . (وفي أميركا تشتمل الوحدة ذاتها على مئة رطل ، والطن يساوي ٢٠٠٠ رطل) . ولكن أقطارا كثيرة تستخدم النظام المتري أو العشري . فالمئة غرام تساوي ٣,٥ من الأوقيات والكيلوغرام (١٠٠٠ غرام) يساوي ٢,٥ من الأرطال .

ويتوقف وزن الجسم على حجمه وعلى المواد التي يتكون منها . فإذا كانت لديك قطعة صغيرة من الخشب ، وأخرى أكبر منها من الخشب ذاته ، فكلنا نعلم أن القطعة الكبيرة أثقل من الصغيرة . ولكن لو وزنا قطعة من الخشب وقطعة في حجمها من الرصاص، نجد ان قطعة الرصاص أكبر وزناً مع أنها ليست أكبر حجماً ، وذلك

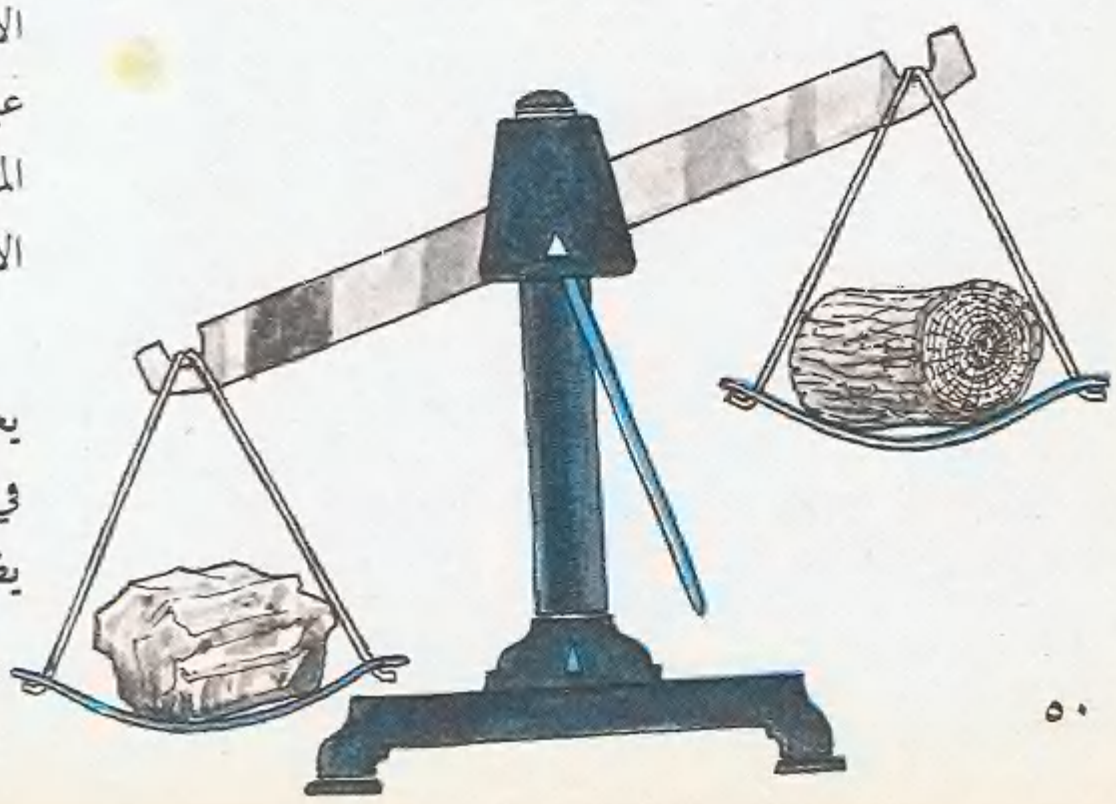


شكل ١ — آلة رافعة للاوزان الثقيلة

لأن مادة الرصاص أثقل من الخشب . وهناك خدعة معروفة وهي ان تسأل شخصاً : « أيهما أثقل ، رطل الريش أم رطل الرصاص ؟ » ويجيب الكثيرون على هذا السؤال بقولهم : « الرصاص بالطبع » فالرصاص أثقل بكثير من الريش » . ولكنهم يخطئون فكلاهما يزن رطلاً . واختلافهما في الحجم فقط ، كما رأينا بالنسبة للفلين والحديد في فصل ١٨ .

ويمكننا ان نبين هذا بدقة أكبر إذا استخدمنا ميزانا له كفتان : إذا وضعتَ في إحدى كفتيه قطعةً من الخشب ، وفي الأخرى حجرا مساوياً لها في الحجم (شكل ٢) ، تجد أن كفة الحجر ترجح . فإذا أردنا ان تتعادل الكفتان ، نستخدم قطعة من الخشب أكبر بكثير من الأولى . وفي معظم أمثال هذه الموازين نستخدم عيارات ، ونضع واحدة منها أو أكثر في إحدى كفتي الميزان ، ونضع الشيء الذي يراد وزنه في الكفة الأخرى .

وهناك طريقة أخرى لقياس الوزن وذلك باستخدام ما يعرف بالميزان الزنبركي، يوضع الشيءُ الذي يراد وزنه في تجويف مثبت فوق زنبرك من السلك الملفوف ، وعندما يضغط الشيء على الزنبرك ينضغط الزنبرك بمقدار وزن


شكل ٢ — ميزان ذو كفتين . في احداها الشيء الذي يراد وزنه ، وفي الأخرى العيار الذي يوزن به .

كرة تنس خفيفة تحتاج عند ضربها إلى قوة أقل من تلك التي تضرب بها كرة «كركيت»

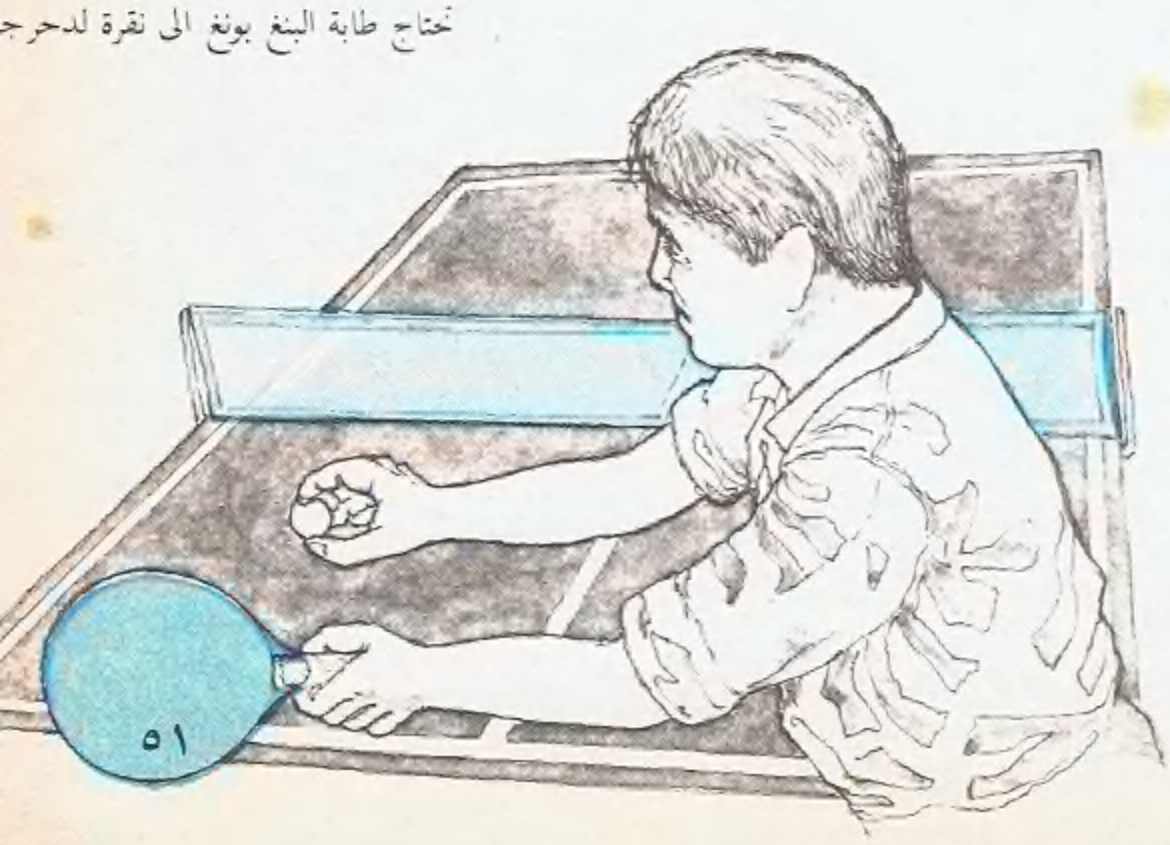
ذلك الشيء . وتؤثر حركةُ الزنبرك في مؤشر وتسجل عليه الوزن (أنظر فصل ٢٦). أما الأشياء الثقيلة فيجري وزنها في الغالب بواسطة آلة للوزن كما هو مبين في الشكل الاول .

وبالطبع فإن الميزان ذا الكفتين والميزان الزنبركي يعملان بواسطة الجاذبية (أنظر فصل ٢٠) . فالرصاص ينجذب إلى أسفل وهو في كفة الميزان ، وكذلك قطعة الخشب . ولكن نظراً لأن الرصاص أثقل ، فإنه ينجذب بقوة أكبر . ولو تمكنا من نقل الميزان ذي الكفتين إلى القمر لوجدنا أن الرصاص لا يزال أثقل من قطعة الخشب التي تساويه في الحجم . ولكن بما أن قوة جاذبية القمر أقل من قوة جاذبية الأرض ، فلا الرصاص ولا الخشب يزن كثيراً لأن كليهما ينجذب بقوة أقل . على أن الرصاص يبقى أثقلَ من الخشب . ولو وضعنا رطلاً من السكر على ميزان على الأرض ، فإنه يضغط على الميزان بوزن مقداره ١٦ أوقية . ولكن على سطح القمر يضغط بوزن مقداره ٢,٥ أوقية . وكمية السكر في الحالين واحدة . ولكن على سطح القمر لا حاجة لبذل سوى قوة قدرها ٢,٥ أوقية لمقاومة قوة الجاذبية بدلاً من ١٦ أوقية على سطح الأرض .

وقد اكتشف العالم اليوناني أرخميدس الذي قرأنا عنه في الفصل ١٨ طريقة مفيدة جداً لمعرفة الفرق بين وزني (أو كتلتي) جسمين من مادتين مختلفتين ، وذلك بمعرفة مقدار الماء الذي يحل محله كل منهما . وتفيدنا هذه الطريقة في وزن الأشياء الضخمة كالسفن التي لا يمكن وضعها على الميزان . ويمكن وضع السفينة في حوض مملوء بالماء ، وقياس الماء الذي تحل محله ويخرج من الحوض .

وهناك طريقة أخرى تبين لنا بالتقريب الفرق في الوزن (أو الكتلة) ، وذلك بقياس القوة التي نحتاج إليها لتحريك أجسام مكونة من مواد مختلفة . فإذا أخذتَ كرةً خفيفة من كرات «البنغ بونغ» فإنك لا تحتاج لدحرجتها على ظهر طاولة ملساء الا لنقرة خفيفة . لكنك اذا أردت دحرجة كرة من النحاس على الطاولة ذاتها ، احتجت إلى قوة أكبر لدفعها . ويمكنك اجراء التجربة ذاتها بأن تضربَ كرةَ قدم على ملعب وأن تحاول بعد ذلك ضرب قذيفة مدفع لها نفس الحجم . كذلك فإنك توقف كرة خفيفة بقوة أقل من القوة التي توقف بها كرة ثقيلة . ويعرفُ هذا كل من حاول أن يمسك كرة تنس خفيفة أو كرة كركيت ثقيلة . ولدى العلماء طرق لمقياس هذا النوع من القوة بدقة . لكن الأشياء خلال حركتها تتأثر بأشياء أخرى علاوة على الوزن والقوة التي تستخدم لضربها أو قذفها . فالكرة التي نضربها على أرض ملساء تقطع مسافة أكبر من المسافة التي تقطعها إذا ضربت بنفس القوة فوق أرض خشنة ، وذلك لأن احتكاك الكرة بالأرض الخشنة يقاومها مقاومة أشد من احتكاكها بالأرض الملساء . وكما ان مقاومة الهواء تعيق الريشة أكثر مما تعيق قطعة النقد المعدنية (انظر فصل ٢١) فإن الاحتكاك بالسطح الخشن يعيق الكرة الخفيفة أكثر مما يعيق الكرة الثقيلة .

تحتاج طابة البنغ بونغ الى نقرة لدحرجة



# ٢٣- التوازن

لاعب يسير على حبل مشدود

إذا كنتَ تحملُ شيئاً ثقيلاً كدلو مملوء بالماء أو سلة مملوءة بالأغراض ، فإنك عادةً تستخدم يدا واحدة ، وتجد أنه من الأسهل عليك ان تحفظ توازنك وتبقى منتصبَ ألقامة إذا مددتَ ذراعك الآخر . ولاعب السيرك الذي يسير على حبل مشدود يمد عادة ذراعيه ، أو ربما حمل قضيباً طويلاً بشكل أفقي لأنه يساعده على حفظ توازنه وهو يسير على الحبل الرفيع .

وإذا أردتَ أن تحفظ توازنك وأنتَ تحملُ شيئاً ثقيلاً ، أو تسير على طريق ضيق مثل قمة جدار ، عليك أن تجعل « مركز الثقل » (أي ثقلك) في وضع تكون فيه أقل عرضةً للسقوط . وإذا كنتَ تحمل شيئاً ثقيلاً بيدك اليمنى ، فإن مركز ثقلك يتحول الى الجانب الأيمن ، وبهذا يصعب عليك أن تتجنب السقوط . ولكن إذا مددتَ ذراعك الأيسر ، فإنك تنقلُ بعض ثقلك إلى الجانب الأيسر ، ويعود مركز الثقل إلى وضع متوسط ملائم . ومن يسيرُ على حبل مشدود ، يحاول أن يوزّع وزنه باستخدام ذراعيه أو قضيب طويل ليبقى مركز ثقله وسط جسمه حتى ولو لم يبق منتصباً تماماً أثناء سيره .

ويصدق ما قلناه على الأشياء ، كما يصدُقُ على الناس . فإذا افترضنا أننا نريد أن نقيم كوما من الكتب على طاولة ، بحيث تكون جميعاً من ذات الحجم والسُّمك ، فإننا نجعل الكتاب الأول في وضع ملائم . وبهذا يتجمع وزنه في مركز ثقله الذي يقع في وسط الكتاب ، أي وسط الصفحة الوسطى . وإذا وضعنا كتابين آخرين فوقه ، انتقل مركز الثقل قليلاً الى الأعلى ، وصار في الصفحة الوسطى من الكتاب الأوسط . وكلما كومنا كتباً أكثر ، انتقل مركز الثقل تدريجاً إلى أعلى ، وصار الكوم كله أقلّ ثباتاً . فإذا بلغ عددُ الكتب مثلاً واحداً وعشرين ، وانتقل مركز الثقل إلى أعلى في وسط الكتاب الحادي عشر ، صار الكوم مقلقلاً بحيث يسقط إذا تعرضت الطاولة لهزة بسيطة .

حاولْ أن تحافظ على توازن قلم على أصبعك . فإذا صار الجزء الأكبرُ منه على جانب واحد من إصبعك ، فإن الجاذبية تشدّه إلى الأسفل في ذلك الجانب . لكن إذا حمل إصبَعُكَ القلمَ من وسطه تماماً ، فإن شد الجاذبية يتعادل في الجانبين ، وبذلك يبقى القلم متوازناً ؛ ولا يسقط حتى ولو حركت إصبعك قليلاً . واذا حاولت أن توقفَ القلمَ على أحد طرفيه على طاولة ، وهي أشد ثباتاً من إصبعك ، تجد انه ليس من السهل عليك أن توقفه . والسبب هو أن مركز الجاذبية الذي لا يزال في وسط القلم قد صار أعلى من الطاولة بكثير ، ولهذا فإن قوة الجاذبية تسقطه إذا مال قليلاً إلى هذه الناحية أو تلك .

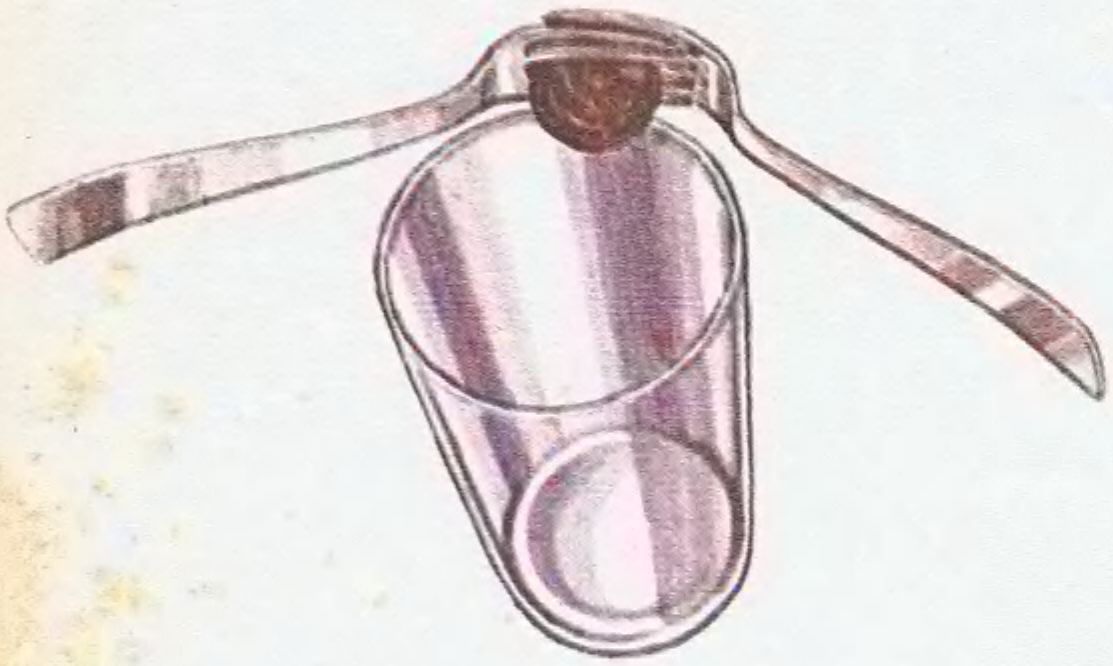
تستطيع هاتان الدميتان دائماً أن تعودا إلى وضعها الصحيح

وعندئذ تبقى القطعة متوازنة لأن وزن الشوكة ينقل مركز الثقل إلى أسفل نقطة توازن القطعة ، فيضغط على حافة الكأس ، ويحفظ التوازن .

لقد رأينا من كوم الكتب أنه كلما انخفض مركز الثقل ، ازداد ثبات الشيء . ومخازن الألعاب كثيراً ما تبيع بهلوانات بلا أرجل ، ومنتفخة من الوسط . ولو رميت الواحدَ منها كيفما اتفق ، فإنه لا يلبث أن يعود إلى وضعه الصحيح ! وما ذلك إلا لأنه يُصنع بحيث تكونُ غالبية ثقله تحت معدته ، وبهذا يكون مركز الثقل منخفضاً جدا ! فإذا قلبتَ الواحدَ منها ، صار مركزُ ثقله في اعلاه . لكنك إذا تركته ، عاد مركز الثقل إلى الأسفل ، وعاد « البهلوان » الى وضعه الأول .

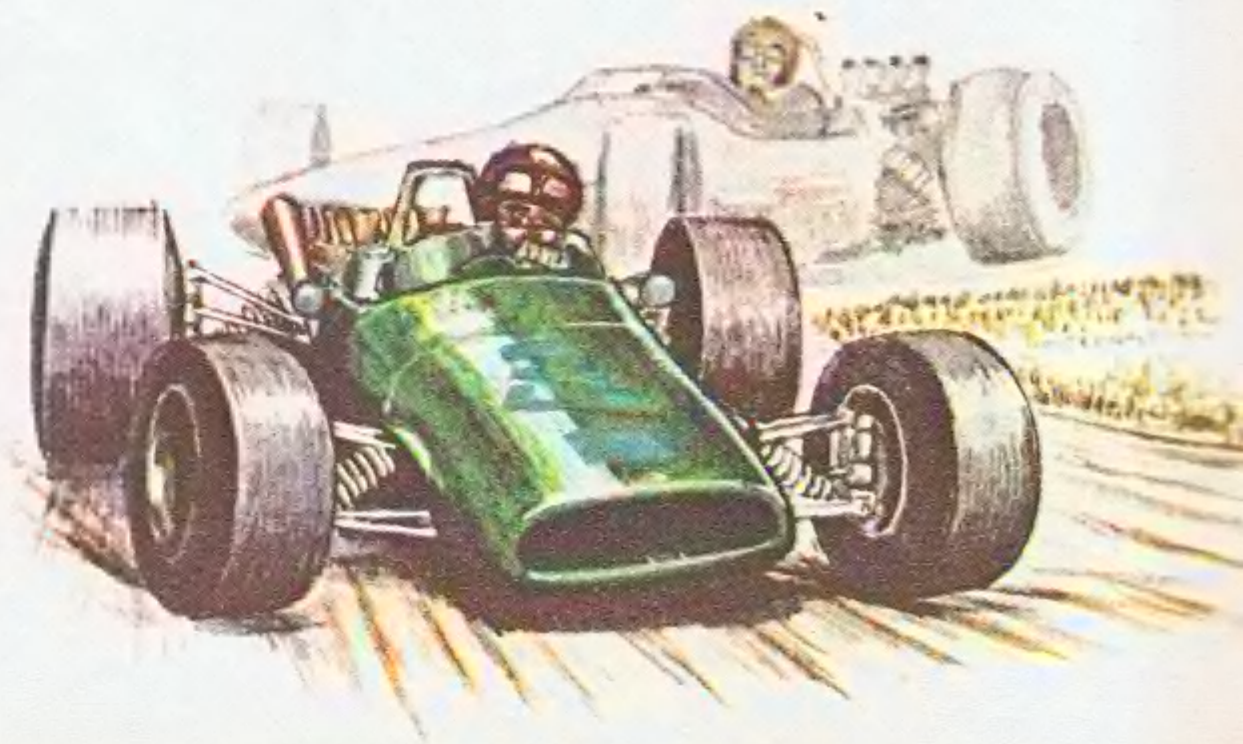
يجري اختبار سيارة ركاب في لندن لمعرفة ما اذا كانت تستطيع أن تميل بدون أن تنقلب . وتوضع في الطبقة العليا أكياس رمل بدلاً من الركاب

ومن المسلّي أن تضع قطعة نقدٍ معدنية على حافّة فوهة كأس من الزجاج . ويمكنك أن تفعل ذلك بسهولة فائقة إذا حرصت على أن يكون الوسط ذاته على الحافة . فإذا لم تفعل ذلك ، سقطت القطعةُ إلى هذا الجانب أو ذاك . ولكن لو أنك أحضرتَ شوكتين من حجم واحد ، وثبتَّ قطعة نقدٍ معدنية بين أسنانها (كما هو مبين في الرسم) ثم أملتَ يدي الشوكتين قليلاً نحو الكأس ، تجد أنك تستطيع أن تحفظ توازنَ القطعة على الحافة فيما يكون ثلاثةُ أرباعها أو أكثر على جانب ، والربع الباقي أو أقل منه على الجانب الآخر . ولكن يجب عليك ان تواصل تعديل وضع الشوكتين والقطعة بدقة حتى تحصل على التوازن التام .



ويمكنك أن تفعلَ هذا بزجاجة من عصير الليمون . فعندما تكون الزجاجة فارغة ، يسهل قلبها . لكن اذا صببتَ فيها مقدارَ بوصتين من الماء ، فسوفَ يُصبح قلبها أصعب ، وذلك لأن وزن الماء يكون قد جعل مركز الثقل أقرب إلى قعر الزجاجة . ولكنك لو ملأتَ الزجاجةَ بالماء ، فإن مركز الثقل ينتقل إلى الاعلى ، وبذلك يسهل قلبها مرة أخرى !

والسيارات والقطارات الحديثة تُصنع بحيث يكون مركز الثقل فيها منخفضاً ، وذلك لئلا تنقلب وهي تدور حول المنحنيات . ويجري صنع سيارة الركاب الضخمة ذات الطبقتين بحيث تكون أجزاؤها الثقيلة قريبةً من الأرض ، وذلك لكي تحمل في طبقتها العليا عدداً كاملاً من الركاب بدون ان تتعرض لخطر الانقلاب على جنبها .



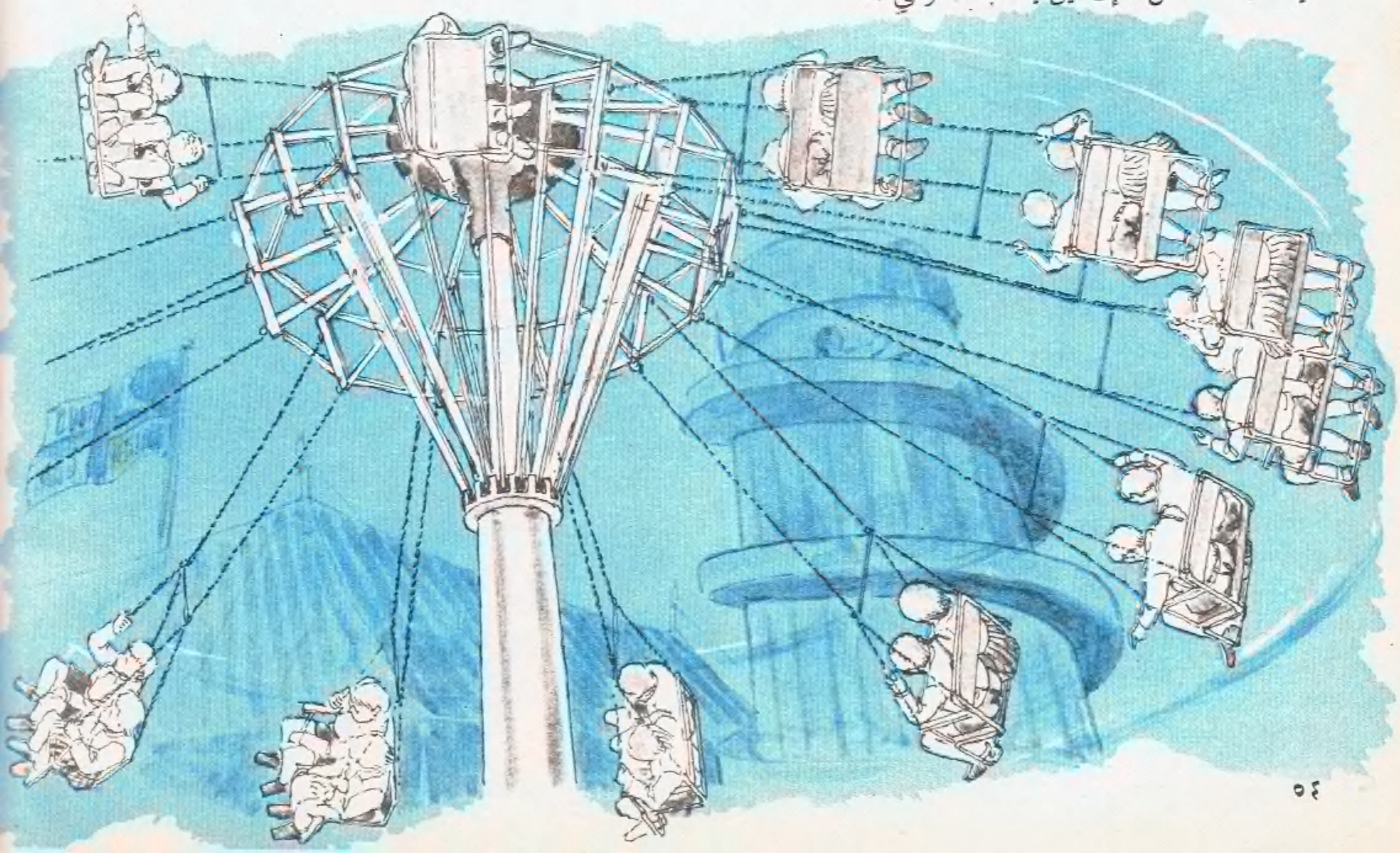
# ٢٤- قوّة الطَّرْدُ المَرْكَزِيّة

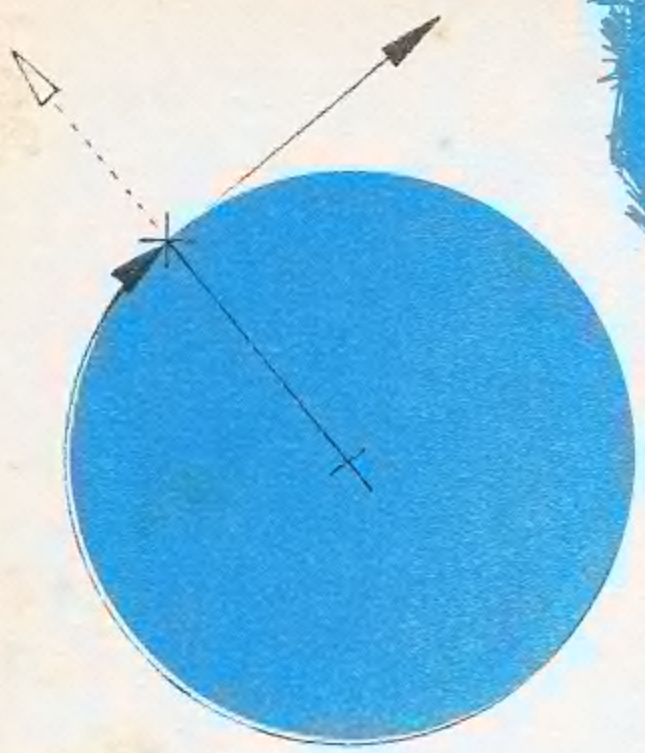
إذا زرتَ مدينةً من مدن الملاهي ، قد تجد بين أراجيحها الدوارة أرجوحةً من الكراسي المعلقة بسلاسل بشكل دائري . وعندما تبدأ الأرجوحةُ بالدوران ، تدور الكراسي ببطء . فإذا زادتْ سرعةُ دوران الكراسي ، ابتعدت عن المركز وزاد ارتفاعها ؛ وبدلاً من أن تكون مُدَلاةً بشكل عمودي ، فإنها كما ترى في الشكل تميلُ إلى هذا الجانب أو ذاك بحيث تتكون زاويةٌ بين السلسلة وعمود الأرجوحة . فإذا ازدادت السرعةُ كثيراً ، تكوَّنت زوايا قائمةٌ بين السلاسل والكراسي وبين العمود ، وابتعدت الكراسيَ عن مركز الأرجوحة بمقدار ما تسمح السلاسل .

إن القوة التي يبدو أنها تُبعد الأشياءَ وهي تتحرك بشكل دائري عن المركز ، تُسمى قوة الطرد المركزية . فبينما تقوم سلاسلُ الأرجوحة بشد الكراسي إلى الداخل أثناء الدوران ، فإن قوةَ الطرد المركزية تشدها إلى الخارج . وكلما ازدادت السرعةُ ازدادت القوة ؛ فإذا دارت الكراسي بسرعة كبيرة ، فإنها تَشُد السلاسل شدا تاماً إلى هذا الجانب او ذاك . ماذا يحدثُ إذا انقطعت إحدى السلاسل ؟ إلى أين يذهب الكرسي ؟

دَعْنا نُجري التجربةَ التالية . خُذ خيطاً طويلاً واربطه ربطاً محكماً حول حجر أو شيء آخر ثقيل بعض الشيء . ثم اخرجْ إلى أرضٍ فسيحةٍ خالية من الناس وابدأ بتدوير الحجر حولَ رأسك . عندما تديره بسرعة كبيرة ، يدور في دائرة واسعة ويشدُّ الخيطَ بقوة (شكل ١ أ) . ويمكنك أن تُحسَّ بالشدّ حولَ رأسك . فإذا كان الخيطُ ضعيفاً ، فإنه قد ينقطع عندما يدور الحجر بسرعة وتَشتدّ قوةُ الطرد المركزية . لكن ماذا يحدث للحجر ؟ بدلا من الاستمرار في الدوران ينطلق كما هو مبين في شكل (اب) في خط مستقيم من النقطة التي انفصل عندها عن الحبل . لكن لو كانت قوةُ الطرد المركزية قوةً تدفع الأشياء بعيداً عن المركز ، فإنك تتوقع أن يتّبع الحجر في انطلاقه الخطَّ المنقط في شكل (اب) ، أي أن يتّبع خطاً مستقيماً ممتداً من المركز . ومن هذا يتبين أن تسميتنا لقوة الطرد المركزية بهذا الاسم لا تدل تماماً على ما يحدث .

ولقد استنبط ايزاك نيوتن بعض القواعد لحركة الأشياء ، منها أن جميع الأشياء المتحركة تسير في خط مستقيم ما لم تمنعها قوة أخرى من ذلك . فقد أُجبر الحجر من جراء شد الحبل إلى التحرك في دائرة . لكن حالما





شكل ١ أ — ينطلق الحجر في مسار دائري عندما تديره حول رأسك

شكل ٢ ب — ينقطع الخيط وينطلق الحجر باتجاه السهم

انقطع الحبل ، انطلق من النقطة التي انفصل منها في خط مستقيم . لكن بالطبع ، لا تلبث الجاذبية أن تسحبه فيسير في خط مُنحن حتى يسقطَ على الأرض . ولو أجرينا هذه التجربة في الفضاء الخارجيّ بعيداً عن الجاذبية الأرضية ، فإن الحجر ينطلق الى الفضاء . وطالما انه ليس هناك جاذبية تشده إلى الأسفل ، فإنه يظل منطلقاً بخط مستقيم ودون توقف .

ويمكنك أن تلاحظ كيف تعمل قوة الطرد المركزية على القسم الأسفل كله من ثوب إحدى راقصات الباليه . فعندما تأخذ الراقصة في الدوران يبدأ ثوبها في الابتعاد عن جسمها والارتفاع حتى يلتف حول جسدها .

وعندما تنطلق الدراجة النارية على طريق السباق ، تلاحظ أن راكبها يميل عندما يدور حول أحد المنحنيات باتجاه مركز المنحنى وذلك لكي يقاوم قوة الطرد المركزية التي تدفع دراجته باتجاه مستقيم . ثم إن الطرق ذات الالتواءات الشديدة ، كطرق الجبال ، تكون منحدرة على الجانبين وذلك لكي تميل السيارات نحو المنحنى أو الالتواء . وهذا يقاوم حركة السيارات الطبيعية في الاتجاه بخط مستقيم يمنعها من الدوران حول المنحنى .

ومن يجلسُ في كرسي من كراسي الأرجوحة التي تحدثنا عنها ، يشعر بالخوفِ من السقوط عندما يتأرجح الكرسي بحيث يكاد ينقلب . والحقيقة هي أن الجالسَ على الكرسي يبقى في مكانه بتأثير قوة الطرد المركزية . ويمكنك أن تقومَ بتجربةٍ مشابهة باستخدام دَلْو ماء . فاذا كنتَ على شاطىء البحر ، مثلاً ، يمكنك أن تملأ الدلو بالماء أو الرمل ، وأَنْ تديره ، فيصير ككرسي الأرجوحة ، وذراعك كالسلسلة . فطالما استمرَّ الدلُو بالدوران ، فإن الماءَ أو الرمل لا يخرجان منه حتى عندما يكاد الدلو أن ينقلب (كما هو مبين في الشكل) .

# ٢٥- المعَـــادِنْ

إذا أردت أن تفلحَ حديقتَك ، فإنك تستخدم رَفْشاً له نصل معدني ، ربما من الفولاذ . كما انك تقطع الخبز أو اللحم بسكين معدني ، وذلك لأن المعدن قوي ، ويقطع الأشياء الصلبة بدون أن ينثني (أنظر الفصل الأول) . كذلك فإنك تغلي الماء أو تخبز الكعك في وعاء معدني كإبريق الشاي والغلاية والقوالب التي يُخْبَز فيها الكعك ؛ وذلك لأن المعدن يحافظ على شكله ولا يتأثر بالماء حتى عندما يكون (اي المعدن) ساخنا . ونحن نعلم أن المعادن — كالحديد مثلاً — يمكن أن تصير لينة ، وان تتحول لا إلى سائل فحسب ، بل إلى غاز إذا جرى تسخينُها في أفران درجة حرارتها عالية جداً (أنظر فصل ٤) وأعلى بكثير من درجة غليان الماء ، أو درجة حرارة الأفران العادية .

وللمعـدن خاصةٌ أخرى وهي أنه ينقل الحرارة ويوصلها بسرعة . فإبريقُ الشاي — مثلاً — يوصل حرارةَ النار إلى الماء فيسخن . ولهذا تُصنع مقابضِ أباريق الشاي والغلايات من مادة لا توصل الحرارةَ بسرعة كالخشب والبلاستيك . فالخشب والبلاستيك لا يحرقان أيدينا مثل معدن إبريق الشاي أو الغلاية .

والمعـادن قويـة ولا تنفـذ منها المياه لأن ذراتها متلاصقة . وكلما كان المعدنُ أكثرَ صلابة ، كانت ذراتُه أكثر تلاصقاً .

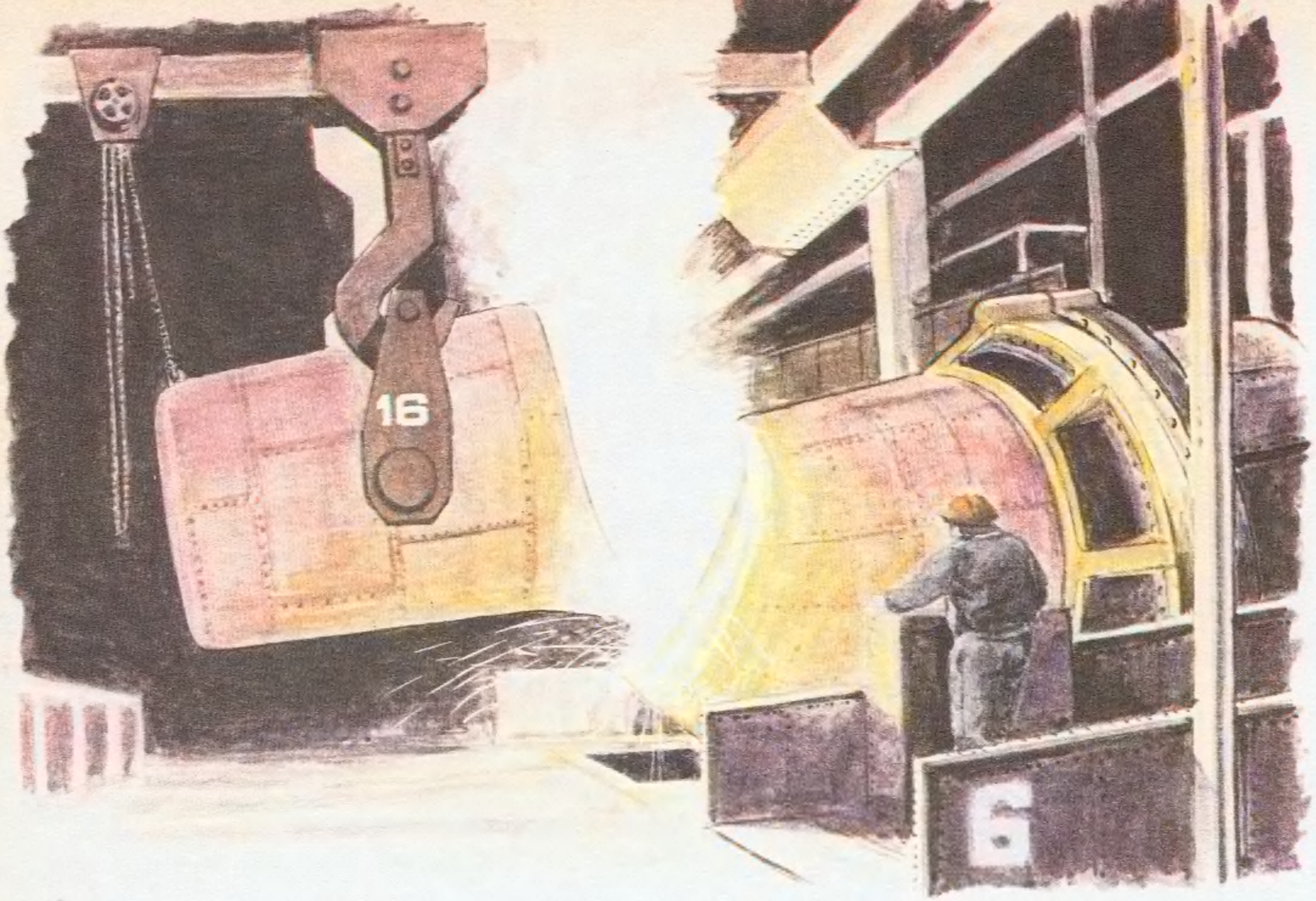
إننا نميل الى الاعتقاد بأن المعادن صلبة ولامعة مثل نصل الرفش أو السكين أو الالمنيوم أو نحاس الغلاية . ولكن المعادن ليست كلها صلبة . فالزئبق ، وهو المعدن الذي يُستخدم في ميزان الحرارة (الثرمومتر) ليس صلباً . إنه سائل يرتفع ويهبط في انبوب المقياس طِبقاً لدرجة الحرارة . والبوتاسيوم الذي يستخدمه المزارعون والجنائنيون يكون في العادة مسحوقاً يذوب بسهولة . والرصاص معدن صلب ، ولكنه ليس صلباً جدا . ولهذا يمكنك أن تلويه أو أن تَـخْرُقَه بسكين .

وبعض المعادن أثقل بكثير من البعض الآخر . فالمغنيسيوم والصوديوم خفيفان جداً ، وأخف من الماء . والالمنيوم خفيف جداً إذا قورن بالحديد ، ولكنه مع هذا صلب ، ولهذا فإنه يستخدم في صنع الطائرات . أما الذهب فهو أثقل من الالمنيوم بأكثر من سبع مرات ، والرصاص والفضة أيضاً ثقيلان جدا .

وقد رأينا في الفصل الخامس أن المعادن الخالصة (النقية) عناصر ، وأنها وتوجد في باطن الأرض ، وتُستخرج عادة بالحفر عنها . والمعدن في باطن الأرض يكون مختلطاً بالتراب وغيره من المواد كالاوكسجين (ومصدره الهواء) . ويُعرف عندئذ بالمعدن الخام . وقبل استخدامه ، لا بد من تَنقِيته بصهره في أفران حرارتها شديدة بحيث تحرق المواد الأخرى او تفصلها ، فيبقى المعدن خالصاً . وبعضُ المعادن كالالمنيوم والحديد توجد بكثرة في باطن الأرض ، لكن استخلاصها لا يعود بالنفع المادي إلا إذا وجدت بكميات كبيرة . والمعادن الأخرى كالراديوم توجد دائما بكميات قليلة جداً ، ولهذا فإن أثمانها مرتفعة دائماً . والذهب والفضة اللذان يحتفظان ببريقهما مدة طويلة ، وتُتَّخذ منهما الحلي والنقود المعدنية ، فيُعتبران من الأحجار الكريمة . ويوجد الذهب ومعدن البلاتينوم الثمين في الأرض خالصين . والحديد الموجود في الشهب حديد نقي . وحدث مرةً أن سقط شهاب في غرينلاند ، فظل الاسكيمو مئة سنة وهم يقتطعون أجزاء منه لصنع الأدوات والأسلحة .

سكين من صلب لا يصدأ

يعلو الصدأ (أكسيد الحديد) الحديد عندما تصيبه الرطوبة




مسبك للصلب تصب فوهته ٢٥ طناً من الحديد المنصهر في محول يحوله الى صلب

ومنذ قرون والناس يُجْرون التجاربَ على المعادن فيخلطونها لاستخراج أخْلاط جديدة . وقبل أكثر من ٤٠٠٠ سنة اكتُشف النحاس ، وهو معدن لين إلى حد كبير . ثم اكتشفوا أنهم إذا خلطوا قليلاً من الصفيح المنصهر بالنحاس المنصهر تكوَّن لديهم معدن أشد صلابة وأكثر صلاحيةً لصنع الفؤوس ورؤوس السهام ، ويعرف بالبرونز . وفيما بعد ، اكتشفَ الناسُ أنه إذا خُلطِ الزنك بالنحاس ، تكون لديهم النحاسُ الأصفر ، وهو معدن ذهبي اللون أصلب من النحاس وقابل لِلَّمعان إذا جرى تلميعه .

ويمكن أحياناً خلطُ المعادن بمواد غير معدنية . وتكفي كمياتٌ قليلة جداً من هذه المواد لتغيير خواص المعدن . فلو خلطنا كميةً قليلةً جدا من الفوسفات بالنحاس والصفيح ، تكون لدينا برونز أكثر مرونة وصالح لصنع زنبركات الساعات الكبيرة والصغيرة (انظر فصل ٢٦) .

والصُّلب معدن يستخدم كثيراً في الاعمال الهندسية ، ولكننا لا نحصل عليه بالحفر عنه في باطن الأرض . وهو من أخلاط الحديد ، ويمكن الحصولُ على أنواع مختلفة منه إذا خلطنا الحديد بمواد مختلفة . وفي القرن الثامن عشر جرى صنع أول صُلب بتنقية الحديد من كل مادة ليست بحديد نقي مثل الفوسفور ، فيما عدا كمية معينة من الكربون . ويمكن اليوم الحصول على صلب أكثر صلابة بست مرات أو أكثر وذلك بخلط معادن أخرى كالنيكل والكروم بالحديد . ويتوقف نوع الخليط الذي تحصل عليه على المواصفات التي تُريدها للصلب ، كحدة الابرة ، أو موسى الحلاقة ، أو قوة جسر ضخم معلق ومتانته .

وتتحد معادن كثيرة بأوكسجين الهواء . فالنحاس الذي نراه في سطوح بعض المنازل يصير لونه أخضرَ باهتاً بعد أن يختلط سطحه بالأوكسجين . والصدأ الأحمر الذي يعلو الحديد أو الصلب المعرض للهواء هو في الواقع عبارة عن مركب من الاوكسجين والسطح الخارجي للحديد .

# ٢٦ - الزنبركاتُ وعَمَلها

ثقل الفتاة على الفرشة يضغط الزنبركات المخروطية إلى أسفل ، ويصل الضغط أقصاه تحت أثقل جزء من جسمها

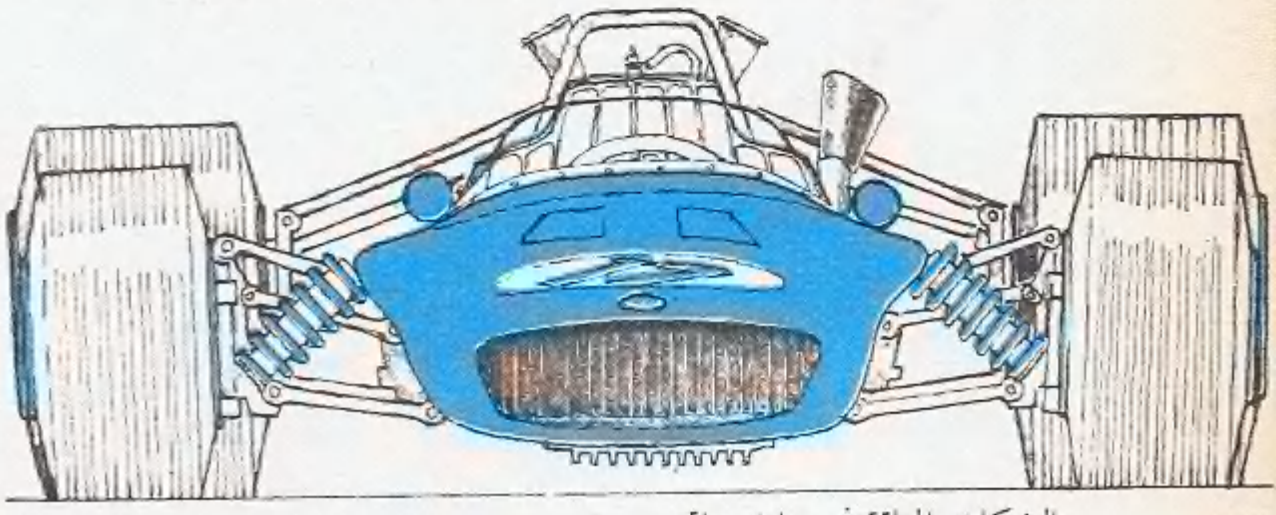
عندما يجلس أحدنا على كرسي مريح أو على أريكة (صوفا) كالسرير فإنه يهبط ، ولكنه لا يهبط كثيراً حتى يصل إلى الأرض. ويجلس مطمئناً لأن زنبركات الكرسي أو الأريكة تُسند جسمه . وهذه الزنبركات هي التي تجعل الكرسي يهبط بلطف إذا ضغطنا عليه . ويصدق هذا على السرير ومقعد السيارة ، لأن فيهما زنبركات (رفاصات) تحمل ما عليهما ، وتجعلهما مرنين في الوقت ذاته .

وتصنع زنبركات المقاعد والأسرة من السلك الزنبركي الذي ينثني عند الضغط عليه . لكن لا يكاد يرتفع الضغط حتى يعودَ إلى حالته الاولى . وعندما يجلس الشخص على زنبركات مقعد من المقاعد فإنه يضغط عليها بثقله ؛ لكنها بحُكم مُرونتها تدفعه إلى الاعلى . وإذا كان الشخص ثقيلاً جدا ، فإنه يضغط الزنبركات ضغطاً تاماً . لكن إذا كان خفيفاً ، فإنه يضغط عليها بقوة أقل ، وبالتالي فإن هبوطه يكون أقلَّ بكثير .

وتُصنع الزنبركات عادة من الصلب . ولكي تصير مرنة ، يقوم المهندسون بتسخين الصلب ، ثم يتركونه ليبرُدَ ببطء . وإذا ثَنَيْتَ الصلبَ العادي فإنه ينثني ويظل كذلك . أما صلب الزنبركات فإنه إذا انثنى أو التوى عاد الى حالته الأولى . وهناك مادة أخرى تستخدم لصنع الزنبركات ، وهي خليط من معدني النحاس والصفيح مع قليل من مادة شمعية هي الفوسفور .

وتصنع الزنبركات بأشكال كثيرة ، تَبَعاً للغرض الذي تُصنع من أجله . وتسمى زنبركات الكرسي زنبركات مخروطية لأن الصلب الذي تصنع منه يجري لفه على شكل مخروطي وكل منها متسع عند القاعدة ، ضيق في الوسط ، ومتسع عند رأسه . وللسيارات ومركبات سكة الحديد زنبركات لا تُشعر الراكب بحركتها ، وتعرف بزنبركات « التعليق » .

وزنبرك ساعة اليد (أو المنبه) هو الذي يجعلها تدور ، ويحتل أصغر حيز ممكن . اما أسلاكه ، وهي من الصلب ، فتصنع طويلة منبسطة وضيقة كشريط الحرير ، ويجري لفها على شكل دوائر إحداها فوق الأخرى . فعندما تَمْلأُ الساعةَ ، فإنك تُدير زنبرك الصلب الملفوف بحيث يصبح كله متراصاً . وعندما تبدأ الساعة بالدوران فإن الأسلاك ترتخي تدريجاً حتى يكتمل انحلال الزنبرك . وفي هذه الأثناء يدفع الزنبرك العجلات ، فتدور وتُدير



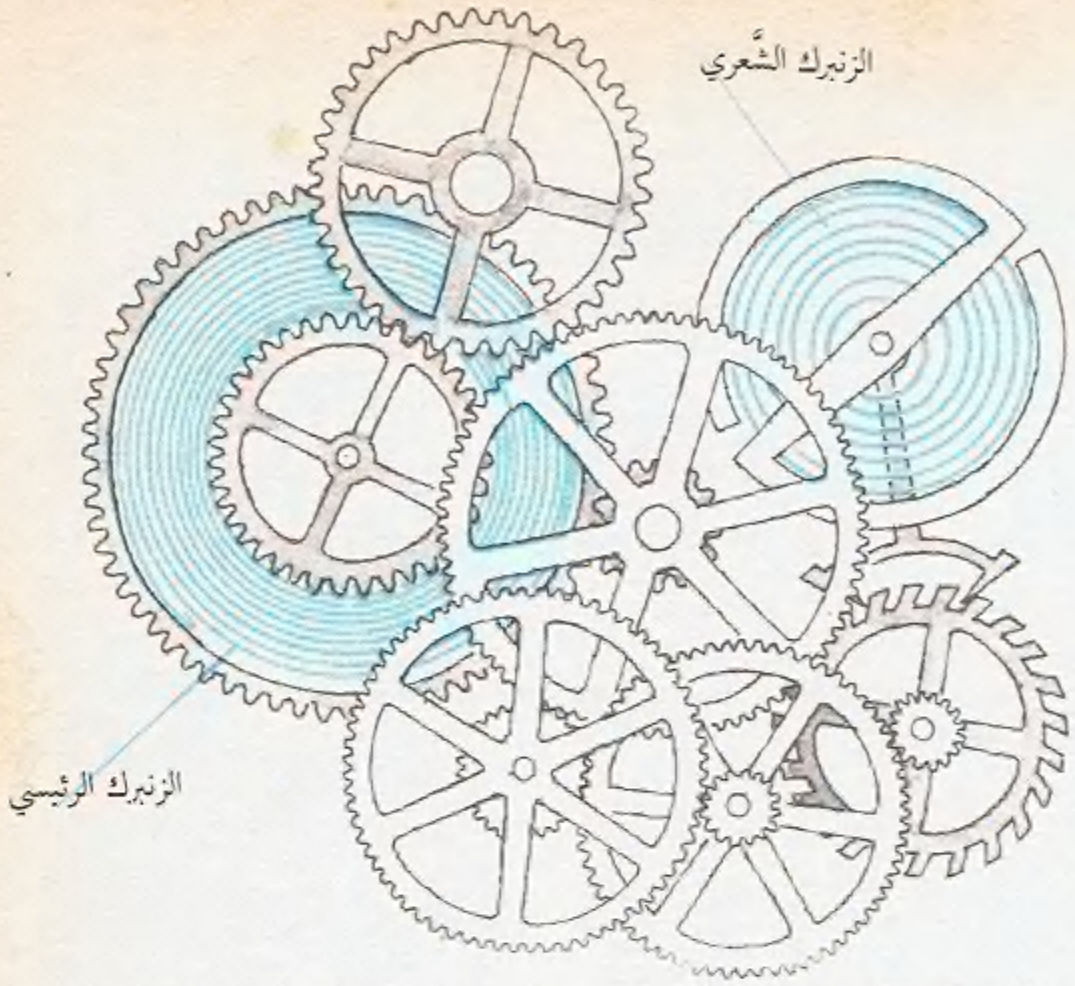
الزنبركات المعلقة في سيارة سباق

الساعة . وعندما يكتمل انحلال لفة الأسلاك فإن الساعة تتوقف حتى تجري تعبئتها مرة أخرى . واذا انقطع الزنبرك ، وقد ينقطع بعد فترة من الزمن ، فإن الساعة لا تدور إلا بعد أن يوضع زنبرك جديد .

وتعمل بعض الموازين التي يستخدمها التجار لوزن البضائع بالزنبرك . فإذا لم يكن على الميزان ما يوزن ، فإن الزنبرك يدفع كفة الميزان الى الاعلى . لكن عندما نضع عليها بطاطا مثلاً ، فإنها (أي الكفة) تهبط وترصُّ لفاتِ سلك الزنبرك . ويتوقف مدى رصِّها على ثقل البطاطا . فإذا كانت البطاطا تزن عشرةَ أرطال ، فإنها تدفع اللفات بضعفي قوة خمسة أرطال . وللميزان مقياس يتحرك مع الزنبرك ويبين لنا وزنَ ما يُرادُ وزنه . وفي بعض الموازين تُعلق الكفة بالزنبرك . وعندما يوضع فيها شيء ، يتمدد الزنبرك . وفي كل من هذه الموازين أيضاً مقياس يدل على مدى امتداد الزنبرك ، وبالتالي على وزن ما يراد وزنه كما هو واضح في الشكل .

وهناك مواد أخرى كثيرة تشبه لفات الصلب في أنها زنبركية . وأوضَحُ الأمثلة مادة المطاط . فإذا رمى أحدُنا كرةً على الأرض ، فإنها ترتد ثانية . والأرض كما نعلم ليست زنبركية . وإذاً فلا بد وأن الكرة ذاتها زنبركية . وإذا ضغطتَ على الكرة بقدمك ، فإنها تتأثر بذلك .

خشبة القفز في بركة السباحة



زنبركات الساعة . زنبرك الساعة الرئيسي يدير الساعة . والزنبرك الشعري يساعد في ضبط الوقت

لكنها لا تلبث أن تعودَ إلى حالتها الأولى عندما ترفع قدمك . وتُصنع الأربطة المرنة من المطاط . وتتمدد عندما نَمُطُّها ، وتعود إلى حالتها الاولى إذا تركناها .

والهواءُ أيضاً زنبركي . ولهذا نستخدمه في إطارات الدراجات والسيارات . وأقدمُ الدراجات كانت إطاراتها من المطاط القوي وذلك لكي تكون متينة . لكن على الرغم من متانتها ، فإنها كانت مصدرَ إزعاج لراكبيها لأنها ليست زنبركية . والإطارات التي نستخدمها الآن مجوفة ، وتُملأ بالهواء لأنه يجعلها لينة ومرنة ، ويُمَكِّنها من تخفيف الصدمات على الطريق . وتُملأ كرة القدم بالهواء لأنه يجعلها خفيفة وزنبركية . ولو كانت كلها من المطاط الصَّلب لَصَعُبَ ضربها كثيراً بسبب ثقلها .

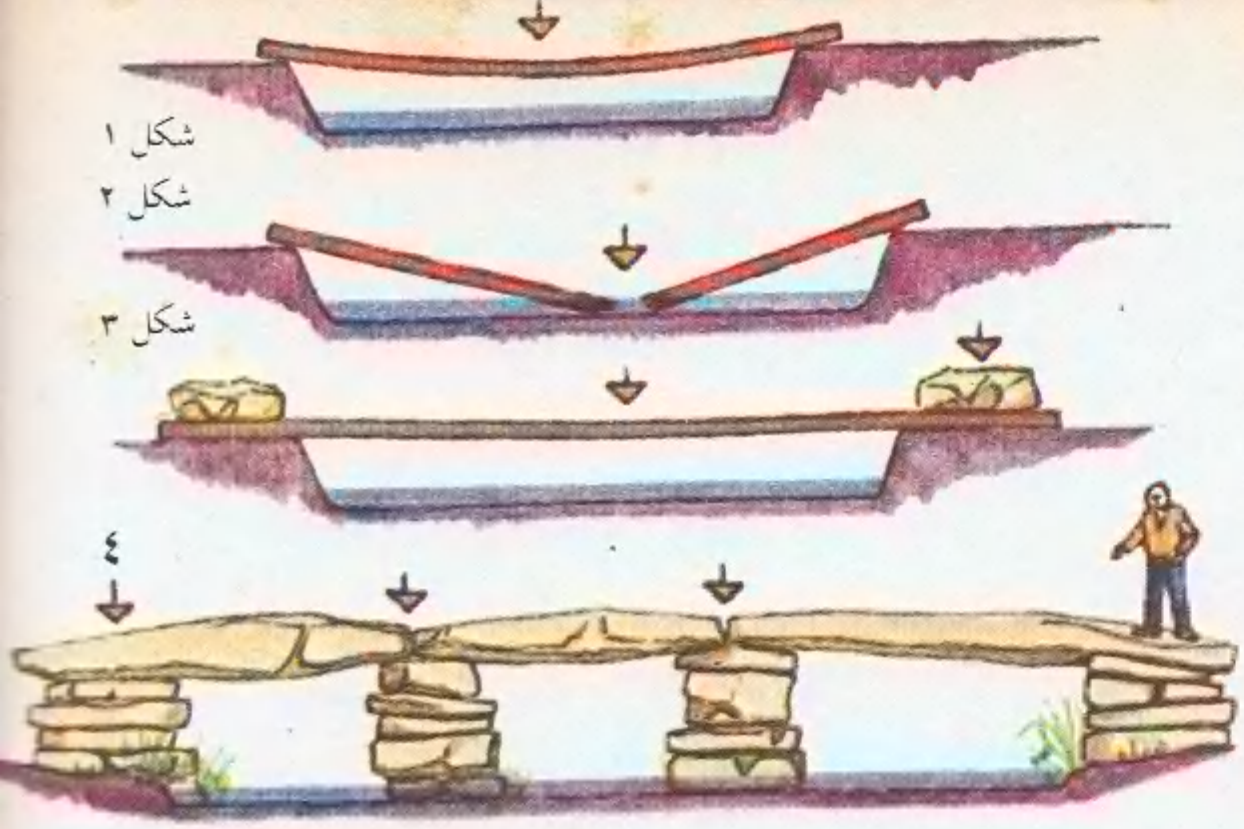
والخشبُ أيضاً مادة زنبركية ، ولكنه أقل مرونة من المطاط . وبعض أنواع الخشب أكثر مرونة من البعض الآخر . فخشب البلزا ، وهو خفيف جداً ، ويُستخدم في صناعة نماذج الطائرات ، ليس شديد المرونة . أما الخشب الذي يستخدم في صنع المساطر فهو شديد المرونة . فإذا وضَعْتَ طرفَ مسطرة تحت كوم من الكتب على حافة طاولة ، ونَقَرْتَ الطرفَ الآخر ، فإن المسطرة تأخذ في الاهتزاز الى أعلى وإلى أسفل . وتُصنعُ خشبات القفز في برك السباحة من الخشب الزنبركي ، والخشبة منها كالمسطرة الضخمة ، يكون أحد طرفيها ثابتاً ، والآخرُ طلقاً دون قيد .

# ٢٧ - الجُسُورُ وَالأَقْوَاسُ

إذا أردتَ أن تجتاز خندقاً أو تقطع نهرا عريضاً لا تستطيع أن تقفز فوقه ، فإنك تقيم عليه جسراً . ونوع الجسر الذي يقام يعتمد على عرض النهر ، ونوع الأرض على جانبيه ، وأصناف المواد التي تستخدم في بنائه .

ويرجَّح أنَّ أقدم جسر كان عبارة عن جذع شجرة سقط فوق نهر . وأبسطُ جسرٍ يقام هو لوح خشبي يصل بين ضفتي النهر (شكل ١) . وفي أثناء سيرك على اللوح تلاحظ أنه يهبط قليلاً عند منتصفه . وسبب هبوطه هو أن الجاذبية تشده إلى أسفل (أنظر فصل ٢٠) . لكن ضفتي النهر تسندان حافتي اللوح ، وتقاومان شد الجاذبية . لكن نظراً لعدم وجود شيء في منتصف اللوح غير متانة اللوح ، فإنه يهبط . وكلما زاد عرض النهر زاد طول اللوح . وكلما بعد منتصف اللوح عن الضفتين اللتين تسندانه زاد هبوطه ، وبخاصةٍ إذا سار عليه رجل ثقيل الوزن . واذا كان اللوح طويلاً جداً ولا يقوى على حمل شيء شديد الثقل ، فإنه إذا ثقل حمله ، انكسر عند منتصفه (شكل ٢) .

ولكي نطمئن إلى استخدام الجسر ينبغي أن نوازن شدَّ الجاذبية بقوة مضادة . ويمكننا أن نقاوم الى حد ما شدَّ الجاذبية عند منتصف اللوح إذا ثبَّتْنا طرفيه جيداً على الأرض بوضع شيء ثقيل كالحجر الكبير على كل طرف من طرفيه (شكل ٣). ويمكن بناء جسور قصيرة جديرة بالثقة باستخدام ألواح خشبية أو قضبان معدنية . لكن هذه الألواح لا تصلح للجسور الطويلة ، لأنها — عاجلاً أو آجلاً — سوف تنهار عند منتصفها . ولهذا لا بد من استخدام دعامة عند منتصف اللوح حيث يبلغ الضغط أقصاه . ومن السهل عند إقامةِ جسر بمدِّ لوح فوق نهر ضيق ، بناءُ عمود من الطوب أو الحجر وسط النهر لدعم



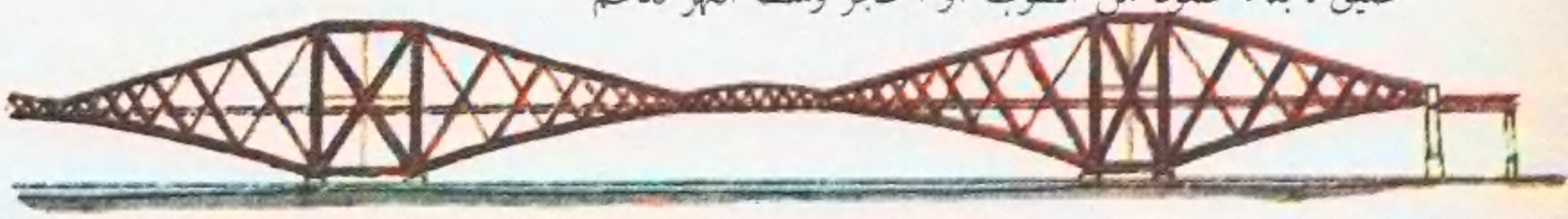
تشير الأسهم الى مواقع الضغط الشديد

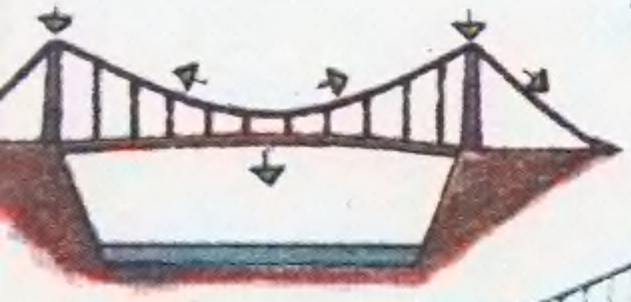
اللوح . وقديماً كانت تقام جسورٌ طويلة فوق الأنهار الضحلة على عدة أعمدة من هذا النوع تصل بينها بلاطات طويلة منبسطة . وكان هذا النوع من الجسور يعرف بـ« لسان الجرس » (شكل ٤) .

لكن لنفترض أن الجسرَ مُدَّ فوق واد ضيق سحيق تصعب إقامة أعمدة فيه ، أو على نهر تعبره السفن . في هذه الحالة كان بناة الجسور يعمدون الى بناء دعامة تشبه القوس ، وتمتد من أحد جانبي الوادي إلى الآخر وذلك لدعم اللوح عند منتصفه (شكل ٥) . ويعرف الجسر من هذا الطراز بـ«جسر كابولي» . وقد بنيت عدة جسور ضخمة من هذا الطراز مثل جسر فورث في اسكتلندا .

وغالباً ما يَعْتمِد بناة الجسور على استخدام الأقواس لدعمها . وإذا أخذتَ مسطرتين ، وأوقفت واحدة مقابل الأخرى وتلامس طرفاهما العلويان بينما طرفاهما السفليان متباعدين ، فطالما كان طرفاهما السفليان ثابتين ، فإنك تستطيع أن تضغط بقوة على موضع تلامسهما بدون أن يتعرضا للكسر . ويمكنك أن تَضْغَطَ على موضع

شكل ٥ — جسر كابولي




شكل ٨ — جسر معلق

تلامسهما بقوة أكبر من القوة التي يمكنك ان تضغط بها على أحدهما وهي ممدودة فوق فجوة صغيرة . ذلك أن شدَّ الجاذبية الى الأسفل وقوة ضغطك لا يتركزان على بقعة واحدة . فبدلاً من ذلك يتوزعان على جانبي القوس حتى نقطة ارتكازهما على الأرض . ويقوم المهندسون ببناء أقواس منحنية من الطوب والحجر تنتشر فيها قوة الجاذبية من كل حجر إلى الحجر الذي يليه حتى الأرض على الجانبين (شكل ٦) . ويمكن للمهندسين بناء طريق أو سكة حديد فوق القوس . وإذا أرادوا بناء جسر فوق نهر عريض ، ففي إمكانهم ان يرسوا دعامةً أو أكثر في النهر لدعم قوسين أو أكثر . وقد كان لجسر لندن الذي بناه جون رني في اوائل القرن التاسع عشر خمسة أقواس (أنظر الشكل ٧) . وأثقل الجسور وأعرضها جسر على شكل قوس يمتد عبر مدخل ميناء سدني في استراليا .

ونظراً لأنه من المتعذر أو غير المناسب إقامة دعامات في وسط الاماكن العريضة التي يراد بناء جسور فوقها ، فقد اخترع المهندسون نوعا آخر من الجسور وهو الجسور المعلقة (شكل ٨) . وفي هذه الجسور يُعمل القوس من كابلات صلب ضخمة في كل منها آلاف من أسلاك الصلب السميكة . ويعتبر جسر «جولدن جيت» المعلق فوق مدخل خليج سان فرنسيسكو من أروع الجسور المعلقة . فقد بُني برج عال من الصلب على كل من جانبي الجسر . ويصل بين قمتي البرجين «كابلان» من الصلب قطر كل منهما ثلاثة أقدام . والجاذبية تشد هذين «الكابلين» من الوسط قليلاً الى الأسفل ، ولهذا نراهما

جسر «جولدن جيت» المعلق في سان فرنسيسكو بالولايات المتحدة

يشكلان منحنيين ضخمين فوق الخليج . وتتعلق بهذين الكابلين طريق عريضة ترتفع مئتي قدم فوق الماء ، وبذلك يمكن لأكثر السفن ارتفاعاً ان تمر تحتها .. ويتوزع شدُّ الجاذبية وثقل الجسر على طول امتداد الكابلين إلى الأعلى حتى قمتي البرجين ، ثم إلى الأسفل حتى الأرض في الجهة الأخرى . ويمتد هذا الجسر ذو القوس الواحد عبر مسافة طولها ٣/٤ ميل وهو قوي بحيث يحمل طريقاً لا سكة حديد ، هذا مع العلم بأن الجسور الأصغر منه تحمل سكك حديد .

شكل ٦ — جسر من نوع «حصان الأحمال» من القرن السابع عشر

شكل ٧ — جسر متقوس

# ٢٨ - الكهرباء

شجرة تشتعل فيها النيران على اثر ضرب البرق لها

قبل حوالي ٢٥٠٠ سنة اكتشف بعضُ علماء الإغريق أنك إذا فَرَكْتَ قطعةً من العَنبر بِقطْعةٍ من الفرو أو الصوف فإنك تولد كهرباء ، ويصبح العنبر ، كما يقول العلماء ، مشحوناً بالكهرباء . وعندما يحدث هذا ، قد تنبعث شرارات ، ويجتذب العنبر إليه قطعاً صغيرة من الورق أو أشياء أخرى خفيفة جداً . وكلمة «كهرباء» بالانجليزية مشتقة من الكلمة اليونانية الكترون ، التي كانوا يطلقونها على العنبر .

وقد تلاحظ أنكَ إذا مررتَ بيدك على ظهر قِطة ، وبخاصة في جو شديد الجفاف ، فإن شعرَها يبدو واقفاً ويُحدِثُ طقطقة . وقد يحدثُ الشيءُ ذاتُه لشعرك إذا مشَّطته بقوة . وهناك طريقة أخرى لتوليد الكهرباء ، وهي أن تخلع رداءً من النايلون بحيث يمر فوق رأسك . إذا فعلتَ هذا في غرفة مظلمة فإنك تسمع الطقطقة ، وقد ترى شرارةً أو ومضة ضوء يولدها الكهرباء . وفي كل هذه الحالات يتولد الكهرباء بالفرك أو احتكاك جسم بآخر .

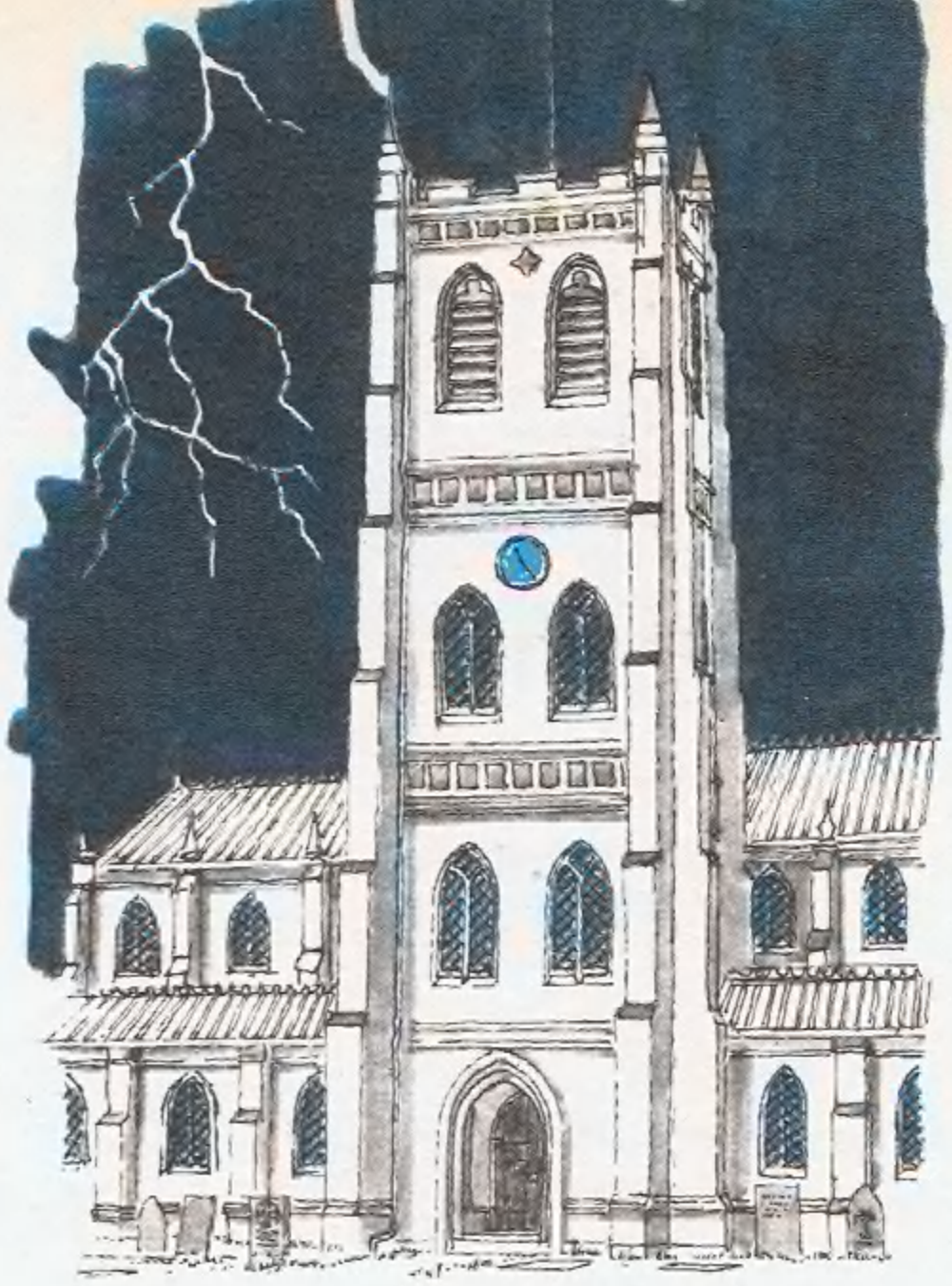
وحتى القرن التاسع عشر لم يكن أحد قد عرف أكثر من هذا عن الكهرباء . أما الآن ، فنحن نعرفُ الكثيرَ عنها وعن كيفية استخدامها مع العلم بأننا لا نزال نجهل أشياء عنها . فنحن نعلم الآن بأن المادة كلها تتألف من ذرات (أنظر فصل ٥) . وأن في هذه الذرات كهرباء . وعليه فالكهرباء في كل شيء .

وإذا أردت أن تُجري تجاربَ على الكهرباء ، فالعنبر مادة صالحة لهذا الغرض . لكن إذا لم يكن لديك عنبر فيمكنك أن تستعيضَ عنه بأنبوبة البلاستيك في قلم الحبرأو يد فرشاة الأسنان . فإذا أمسكتَ بشعيرات الفرشاة ، وفركتَ يدها بكُمِّ مِعطفك أو بقطعة من الفرو أو الصوف ، فإن الفرشاة وكمك يُشحنان بالكهرباء . وإذا قمتَ الآن بتمزيق ورقة رقيقة إلى قصاصات صغيرة ووضعتَ القصاصات على الطاولة ثم قربت منها يد الفرشاة ، فإن يد الفرشاة تلتقطها .

وعندما تَمُرُّ بِرداء النايلون فوق رأسك ، فإنه يولد كهرباء كثيرة إلى حد أنها تكهرب الهواء الجاف للحظة من الزمن ، وتظهر ومضة بين الرداء وبين جسمك . (وبالطبع فإن الومضة لا تؤذي) . وتُرى ومضاتٌ أكبر منها بكثير خلال هبوب العواصف الرعدية . وعندما تشحن سحابة ممطرة كبيرة بالكهرباء ، وتدِبُّ الشحنة بين السحابة والأرض ، تلمع ومضةٌ نُسميها البَرْق . وقد تكون هذه الومضة خطرةً جدا بسبب شدة قوة الشحنة . واذا ضرب البرق شيئاً — كبيت أو شجرة — فقد يوقع أضراراً جسيمة . بل إنه قد يُشعل النار في الشيء . وهذا ما يفسر سبب خطأنا إذا اختبأنا تحت شجرة خلال العاصفة الرعدية .

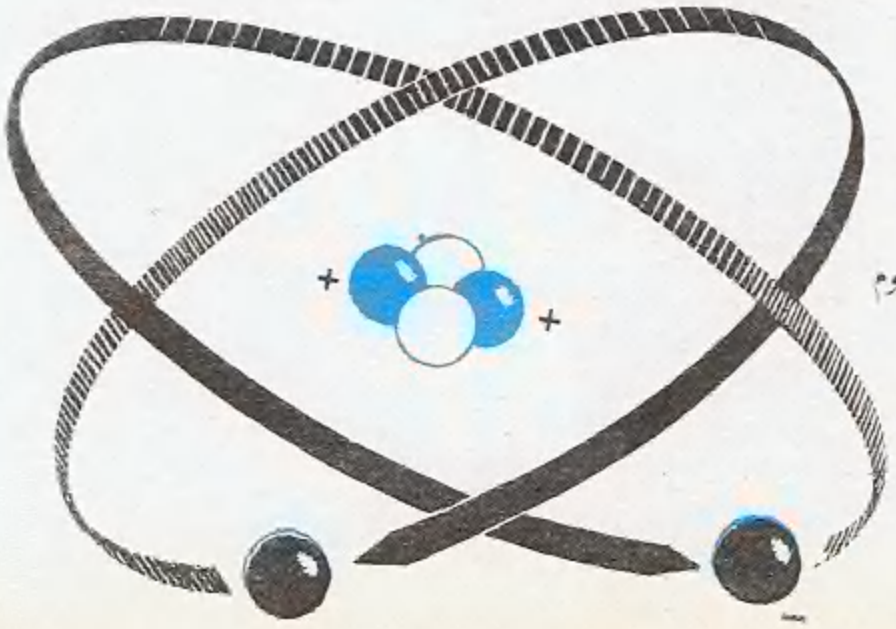
لكن ما هي هذه الكهرباء وما سببُ وجودها ؟ إن

شارات الكهرباء تنبعث من شعرك عندما تمشطه



موصل البرق المعدني (مانعة الصواعق) على برج الكنيسة ينقل الكهرباء بأمان إلى الأرض

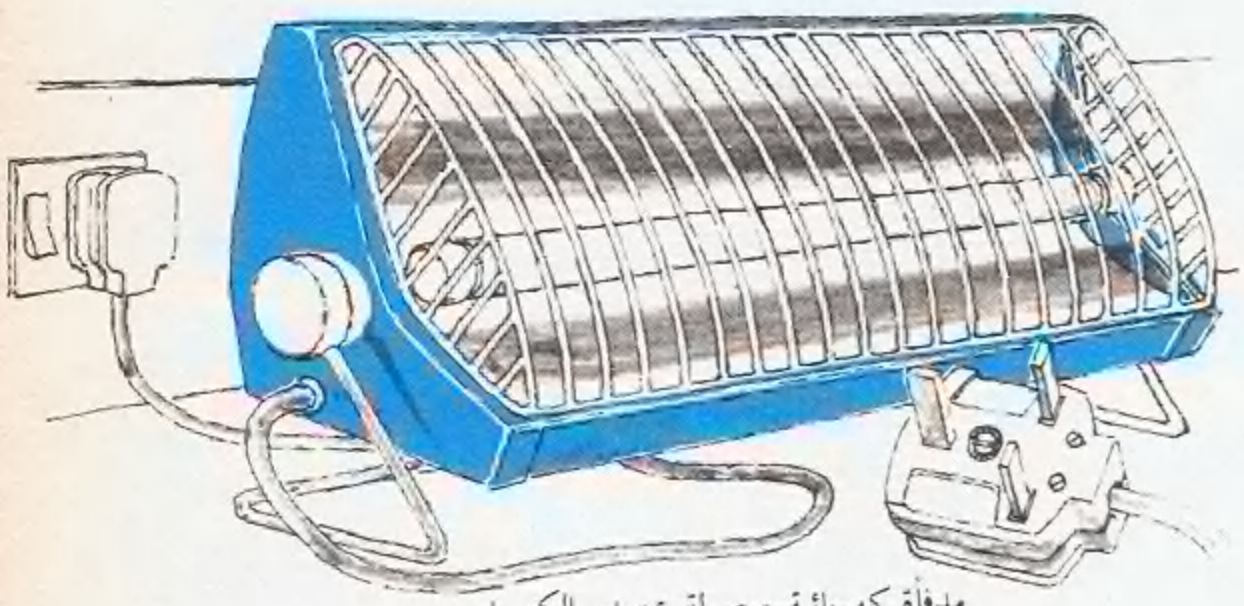
الذرات ذاتها — وهي صغيرة جدا بحيث لا ترى — تتكون من جزيئات أصغر منها . وهذه الجزيئاتُ مشحونةٌ بنوعين من الكهرباء نسمي أحدهما موجباً والآخر سالباً . ويتكون مركز الذرة من جزيئات شحنتها «موجبة» تدور حولها جزيئات شحنتها سالبة نسميها الالكترونات (شكل ١) . ونظراً لأن الجزيئات ذات الشحنة الموجبة مساوية للجزيئات ذات الشحنة السالبة فإن الذرة لا تبدو مشحونة بالكهرباء . ولكن إذا فركت يد فرشاة الأسنان بكُمِّ معطفك ، فإنك تُحدث اضطراباً بين الالكترونات التي على سطحها ، وتنقل بعضها إلى كم المعطف . وهكذا فإن الالكترونات السالبة في الذرات التي على سطح يد



شكل ١ — ذرة هليوم

الفرشاة تقل كثيراً ، مما يجعل شحنتها (أي اليد) موجبة ، بينما تجتمع على الكم الكترونات كثيرة شحنتها سالبة . لكن مع هذا فإن يد الفرشاة ذات الالكترونات القليلة تجتذب الكم بالكتروناته الكثيرة ، كما تجتذب أيضاً قصاصات الورق التي تشتمل على العدد الطبيعي من الالكترونات السالبة والموجبة . لكن يد الفرشاة تتنافر مع كل جسم مثلها قليل الالكترونات . وبعبارة أخرى فإن الموجب يجتذب السالب ، ولكنه يتنافر مع الموجب . ويمكننا أن نعبر عن هذا بقولنا : «الشيء يتنافر مع ما يشبهه ، ويجتذب ما يختلف عنه» .

وعندما يجري شحن بعض المواد — مثل العنبر والصوف والبلاستيك والهواء الجاف — بالكهرباء الموجبة أو السالبة ، تعرف الكهرباء بالكهرباء الستاتيكية ، أي الساكنة ، وذلك لأنها لا تنتقل إلى الخارج في الحال . وبعض المواد ، وبخاصة المعادن ، تفقد دائماً شحنتها الكهربائية بمجرد فركها ، وذلك لأنها تسمح للكهرباء بالانتقال منها . وهذا هو السبب في استخدام الاسلاك

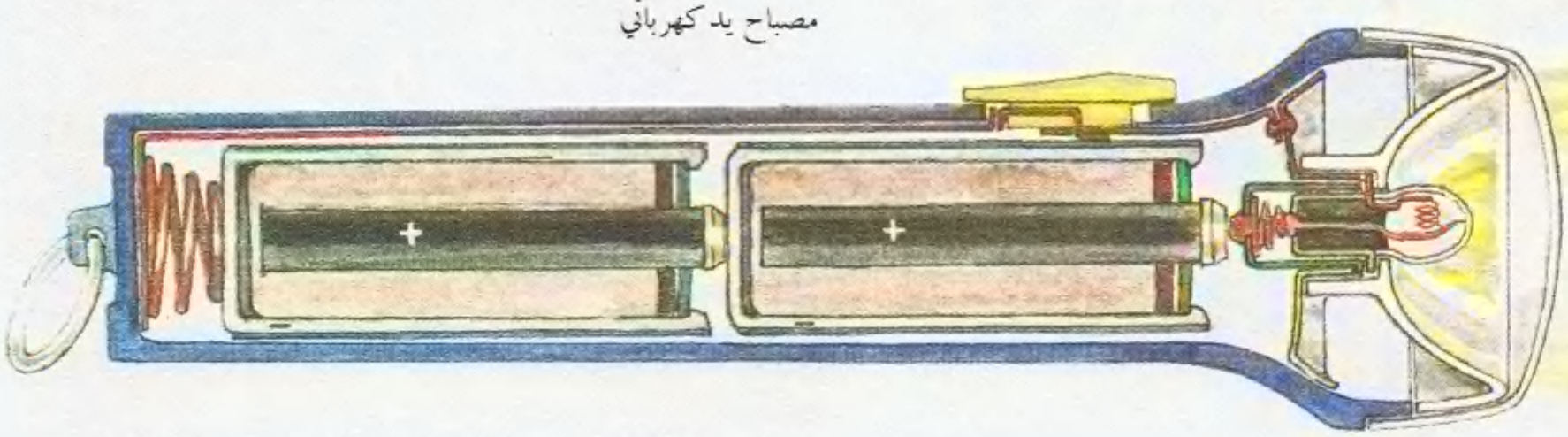


مدفأة كهربائية موصولة بمصدر الكهرباء .

المعدنية لنقل او إيصال الكهرباء من مكان الى آخر كما نفعل حول بيوتنا . ويقوم موصل البرق المعدني (مانعة الصواعق) بنقل شحنة البرق الكهربائية الى الأرض حيث لا تسبب ضررا . ولموصل الكهرباء (الفيش) رؤوس معدنية تنقل الكهرباء . لكن الموصل ذاته مصنوع من البلاستيك ، وهو مادة غير موصلة وعازلة . وهذا هو السبب في أننا لا نصاب بصدمة كهربائية عندما نلمس الموصل . لكن لو أننا لمسنا المعدن فإن الكهرباء تنتقل إلينا فنصاب بصدمة كهربائية شديدة .

# ٢٩- التيّارُ الكهربائي

مصباح يد كهربائي

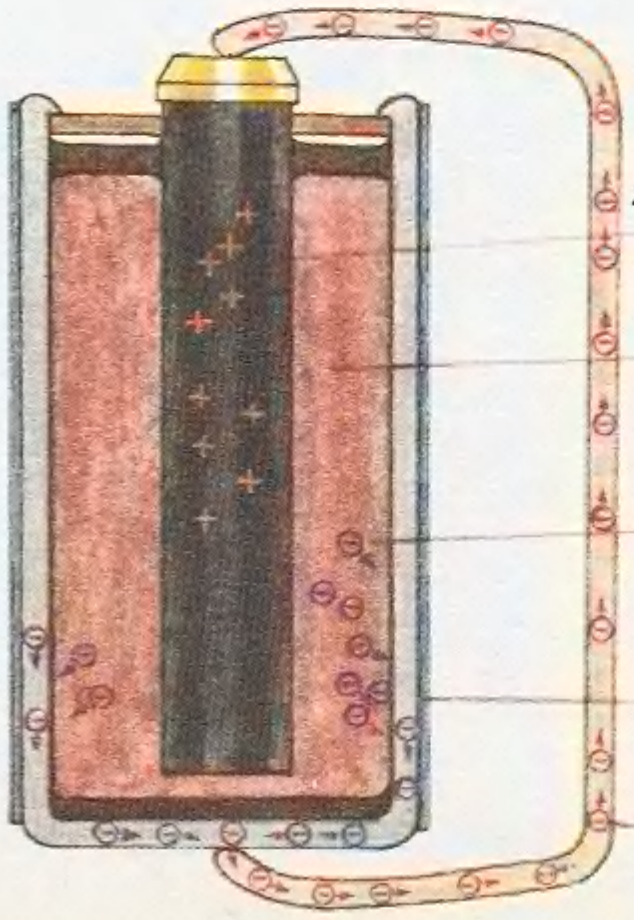


رأينا في الفصل السابق أنه يمكننا عند فرك المواد أن نخرج منها الالكترونات وننقلها بوسائل موصلة مثل الأسلاك المعدنية . وسنرى في هذا الفصل كيف نستخدم التيار الكهربائي (الكهرباء المتدفقة) في الإنارة والتدفئة وغيرهما . ومع ان الناس عرفوا الكهرباء منذ سنوات كثيرة ، فإن العلماء لم يبدأوا باكتشاف كيفية الحصول على التيار الكهربائي واستخدامه إلا في القرن التاسع عشر (أنظر فصل ٣٢) .

ولنبدأ بنوع بسيط جداً من الأدوات الكهربائية وهو مصباح اليد الكهربائي (شكل ٢) . ففي رأس المصباح «لمبة» زجاجية في داخلها لفة صغيرة جداً من السلك الرفيع . وعندما يُدار المصباح ، أي حين يُسمح للتيار الكهربائي أن يسري إلى السلك ، فإن السلكَ يسخن كثيراً ويبدأ بالتوهج . إلا أن الغلاف الزجاجي يحول دون احتراق السلك في الهواء واللمبة الكهربائية التي تضيء الغرفة في بيتك تضيء بالطريقة ذاتها ولكنها أكبر حجماً

ولكن من أين يأتي التيار الكهربائي ؟ في المصباح بطارية أو أكثر . والبطارية نوع من المصنع المصغر لتوليد الالكترونات . وعندما تتولد الالكترونات ، فإنها تنتقل الى طرف من طرفي البطارية ، ثم تندفع نحو أقرب الذرات على السلك . على ان الذرات يدفع بعضها بعضاً إلى الخلف ، فتنتقل إلى الذرات التالية عبر السلك . وهذه الذرات بدورها تدفع بعض الالكترونات ، وهكذا على طول السلك حتى تصل الالكترونات الى السلك الرفيع في اللمبة . ونظراً لأن الالكترونات تتجمع بأعدادٍ كبيرة ، فإنها تتزاحم للوصول الى السلك الرفيع . وهذا هو ما يسخن السلك ويسبب الانارة . ولكي تستمر الإنارة ، لا بد للالكترونات من أن تواصل سيرها عبر السلك إلى السلك الأكثر سمكا على الطرف الآخر . وبهذا تعود الالكترونات مرة أخرى إلى البطارية بعد أن تكون قد أكملت دورتها المعروفة بالدورة الكهربائية . وإذا ما أطفىء المصباح ، تتوقف البطارية عن إرسال الالكترونات . وعندما تُشعل نورَ الكهرباء في منزلك ، فإنك تطلق فيضاً من الالكترونات من مصدر الكهرباء عبر الاسلاك إلى اللمبة . وعندما تطفئه توقف تدفق الالكترونات .

تُرى كيف تولِّدُ البطاريةُ ذلك الفيضَ من الالكترونات ؟ في داخل غلاف البطارية علبة معدنية في وسطها قضيب كربون (شكل ٢) . وبين القضيب والجوانب المعدنية ضرب من الهلام يتألف من مواد كيميائية . وهذه المواد تسحب الالكترونات من قضيب الكربون ، فتتواثب إلى العلبة المعدنية . وبهذا تزيد



الالكترونات كثيراً في العلبة فتكتسب شحنة سالبة ، بينما تقل كثيراً على القضيب فيكتسب شحنة موجبة . وما إن تدير مصباح اليد حتى تسري الالكترونات الزائدة عَبْر السلك ، وتكْمِل الدورةَ الكهربائية ، وتعود إلى القضيب . وفي هذه الأثناء فإن المواد الكيميائية تواصل إطلاق المزيد من الالكترونات الى العلبة حتى يتم استهلاك تلك المواد ، وبذلك « تموت » البطارية ونحتاج إلى بطارية جديدة .

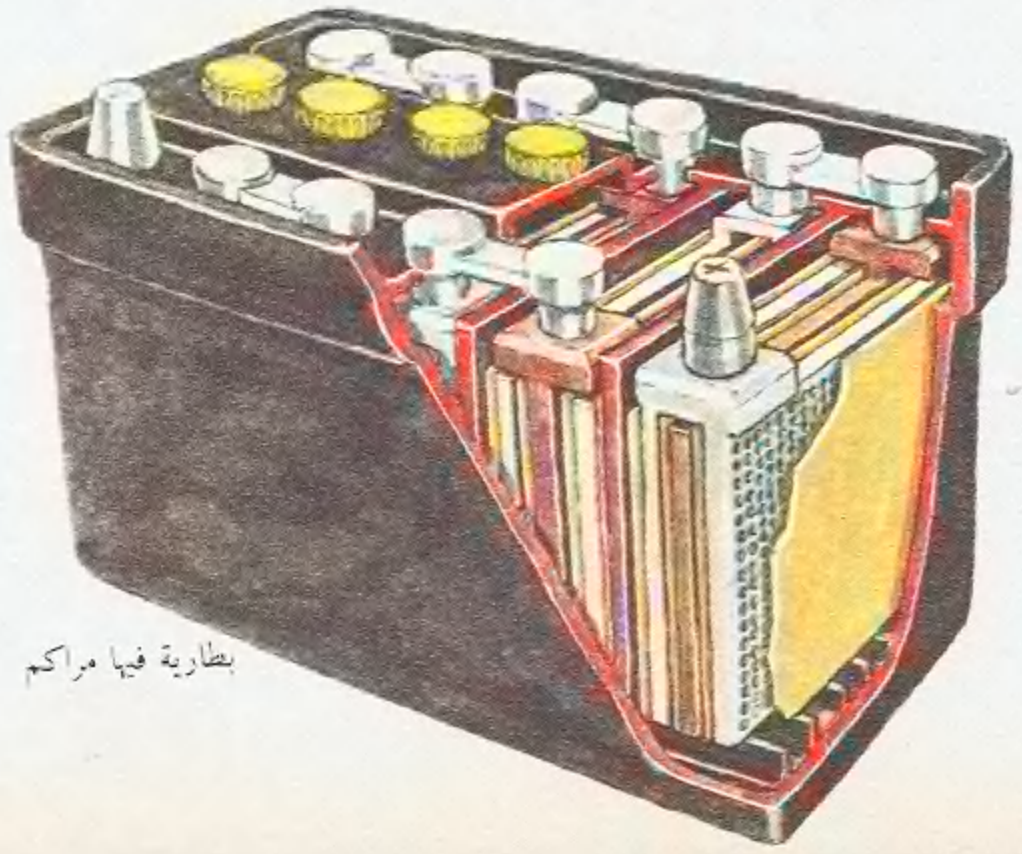
بهذا الأسلوب تعمل البطاريات الجافة . لكن الاستغناء عن البطاريات الكبيرة — مثل بطارية السيارة — كلما تم استهلاك موادها الكيميائية يكلفنا كثيراً . لهذا نعيد شحنَ البطارية بمولدات كهربائية سنقوم بشرحها في الفصل الحادي والثلاثين . وغالباً ما تسمى هذه البطاريات بالمَراكِم ، لأنه يجري تراكم او خزن الكهرباء فيها عندما يُعاد شحنها . والمواد الكيميائية فيها تكون عادة سائلة بدلاً من أن تكون هلامية . والبطارية الجافة صندوق كبير من الزجاج أو البلاستيك يحتوي على خليط من حامض الكبريت والماء المقطر . وفي هذا السائل ثلاث « صفائح » ، أو علب رصاص مجوفة ، إحداها موجبة والأخريان سالبتان . ومن الثلاثة معاً يتكون مِرْكم . لكن البطاريةَ الكبيرةَ تحتوي عادة على ثلاثة مراكم أو أكثر توضع في علبة واحدة .

والتيار الكهربائي الذي يصل الى بيوتنا والى المصانع يأتي من المولدات التي تولد الكهرباء على نطاق واسع . ثم يسري التيار كما قلنا سابقاً في أسلاك طويلة . وينبغي أن تكون هذه الأسلاك سميكة جداً ، وذلك لكي تنقل فيضاً مستمراً من الالكترونات بدون ان تسخن . ويجري مد

محطة لتوليد الكهرباء ترينا « الأذرع » العازلة بلون بني

هذه الأسلاك أحياناً تحت الأرض ، وأحياناً أخرى على أبراج معدنية مرتفعة فوق الأرض . لكن يجب ان تكون الأسلاك بين أذرع ، مصنوعة من مادة غير موصلة أو عازلة لا يمكن للتيار ان يسري فيها . إذ لو كانت الأذرع من المعدن ، فإن الالكترونات تسري فيها وتذهب إلى الأرض بدلا من الانطلاق في الأسلاك .

ويمكن استخدام التيار الكهربائي في تلبيس معدن بآخر — وهذا هو ما ندعوه ب « التلبيس الكهربائي » . فإذا مددت سلكين من طرف بطارية وغمسهما في وعاء فيه ماء ملح ، ولكن بحيث لا يتلامسان ، فإنك ترى فقاقيع منبعثةً من طرفيهما . والسبب في هذا هو أن الكهرباء تفصل بين عنصري الماء ، وهما الاوكسجين والهيدروجين ، وتدفع أحدهما في أحد السلكين ، والآخَرَ في السلك الآخر . ولو وضعنا في الوعاء محلولاً من جزيئات النحاس المذابة في الماء ، فإن أحد السلكين يجتذب تلك الجزيئات . ولو علقنا قطعة من الحديد — ولتكن مسماراً مثلاً — على ذلك السلك ، فإنه سوف يكتسي (أو يُلَبَّس) بالنحاس . وهذه هي الطريقة التي يجري بها تلبيس المعادن الرخيصة مثل الصفيح بمعدن ثمين كالذهب أو الفضة ، وجعلها تبدو كما لو كانت فعلاً من الذهب او الفضة .



بطارية فيها مراكم

# ٣٠- المِغْناطيسُ - القِسم الأول

بحار يوجه سفينته بالبوصلة

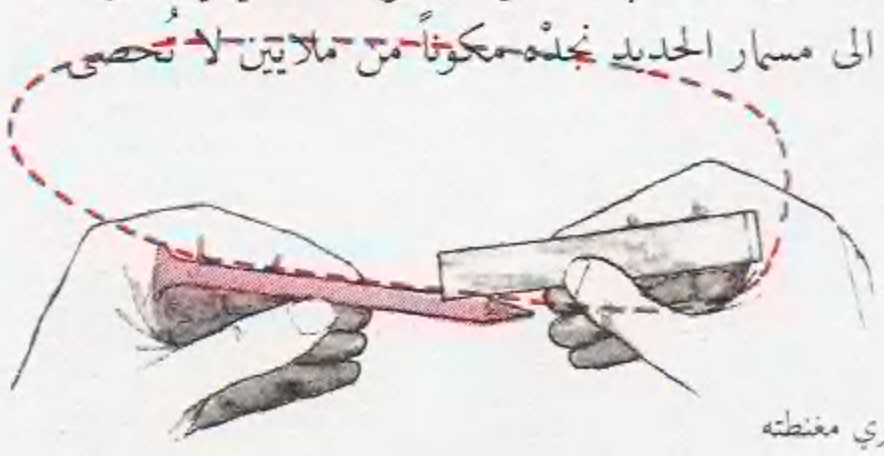
لقد سبق للكثيرين أن استخدموا بوصلةَ الجيب . وسوف نبين في نهاية الفصل كيف نصنعُ بوصلة . اذا وضعتَ بوصلةً على قاعدتها ، فان الإبرة بداخلها تشير الى الشمال والى الجنوب ، وبذلك تدلك على جهة الشمال . وسببُ هذا هو أن الإبرة «مغناطيسية» وأن الارضَ بوصفها مغناطيسا كبيراً تجتذبها وتجعلها تشير الى الشمال والجنوب . والحقيقة هي أن الإبرةَ تشير الى القطبين المغناطيسيين . وهذان القطبان لا ينطبقان تماماً على القطبين الشمالي والجنوبي اللذين نراهما على الخريطة .

وتُصنع المغناطيساتُ عادةً من الحديد أو الصلب (وهو في أساسه حديد) . ويمكن لها ان تتَّخذَ أي شكل . ولكننا نجدها عادة على شكل قضيبِ حديدٍ مستقيم ، وحَدْوة فرس ، لكل منهما طرف باحث عن الشمال ، وطرف باحث عن الجنوب .

لا بد وأن كلا منا قد حاول يوما أن يلتقط أشياء بمغناطيس ، واكتشف أن المغناطيسات تجتذب أشياء ، ولا تؤثر في أشياء أخرى ! فاذا كان لديك خليط من دبابيس العلب وقطع القطن والصوف وأشرطة من المطاط ، وقربْتَ فوقها مغناطيسا ، فان المغناطيس يجتذب دبابيسَ الصلب ولا يؤثر في الأشياء الأخرى . ويمكنك بسرعة ان تفصِلَ خليطاً من براغي النحاس والصلب بمغناطيس ، لأن هذا المغناطيس سوف يتلقط براغي الصلب دون الأخرى ! واذا كان لديك مقياس حرارة (ثرمومتر) معلقاً خارجَ بيتك ، فانك تجد على الزئبق الذي بداخله قضيبا رفيعا من الصلب ، ويمكنك أن تجتذب الزئبق الى الاعلى والى الاسفل بمغناطيس ، لأن المغناطيس يجتذب قضيب الصلب .

نستخلصُ من هذا أن المغناطيسات تستطيع ان تؤثر باتجاهٍ شمالي جنوبي ، وان تجتذبَ الاشياء المصنوعة من الحديد والصلب ، ومادةً أو مادتين أخريين . وعلاوة على هذا ، فالمغناطيس يمكن أن يصنع مغناطيساً آخر . خُذ مسماراً كبيراً أو إبرة خياطة أو إبرة حياكة من الصلب . ثم مدّد عليها مغناطيساً أربعين مرة تقريبا باتجاه واحد– من رأسها الى طرفها الآخر مثلا . أبعد المغناطيسَ بعد كل مرة ، ثم ابدأ من جديد . فإذا انتهيتَ من ذلك ، وجدتَ ان الابرة تفعل ما يفعله المغناطيس . فما الذي حدث ؟

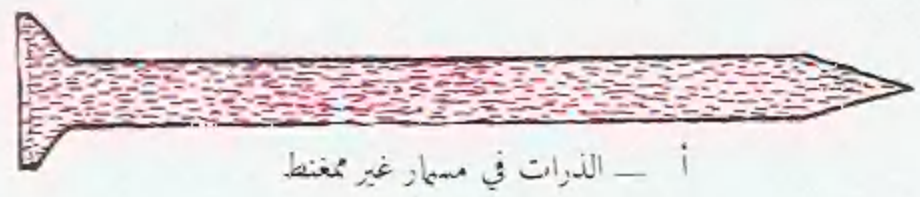
لقد استخدم الناسُ المغناطيساتِ ، وحتى لقد صنعوا البوصلة ، قبل ان يفهموا كيف اكتسبتِ المغناطيساتُ تلك القوى . اذ يرجح ان الصينيين كانوا يستخدمون المغناطيسَ قبل الفي سنة . وكلمة مغناطيس مأخوذة من كلمة مغنيسيا ، وهي اسم لمقاطعة كانت قديما في شمال شرقي اليونان ، وكان فيها حجر مغناطيس سموه حجر مغنيسيا . وفي القرن الماضي فقط ، أخذ العلماء يفهمون سر المغنطة ، أو اكتساب الأشياء للقوة المغناطيسية . واذا عُدنا الى مسمار الحديد نجده مكوناً من ملايين لا تُحصى



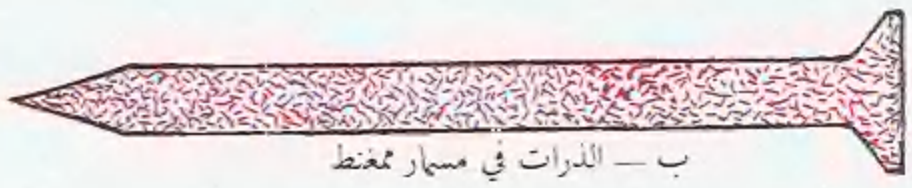
مسمار تجري مغنطته

من الذرات (انظر فصل ٥) . والحقيقة هي أن كل ذرة منها مغناطيس صغير جدا . لكن حيث انها مختلط بعضها ببعض دون نظام وتشير الى كل اتجاه ، فانها تفقد قوتها المغناطيسية . لكن عندما نُمرر عليها مرةً بعد مرة مغناطيسا ، فان الجزيئات تنتظم في صفوف مستقيمة ، وبهذا تتركز مغناطيسيتها باتجاه واحد ، وبالتالي يصير المسمار مغناطيسا .

ويمكننا أن نشاهد ما يحدث اذا ملأنا أنبوب اختبار زجاجي ببرادة حديد ، ومررنا على الأنبوب مغناطيسا . اذ نلاحظ خلال ذلك بأن الجزيئات البرادة تنتظم في صفوف بدلا من اختلاط بعضها ببعض . وعليه فان الجزيئات المغناطيسية في المغناطيس تتجه الى وجهة واحدة ، وبذلك تجعل له في أحد طرفيه قطبا قويا باحثا عن الشمال ، وقطبا باحثا عن الجنوب في الطرف الآخر . لكن اذا سخنت مغناطيسا تسخينا شديدا ، أوضربته بعنف ، فإنك قد تُفسِد نظامَ الجزيئات مرة أخرى ، وتُفقِدها قوتها المغناطيسية .

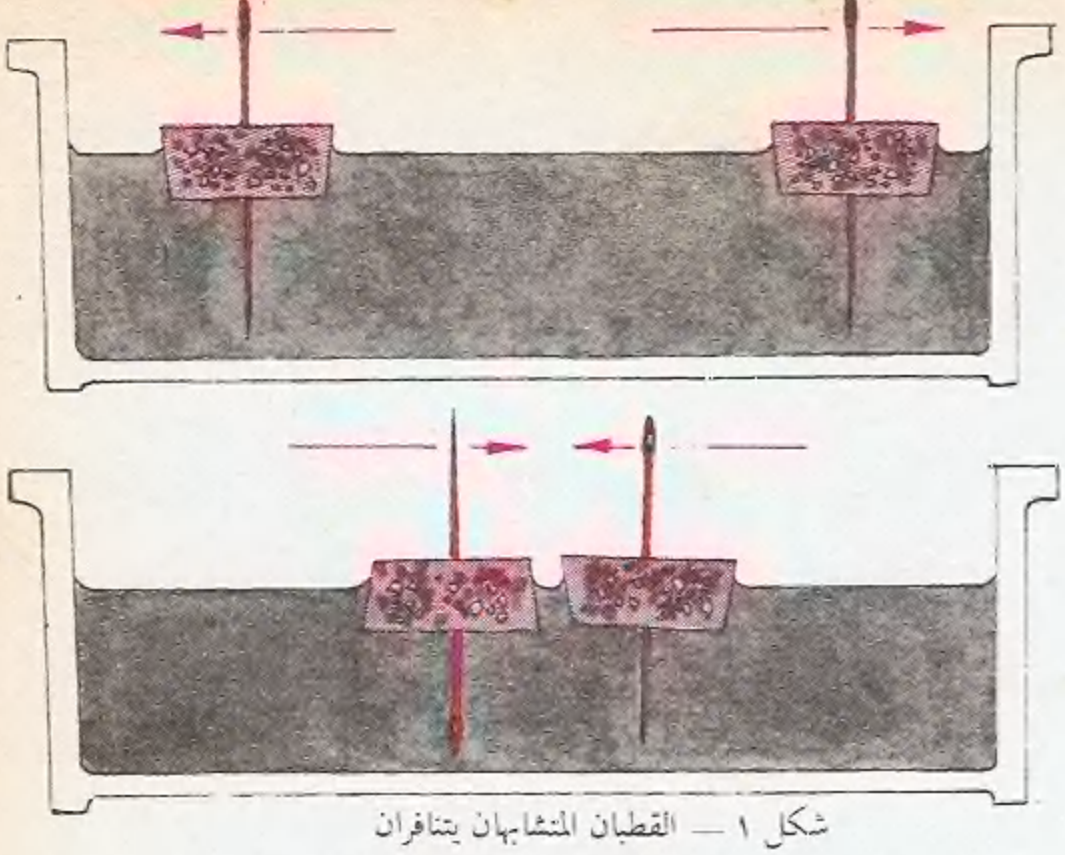


أ — الذرات في مسمار غير ممغنط



ب — الذرات في مسمار ممغنط

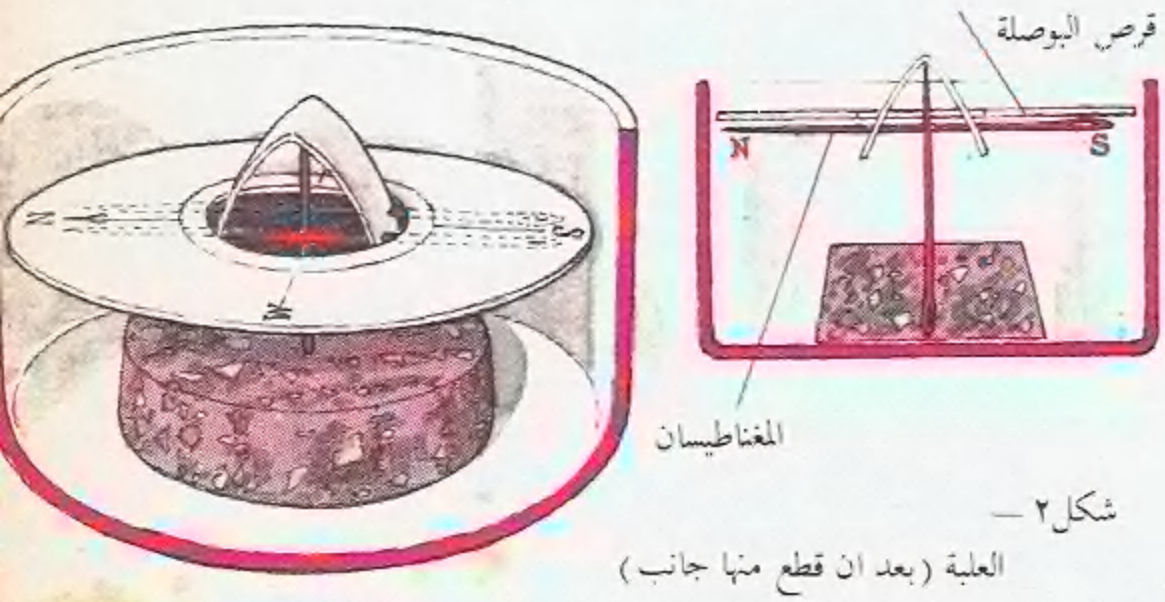
لقد أوضحنا في فصل ٢٨ كيف تجتذب الكهرباء الموجبة الكهرباء السالبة ، وتتنافر مع الموجبة . والشيء ذاته يحدث لقطبي المغناطيس : الباحث عن الشمال والباحث عن الجنوب . فالأول يتنافر مع نظيره في مغناطيس آخر ، وينجذب نحو القطب الآخر . ولنتحقق من هذا بأنفسنا ، قم بمغنطة إبرتين وذلك بتمليسهما من فتحتيهما الى الطرف الآخر . ثم خذ قطعتين من الفلين طول الواحدة منهما ١/٢ بوصة ، واغرس إبرة في كل منهما . ثم ألق القطعتين في وعاء به ماء . فاذا جعلت فتحتي الإبرتين ، وهما القطبان الشماليان ، فوق الماء ، وطرفيهما الآخرين ، وهما القطبان الجنوبيان ، تحت الماء ، فان القطعتين تبتعد إحداهما عن الأخرى ، لأن القطبين المتشابهين يتنافران



شكل ١ — القطبان المتشابهان يتنافران
القطبان المختلفان يتجاذبان

(شكل ١ أ) . لكن اذا جعلتَ فتحة إبرة منهما تحت الماء ، ورأسها فوقه ، فان القطعتين تتجاذبان ، وتقترب احداهما من الأخرى (شكل ١ ب) .

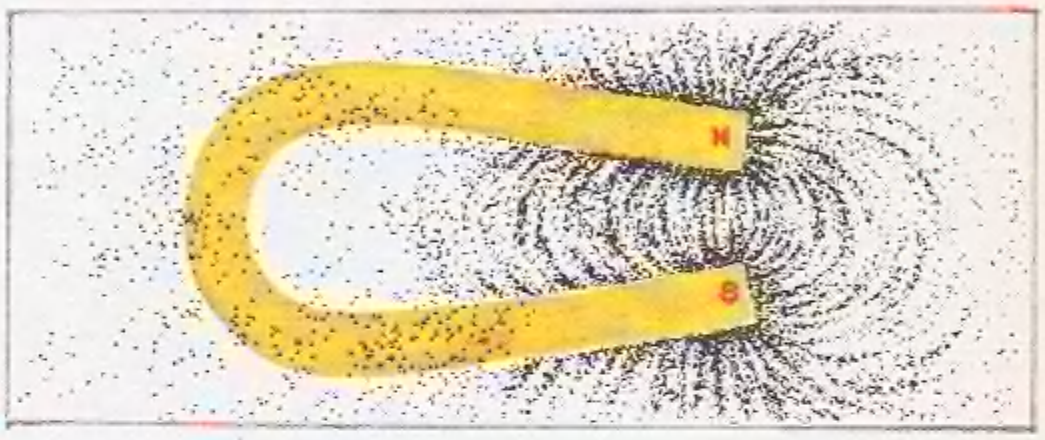
واذا أردتَ أن تصنعَ بوصلةَ جيب ، خُذْ علبة مستديرة يقرب طولها من بوصتين ، ولها غطاء اذا أمكن (شكل ٢) . ثم ثبِّت في منتصفها قطعة فلين في وسطها ابرة . واقطع بعد ذلك قرصاً من الكرتون أصغر قليلا من غطاء العلبة لتجعل منه قرصا للبوصلة . ثم أحْدِثْ في وسط القرص ثقبا مستديرا قطره نصف بوصة . واقطع بعد ذلك شريطاً من الكرتون طوله بوصة تقريبا وعريض بحيث يدخل طرفاه في الثقب . ثم مَغْنِط إبرتين ، واغرس كلا منهما في جانبي الشريط بحيث تكون فتحتاهما (الشمال) في جهة ، ورأساهما (الجنوب) في الجهة المقابلة . أدخل بعد ذلك طرفي الشريط في الثقبِ ، ثم ضع القرص بحيث يتوازن على الابرة . وعندما يتوقف القرص عن الأرجحة ، ضع علامتين عند اتجاهي البوصلة . وبهذا تكون قد صنعت بوصلة كاملة .



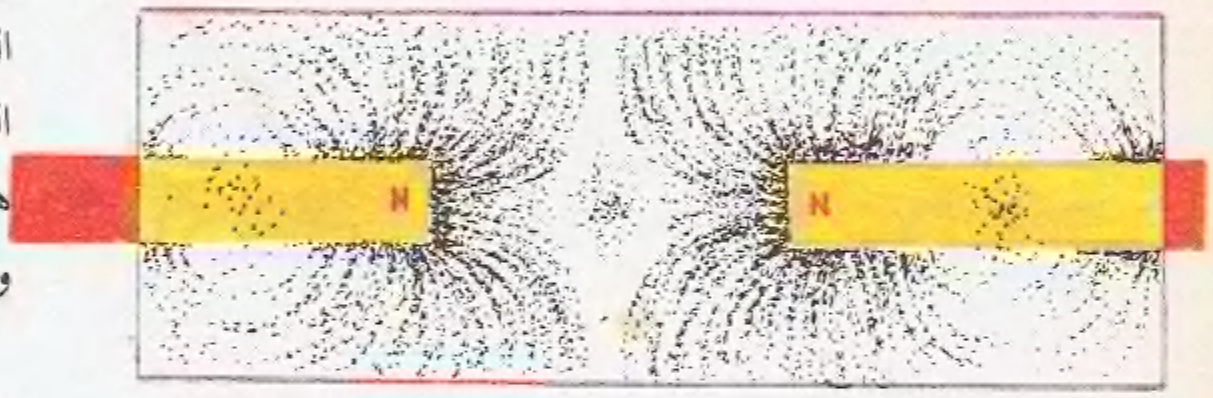

شكل ٢ —
العلبة (بعد ان قطع منها جانب)

# ٣١ - المِغْناطيسُ - القِسمُ الثاني

شكل ١ أ




شكل ١ ب




شكل ١ ج الحقول المغناطيسية

يستطيع المغناطيس أن يؤثر في مادة مغناطيسية مثل مسمار الحديد أو دبوس الصلب بدون أن يلمسها بالفعل. فمثلا عندما تقرب مغناطيسياً من دبوس، فقبل ان يتلامسا، يثب الدبوس نحو المغناطيس ويلتصق به. وكلما زادت قوةُ المغناطيس، كلما ازدادت المسافة التي يستطيع منها أن يجتذب الدبوس.

ومنذ أكثر من مئة عام قام الشاب مايكل فرادي، الذي صار فيما بعد عالماً مشهوراً، بتفسير هذه الظاهرة. وجد فرادي أن خطوطاً من القوة المغناطيسية، تصدر عن كل مغناطيس، وتؤثر في كل مادة مغناطيسية تقع في مجال تأثيرها. وسمي هذا المجال المجال المغناطيسي. وكلما ازدادت قوة المغناطيس كبر هذا المجال بالطبع.

ويمكننا أن نشاهد ما توصل اليه إذا أجرينا تجربة أخرى على بُرادة الحديد. خذ لوحاً رقيقاً من الخشب أو قطعة من الكرتون وضعها فوق كتابين أحدهما بعيد بعض الشيء عن الآخر. ضع بعد ذلك قطعة من الورق على اللوح، ورُشّ عليها بُرادة الحديد رشّاً خفيفا متساويا. ثم ضع مغناطيسا تحت اللوح. تلاحظ انك لا تكادُ تفعلُ هذا، حتى تتخذ البُرادة وضعا خاصاً بسبب اجتذاب المغناطيس لها. فأجزاء البُرادة تتحرك نحو أقرب قطب للمغناطيس، وتنتظم في صفوفٍ مستقيمة بين القطبين والخطوط المنحنية حولها. وهذه الخطوط من بُرادة الحديد هي التي دعاها فرادي «خطوط القوة المغناطيسية». وسواء أكنت تستخدم مغناطيسا على شكل حدوة الفرس (شكل ا ب) أم مغناطيسا على شكل قضيب مستقيم (شكل ١ أ) فإنك تلاحظ أن خطوط القوة المغناطيسية تجري من قطب الى آخر.

واذا أخذتَ مغناطيسين كل منهما يتألف من قضيب، ووضعتَ أحدهما في مقابل الآخر بحيث يتواجه قطباهما الشماليان، تجد أن بُرادة الحديد تبتعد عن الفجوة بين القضيبين (شكل ا ج) مُكَوِّنة شكلاً مختلفاً. وسبب هذا هو تنافر القطبين المتشابهين كما رأينا في تجربة قطعتي الفلين والابرتين في الفصل السابق.

وقد اعتقد فرادي بأن هناك علاقةً وثيقةً بين المغناطيس والكهرباء، وعرف أنه عندما يسري تيار كهربائي في سلك (انظر فصل ٢٣) فان خطوط القوة تنتشر الى خارجه وحوله وعَبْرَه، وتكوِّن مجالاً مغناطيسياً كما يحدث بالنسبة للمغناطيس العادي. ويمكننا أن نُثبت هذا بتجربة أخرى نستخدم فيها بُرادة الحديد وورقةً وقطعةً من الكرتون. أثقُب قطعةَ الكرتون والورقة كلا من وسطها، وأدخل سلكاً طويلاً بعض الشيء في الثقب، ثم صل طرفي

شكل ٢ — تيار كهربائي يولد مجالاً مغناطيسياً

مايكل فرادي يصنع أول مولد كهربائي

السلك ببطارية مصباح يد كهربائي . ثم رشَّ برادة الحديد كما فعلت سابقا على الورقة . فاذا نَقَرْتَ بعد ذلك الكرتونة بلطف فإنك ترى البُرادة تنتظم في دوائر حول السلك . وسبب هذا أن التيار الكهربائي يكوّن مجالاً مغناطيسيا (شكل ٢) . ويختلف الشكل هنا عن الشكل الناجم من مجال المغناطيس العادي ، ولكن المبدأ هو ذاته في الحالين . لكن اذا نقرتَ قطعةَ الكرتون مرة أخرى بعد أن تفصل السلك عن البطارية ، فإنك تجد أن البُرادة قد خرجت عن شكلها حول السلك . ومن هذا نرى أن السلك لا يعمل كمغناطيس إلا إذا سرى فيه التيار الكهربائي .

وبعد هذا اكتشف فرادي انه إذا كان التيار الكهربائي يستطيع توليد المغناطيسية ، فقد يستطيع المغناطيس أن يولد تياراً كهربائيا . ذلك أنه عندما قرب مغناطيساً قويا من سلك ثم أبعده ، سرى تيارٌ كهربائي في السلك للحظة وجيزة . كما انه لاحظ أنه اذا مرّر السلك بين قطبي المغناطيس ، سرى التيار به ، ولكن لو أبقى المغناطيس والسلك ساكنين ، فان التيار لا يسري . ومعنى هذا أنه لتوليد التيار ، لا بد من تغيير مكان السلك في المجال المغناطيسي .

وفي ضوء هذا صنع فرادي أوّلَ مولد كهربائي ، وهو آلة لتوليد التيار الكهربائي (شكل ٤) . صنعه عندما ثبّت لَفّة من سلك نحاس على قرص بين قطبي مغناطيس ضخم ، ثم أدار القرصَ بحيث كان موضع السلك يتغير باستمرار في المجال المغناطيسي . وسرى التيار الذي تولد من هذا الى حلقتين نحاسيتين تصلان السلك بلمبة . وعندما كان المولد يعمل ، كانت اللمبة مضاءة .

وتُبنى اليوم مولدات كهربائية ضخمة تعمل طبقاً لهذا المبدأ العام . فلا بد من توافر قوة تدير القرص . وغالبا ما يكون مصدر هذه القوة هو تدفق البخار . ونظر لأننا الآن نستخدم الكهرباء طيلة الوقت ، فقد نستغرب أن الناس قبل عام ١٨٣١ ، وهو العام الذي توصل فيه فرادي الى اكتشافه ، كانوا لا يعرفون كيف يستخدمون الكهرباء في الاضاءة والتدفئة وفي « موتورات » السيارات وغير ذلك .

مولدات ضخمة للبخار في محطة حديثة لتوليد الكهرباء

# ٣٢ - النور والظلام

الظلال في صباح مشمس

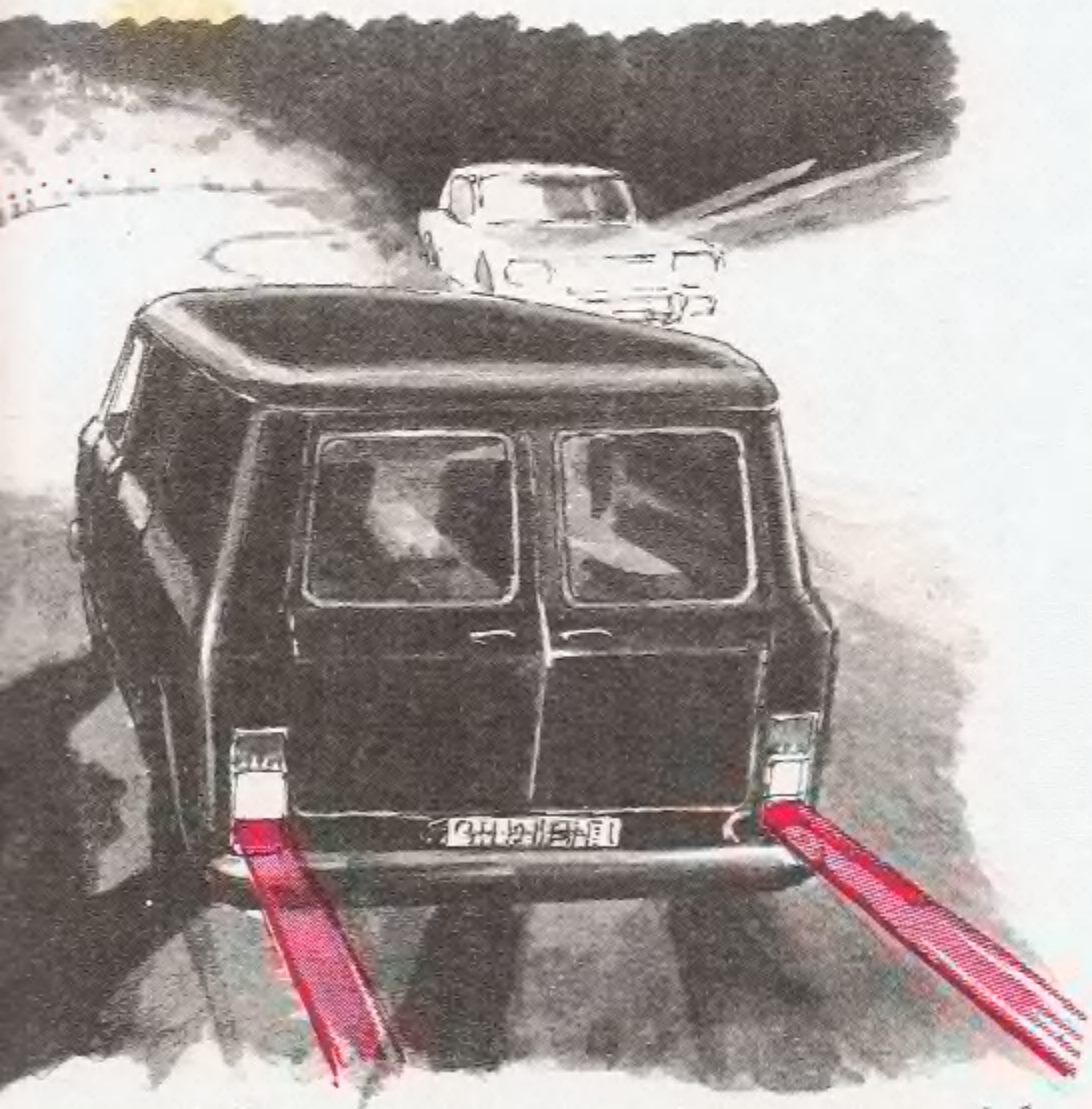
عندما تكون الشمس ساطعة ، يغمر النور كل شيء ، ويبدو كل شيء واضحاً . وعندما تغرب الشمس ، يسدل الظلام ستاره على كل شيء . وعندما تشعل نور الكهرباء ، فإن اللمبة تخلق «شمساً» اصطناعية تنبعث منها أشعة النور . وعندما تطفئها يحل الظلام .

إن النور الذي يأتي من الشمس يخترق الفضاء بخط مستقيم لكي يصل إلينا . وإذا راقبتَ أشعة الشمس وهي تخترق نافذتك يمكنك أن تلاحظ أنها تنفذ في خطوط مستقيمة . وأشعة النور الاصطناعي مستقيمة أيضاً ، ويمكننا أن نراها عندما نشعل مصباحاً قوياً خلال الليل في ممر من ممرات حديقة البيت ، أو عندما نواجه الأشعة المنبعثة من المصابيح الامامية في إحدى السيارات .

لكن عندما نقول في يوم مشمس ، أو ونحن في غرفة جيدة الاضاءة بأن النور في كل مكان ، فإن قولنا لا يكون دقيقاً ، وذلك بسبب وجود الظلال في الوقت ذاته . وكلما قوي النور ، قويت الظلال أيضاً . ويوجد الظل في مكان لا نور فيه أو فيه قليل من النور .

ويتكون الظل عندما تصطدم أشعةُ النور بأجسام غير شفافة كالبيوت والأشجار والأشخاص . إذ تنحرف الأشعة ، ويتكون ظلٌ بحجم الجسم غير الشفاف الذي يعترضها . وإذا سِرتَ في شارع تغمره أشعة الشمس ، فإن ظلَّك يسير معك ، على الجهة المقابلة لجهة الشمس . وعندما تنفذ أشعة الشمس من النافذة إلى الجدار أو السجادة ، فيمكنك أن تكوّن ظلالاً عليها بيدك . وفي بعض البلدان يعرض الناس دمى متحركة بإلقاء ظلال الدمى الحقيقية على الشاشة . ومن السهل أن نصنع هذا بدمى اليد . وأعظم الظلال جميعاً ظل قليل الحدوث ، لأنه يحدث عندما يعترض القمر نورَ الشمس فيحدث الكسوف ، وينشر القمر ظله على الأرض .

ومن الأمور المسلية ، أن نحاول رسم ظلال الأجسام والناس . وأول ما ستلاحظه أن الظل لا لون له . فإذا نظرت إلى ظِلَّي فتاتين ، واحدة تلبس ثوباً أحمر ، والأخرى ثوباً أبيض ، فإنك تجدهما قاتمين . ونلاحظ كذلك أن شكل الظل يتغير بتغير الوقت وجهة الشمس . ففي منتصف النهار — عندما تكون الشمس عمودية وأشعتها في غاية الاستقامة — تجد أن ظلك على الأرض

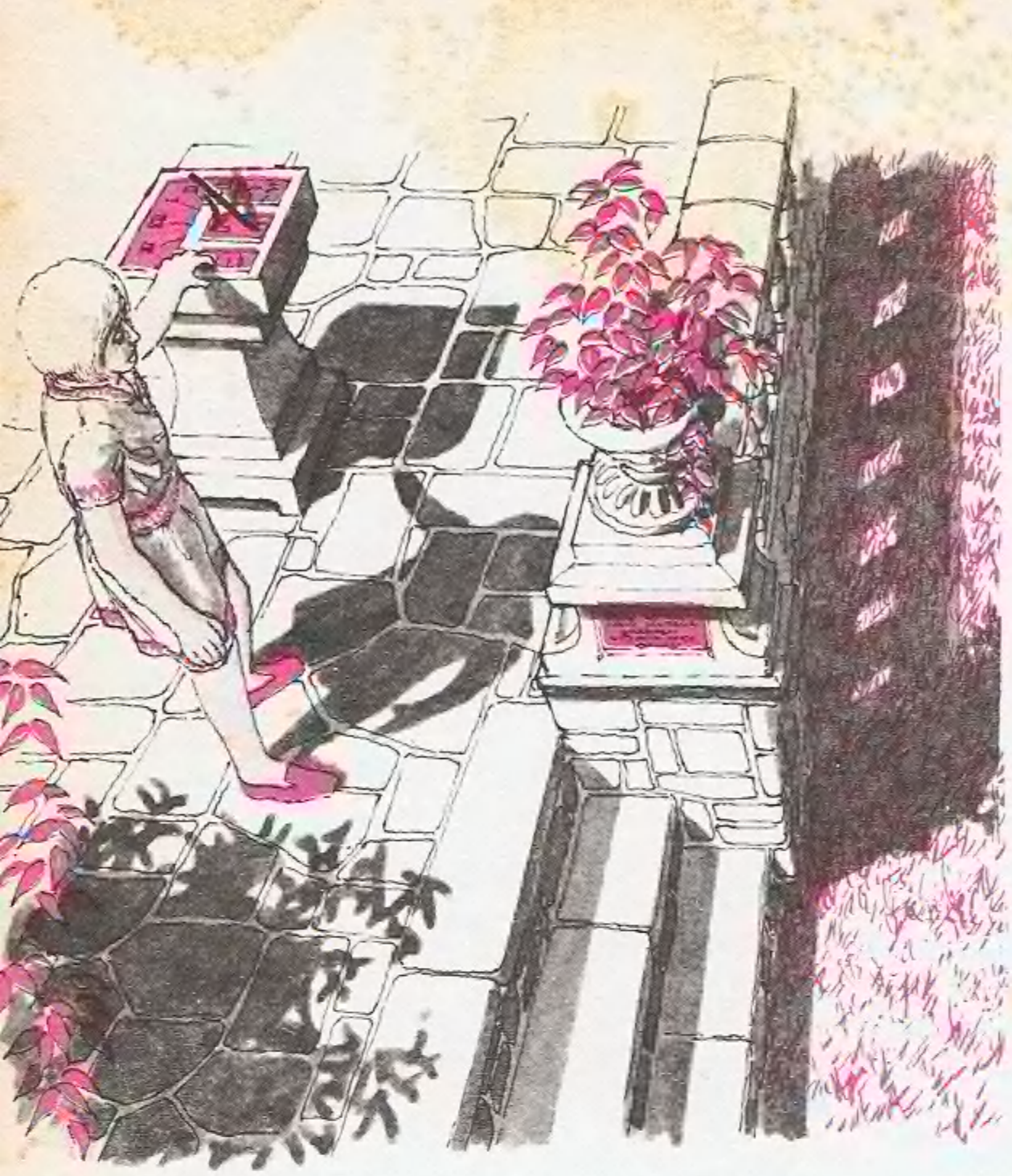


نظراً لأن اشعة الضوء تنبعث في خطوط مستقيمة . فإن مصابيح السيارة الامامية ومصباح اليد تضيء ما أمامها

يقصر كثيراً ويجعلك تبدو أقصر مما أنت ، ولكن عندما تميل الشمس وتميل أشعتها ، فإن ظلك يطول . وعندما يأتي المساء ، فإنك تبدو طويلاً جداً . ثم إن ظلك يقع في الصباح في جانب ، وبعد الظهر في جانب آخر . ويمكنك أن تجريَ تجربةً أخرى باستخدام مصباح يد كهربائي : أشعل المصباح وأدر نوره في الغرفة ، تلاحظ تأثير ذلك على الظلال .

ومنذ زمن بعيد أخذ الناس في استخدام حركة الظلال لصنع « ساعات الظلال » المعروفة بالمزاول أو الساعات الشمسيـــة . كـــانوا يرسمون دائرة كبيرة على حجر ، ويضعون عليها علامات تشير الى ساعات النهار ، ثم يقيمون قضيباً في وسطها يلقي ظلا على الحجر . فعندما تتحرك الشمس من الشرق إلى الغرب يدور ظل القضيب حول الدائرة ، مبيناً الساعة في أي وقت ننظر إليه .

والظلال قاتمة ، ولكنها ليست قاتمة تماماً . إذ يمكنك مثلاً أن ترى الرصيف والعشب من خلال الظل الذي يقع عليهما . وعندما تمر سحابة سوداء أمام الشمس ، فإن الدنيا لا تظلم تماماً في الحال . وسبب ذلك أن الشمس تغمر بأشعتها الهواء كما تغمر الأجسام على الأرض . والهواء كما نعلم يتكون من جزيئات دقيقة ( انظر فصل ١٤ ) تنشر الأشعة ، فتولد ضوء النهار . ولكن هذا الضوء أضعف من



ظلال الاجسام ذاتها بعد الظهر

ضوء الأشعة المباشرة . وعلى سطح القمر ، حيث لا يوجد هواء ينشر الضوء ، فإن نور الشمس يكون ساطعاً . والظلال قاتمة جدا . ولهذا فإن صور القمر أشدُّ سواداً وبياضاً من صور الأرض حيث تكون الظلال أقل حدة .

ونجد ان الأشياءَ ذات الألوان المختلفة تأخذ أو « تمتص » مقادير مختلفة من الضوء . فعندما يقع الضوء على ورقة بيضاء ، أو على ثلج ، أو جدران ذات ألوان صفراء باهتة ، فإنه ينتشر بحيث تبدو تلك الأشياء مضيئة . لكن عندما يقع الضوء على سُخام أو حبر أسود أو قار ، فإن هذه تمتص الضوء كله وتبدو قاتمة . وغالبية الأشياء تمتص بعض الضوء الذي يقع عليها وتنشر بعضه الآخر . وهكذا فإنها لا تبدو سوداء أو بيضاء وانما أكثر وضوحاً أو قُتوماً . ويعتمد وضوحها وقتومها على مقدار الضوء الذي تمتصه وتنشره .

# ٣٣ - النورُ واللّونُ

رأينا في الفصل السابق كيف أن الأشياء تبدو مضيئة أو قاتمة بمقدار ما تمتصه أو تنشره من نور الشمس . ونريد الآن أن نعرف مصدر جميع الألوان المختلفة التي نراها حولنا — كالأخضر والأحمر والأزرق والبني — وان نعرف ما الذي يجعلنا نرى شيئاً أرجواني اللون ، وآخر أصفر اللون ، وعينيك زرقاوين ، وعينَيْ صديقك سمراوين . ولقد بقي الناس حتى ظهور العالم العظيم ايزاك نيوتن ، قبل ما يقرب من ثلاثمئة سنة ، لا يعرفون الكثير عن الألوان . فقد توصل نيوتن الى بعض الاكتشافات العظيمة .

وقد بدأ نيوتن بدراسة قوس قزح الذي يمكنك أن تشاهده في السماء عندما تظهر الشمس فجأة بعد وقوع مطر غزير . واذا دقّقتَ النظر في قوس قزح عندما تراه مرة ثانية ، ستلاحظ أنه مكون من أشرطة ملونة ، الخارجي منها أحمر ، ثم يأتي البرتقالي ، فالأصفر ، فالأخضر ، فالأزرق ، وأخيراً البنفسجي . وتجد هذه الألوان دائماً مرتبة على هذا النحو . ثم لاحظ نيوتن أنه إذا نفذ شعاع الشمس من خلال النافذة ووقع على حافة مرآة مشطوبة فإنه يرتد وتظهر على الحائط أو الأرض حزمة من الألوان مرتبة مثل ألوان قوس قزح . فأدرك أن قوس قزح يتكون عندما يغمر ضوء الشمس نقاط المطر الدقيقة في الهواء . واستنتج انه لا بد وان قطرات المطر وحافة المرآة المشطوبة تُحدث الشيء ذاته بأشعة الشمس ، وأن كلا منهما تكسر الضوء إلى ألوانه المختلفة . واستنتج كذلك بأنه لا بد وأن الضوء الذي نصفه بـ«الأبيض» والذي يبدو لنا بلا لون ، يتكون في الواقع من كل هذه الألوان !

ثم أجرى نيوتن تجربة للتحقق من ذلك . فوجد قطعة الزجاج المثلثة التي تعرف بالمنشور تكسر النور مثلما تكسره حافة المرآة المشطوبة . ثم أخذ منشورين ووضع أحدهما بعكس الآخر ، ثم وجه شعاعا من الضوء عليهما.فوجد أن أحدهما يكسر الضوء ، بينما يرده الآخر بلونه الأبيض . عندئذ أدرك أن الضوء يتكون من جميع ألوان قوس قزح . غير أن هذه الألوان حين تجتمع معاً يعطل كل منها الآخر ، فلا نرى سوى ضوء «أبيض» أو ضوء لا لون له .

ويمكنك أن تشاهد هذا إذا أجريت التجربة التالية : خذ مخروطاً خشبياً غير ملون في وسطه قضيب رفيع (بلبل) ، وادهنه بألوان قوس قزح ، أو باللون الأحمر

تختفي الالوان عندما تدير المخروط (البلبل)

والأصفر والأخضر والأزرق . فإذا أدرتَ المخروطَ بسرعة تكفي لاختلاط الألوان ، فإنك لا تراها ، بل تشاهد بدلاً منها لونا أبيض رمادياً غريباً عليك ! فإذا لم تحصل على مخروط،فمن السهل عليك ان تحصل على قرص من الكرتون قطره ٣ بوصات تقريباً وأن تدهنه بالألوان . أحدث بعد ذلك في وسطه ثقباً ، وأدخل في الثقب قلم رصاص . ثم أدره على طرف القلم المدبب .

خذ الآن ورقة بيضاء . أنت تعلم أنها تعكس وتنشر جميع الضوء الذي يقع عليها فتبدو بيضاء . فإذا دهنتَ الورقة باللون الأحمر فإنها تبقي جميع الضوء أو تمتصه ما لم يكن الضوء أحمر . فهي تعكس الأحمر او تنشره . ولهذا نراها حمراء . ويحدث الشيء ذاته لو أنك دهنت الورقة باللون الأزرق أو البنفسجي أو البرتقالي . فالأزرق يمتص

عندما تسلط النور الأصفر على الأخضر ينقلب الى أزرق

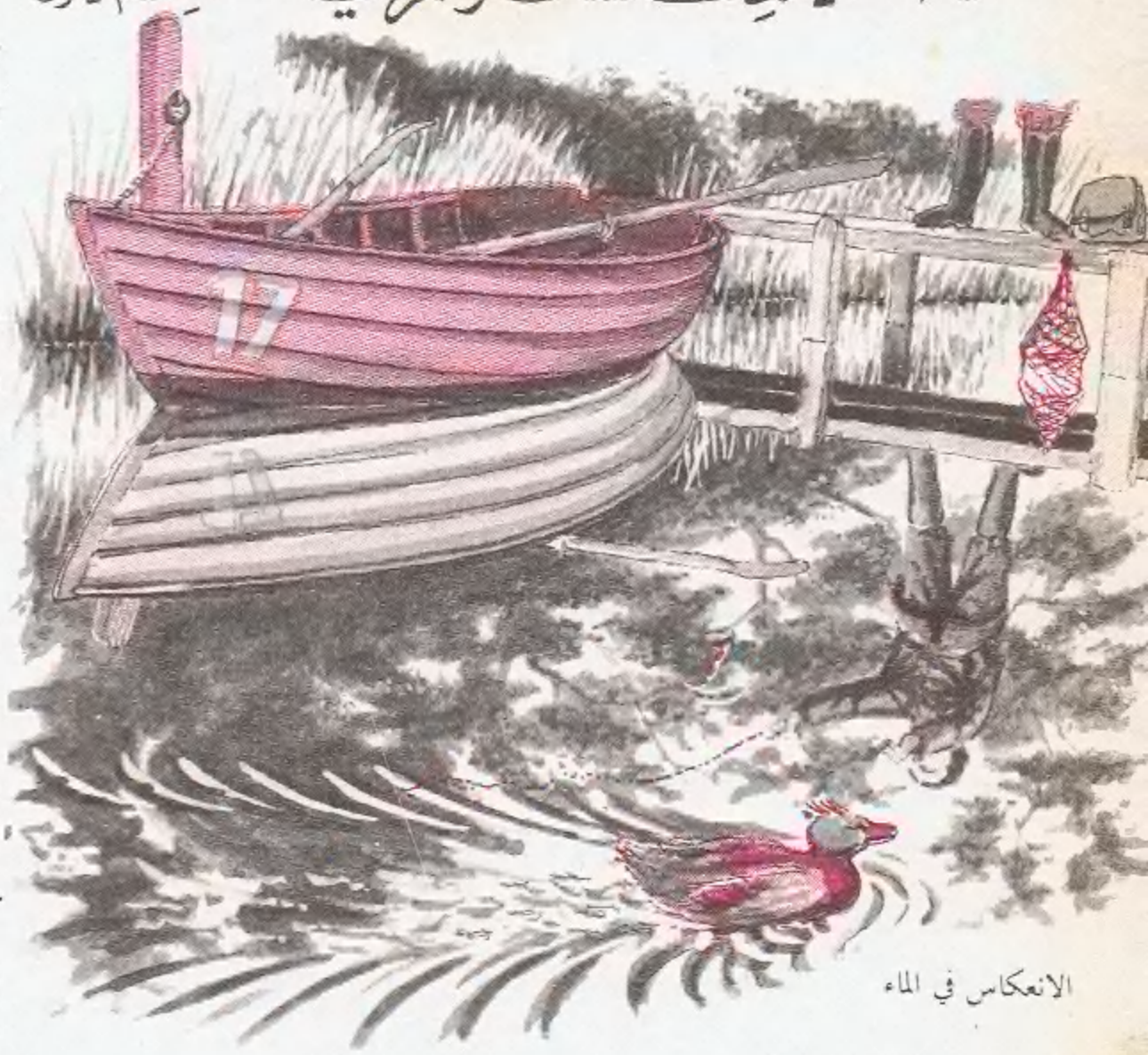
جميع الألوان فيما عدا الأزرق الذي تعكسه إلى أعيننا وهكذا . ولو دهنتَ ورقةً باللون الأسود ، فإنها تمتص جميع الألوان وتبقى سوداء .

ويمكنك أن تتوصل الى نتائج طريفة إذا سلطتَ أضواء ملونة على أشياء مختلفة الألوان . فلو سلطت ضوء أحمر على ورقة بيضاء ، فإن الورقة ستبدو حمراء بالرغم من بياضها . وإذا خرجت ليلاً الى شارع مضاء بأنوار الصوديوم الصفراء،فإن لون يديك سيبدو رماديا لا أحمر . وإذا كنت تلبس «جاكتة» حمراء ، فإنها ستبدو رمادية أيضاً . والسبب في هذا هو أن نور الصوديوم الأصفر لا يشتمل على لون أحمر ولهذا فإنه لا يعكس هذا اللون إلى عينيك . وإذا سلطتَ لوناً بنفسجياً على شال أحمر ، فإن الشال سيبدو أزرق . والنورُ الأحمر الذي يسلَّط على ثوب أخضر ، يجعل الثوب أصفر . ومن الطريف أن تجري تجارب على الانوار الملونةَ وتدون مشاهداتك (أنظر فصل ٣٩) .

وبعض الأشخاص لا يستطيعون ان يفرقوا بين الألوان كما يفعل الناس في العادة . وغالبية المصابين بعمى الألوان لا يميزون الأحمر من الاخضر . ويحدث هذا للرجال أكثر مما يحدث للنساء . والكلاب والقطط وغالبية الثدييات لا تميز الألوان وتعيش في عالم رمادي اللون . لكن الطيور والزواحف والسمك وكثيراً من الحشرات تميز الألوان جيداً .

سيارة حمراء تظهر رمادية تحت نور الشارع الأصفر

# ٣٤ - الانعكاسات والمرايا - القسم الأول




الانعكاس في الماء

من الأمور المسلية أن نلاحظ كم من الأشياء حولنا تعمل عمل المرايا فنرى صورنا فيها ، ولا بد وأنه قيل لك يوماً أن تُلَمِّعَ حذاءكَ بحيثُ ترى صورتك فيه . ويمكنك أيضاً أن ترى وجهك على سطحِ دلو أملس للفحم ، أو غلايةٍ من الألمنيوم . والحقيقة أن الناس اكتشفوا فيما مضى كيف يصنعون المرايا الزجاجية ، وأن النساء كن قديماً يستعملن مرايا من النحاس أو البرونز أو الذهب أو الفضة . وإذا نظرتَ إلى سطح بركة ماء راكدة فإنك ترى نفسك منعكساً فيها ، وكذلك الأشجار والعشب على طرف البركة . وفي هذه الصور لا نرى شكل ما ينعكس فيها فقط ، بل وألوانه .

وتلاحظ أن جميع السطوح التي تعمل عمل المرايا في غاية الملاسة . فإذا تموج الماء فإنه لا يعكس الأشجار ؛ وإذا صدأ دلو الفحم أو تلطخ بشيء فإنه لا يعكس شيئاً حتى تنظفه تماماً . والزجاج — على وجه الخصوص — صالح لِصنع المرايا لأنه في منتهى الملاسة . والنافذة بالطبع تُصنعِ من الزجاج . وعندما تنظر إليها ترى من خلالها البيوتَ أو الأشجارَ وأيَّ شيء على الجانب الاخر .

ولكنك لو أخذتَ قطعةً من الكرتون الأسمر القاتم أو الأسود ، أو ورقة سميكة معتمة (غير شفافة) ووضعتَها خلف زجاج النافذة ، فإن النافذة من الداخل تصير مرآةً في الحال ، وتستطيع أن ترى نفسك فيها بوضوح يكفي لمعرفة ما إذا كان شعرك مصففاً !

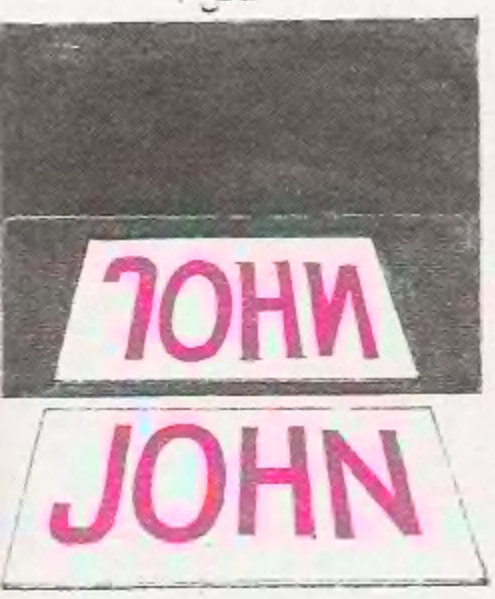
وعليه فالمرآة يجب ان تكون ملساءَ جداً ومعتمة . وأفضل المرايا تُصنع من صنف جيد جداً من الزجاج . ويكسى الزجاجُ من الخلف بطبقة معدنية رقيقة لامعة غالباً ما تكون من الفضة ، ثم تُغطى هذه الطبقة بمادة مثل الورنيش لحفظها .

ما الذي نراه عندما ننظر في المرآة ؟ عندما يقف أمامك شخص وتصافحه ، فإن يَدَكَ اليُمنى تقاطع يده اليمنى ، وذلك لأن ذراعك الأيمن يقابل ذراعه الأيسر . والآن حاول أن تصافحَ صورتكَ في المرآة (شكل ١) . إنك تجد أن اليد اليمنى للصورة تحتل مكان اليسرى . وإذا كتبت اسماً مثل «جون» على بطاقة بحروف كبيرة ، ووضعتَ البطاقة أمام المرآة ، فإن ما تراه في المرآة (شكل ٢) هو ما ندعوه بكتابة المرآة (معكوسة) . ولو كتبتَ اسمك بحبر سائل ونشَّفته في الحال ، فإنك ترى على النشافة ما رأيته في المرآة . (ولو أنك وضعت النشافة أمام المرآة فإن كلمة «جون» تظهر في وضعها الصحيح) . ترى ماذا يحدث ويجعل الصورة معكوسة في المرآة ؟

إذا أردتَ قراءةَ ما تبقى من هذا الفصل ، فعليك أن تُحضر مرآةً صغيرة كتلك التي تحملها السيدة في حقيبة

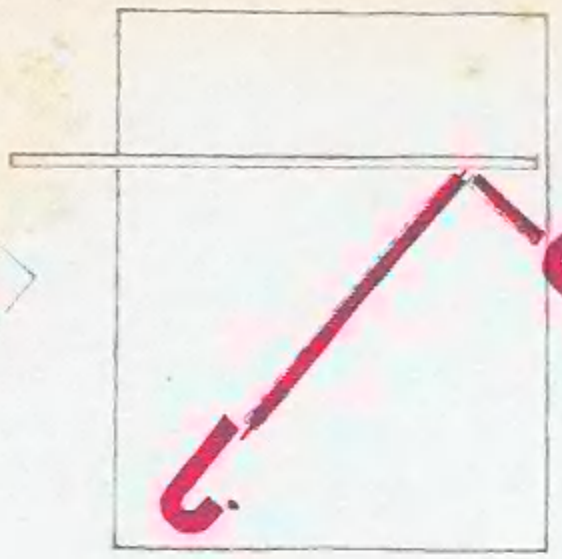
شكل ١

شكل ٢

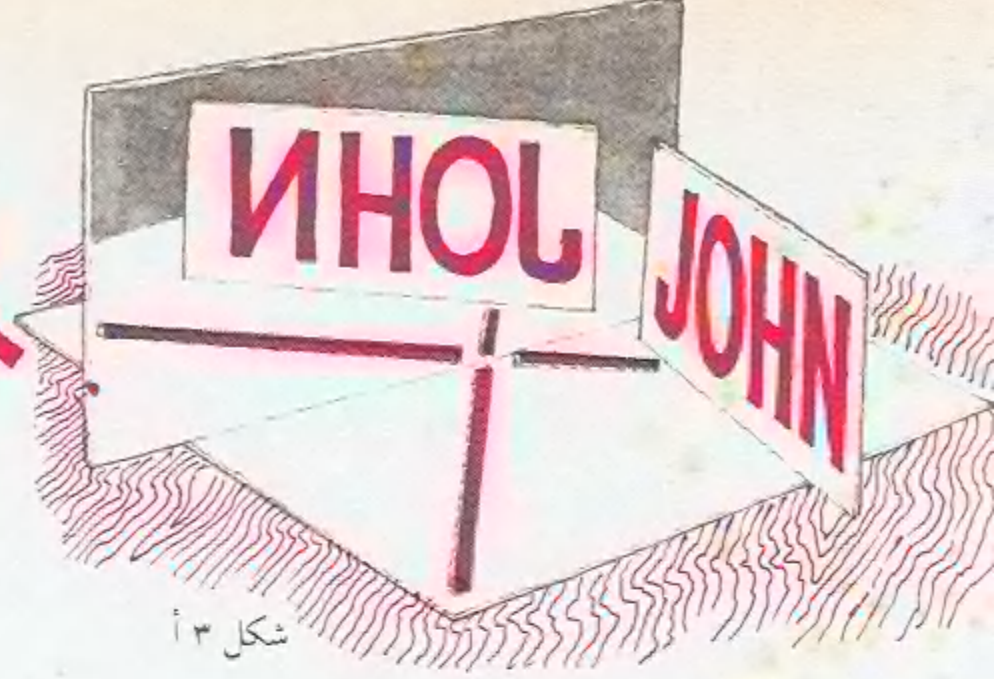



انعكاسات في المرآة

٣ ج



٣ ب



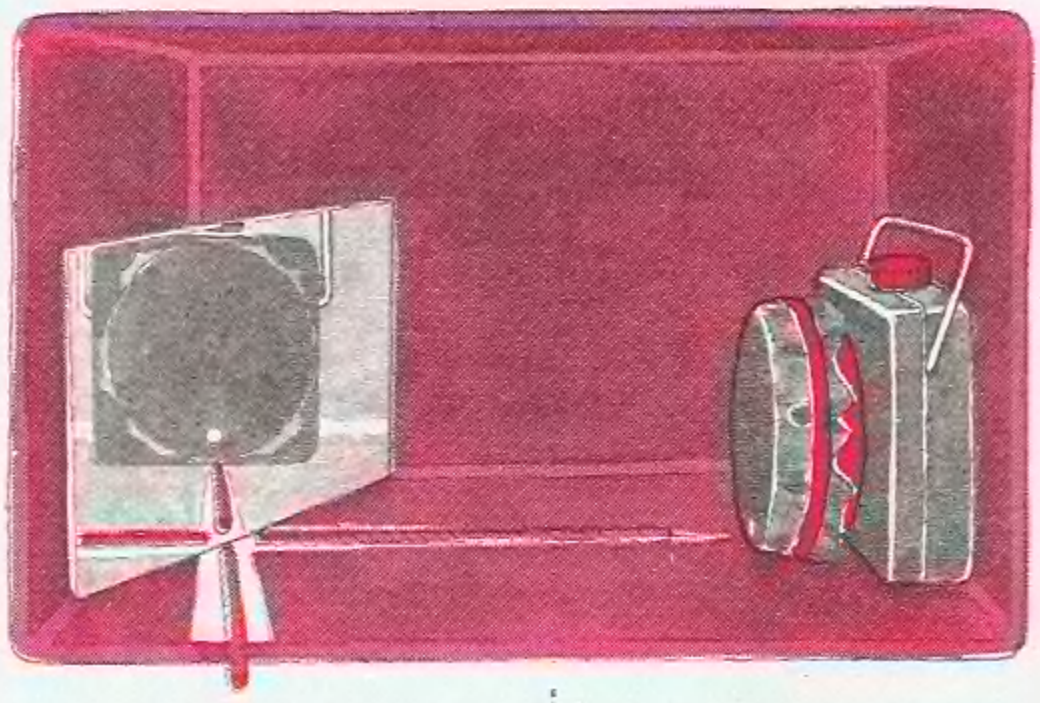

شكل ٣ أ

يدها ، ومصباح يد أو دراجة إذا أمكن .

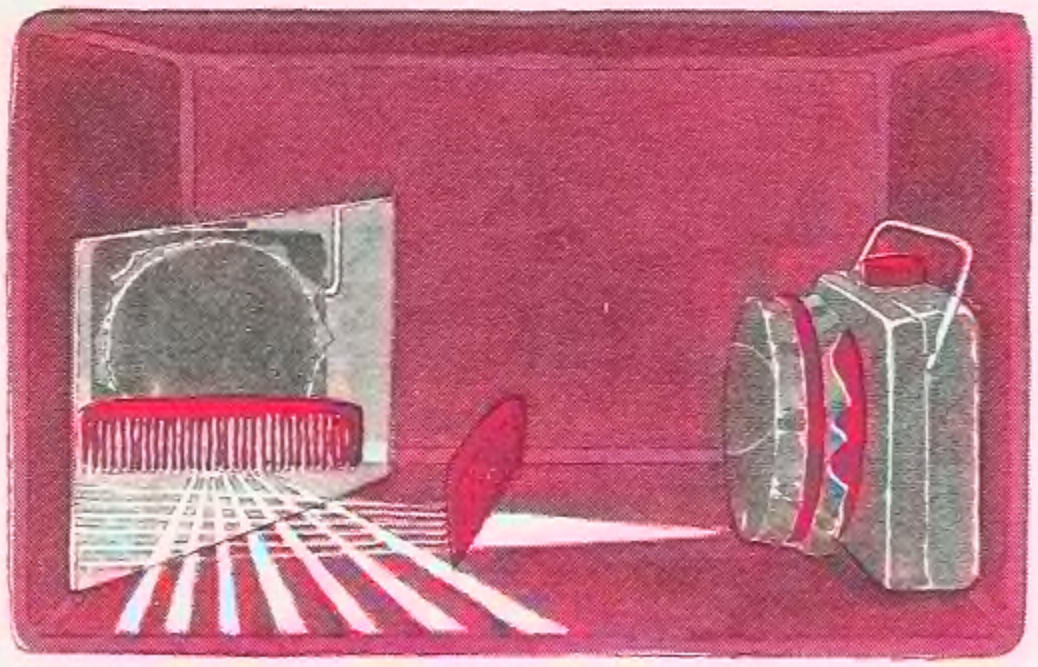
أوقف مرآةً على ورقة بيضاء ، ثم ضع البطاقة التي تحمل اسم «جون» بحيث ينعكس الاسم في المرآة (شكل ٣أ) . ثم ارسم خطا على الورقة يحدد موضع المرآة .. أحضر بعد ذلك قصبةً رفيعةً (كالقصبة التي تمص بها السوائل) واجعل أحد طرفيها في أسفل حرف ل في المرآة ، والطرف الآخر أمام عينك . ثم خذ قصبة أخرى واجعل طرفها في نقطة انعكاس القصبة الأولى في المرآة والطرف الآخر في أسفل حرف ل على البطاقة (شكل ٣ ب) . ارسم مكان القصبتين خطين على الورقة . فإذا أبعدت المرآة والبطاقة ، تجد لديك ما تراه في شكل ٣ج . فإن الضوء الذي يسقط من الحرف J على المرآة وينعكس بزاوية وهو يحمل الصورة المقلوبة للحرف J أي J . فإذا رسمتَ خطوطاً لجميع الحروف ، فإنك تحصل على الخطوط التي تراها في شكل ٣ج ذاته .

ويمكنك أن تجريَ التجربةَ ذاتها بصندوق كرتون عليه خطوط من الورق الابيض ، وبمرآة ومصباح يد . أقم المرآة منحرفة في أحد أركان الصندوق ، وثبت ورقة سمراء أو سوداء بشريط مطاط على فوهة المصباح . ثم أحدث ثقباً صغيراً في الورقة يسمح بخروج شعاع من الضوء . سلط بعد ذلك الشعاع على أسفل المرآة . ثم مد قصبة ماصة من المرآة باتجاه الشعاع ، وأخرى على طول انعكاسها في المرآة . والآن تحصل على زاوية سقوط الشعاع على المرآة وزاوية الانعكاس (شكل ٤) . لاحظ ما الذي يحدث لزاوية الانعكاس اذا اوقفت المرآة مباشرةً أمام المصباح . فإذا أقمتَ مشطاً بين المصباح وبين المرآة بحيث تتخلل أسنان المشط الأشعة ، ثم أدرت المرآة ، فسوف تلاحظ بوضوح أن زاوية الانعكاس تتغير بتغير زاوية سقوط الأشعة على المرآة .

ويمكنك أن ترى القُرن المستديرة بالمرايا . فإذا نَصَبْتَ مرآةً بزاوية أمام باب إحدى الغرف ، فإن الجالس في أقصى قرنة فيها يمكنه أن يرى في المرآة القادمَ إلى الغرفة قبل أن يدخلها بالفعل .

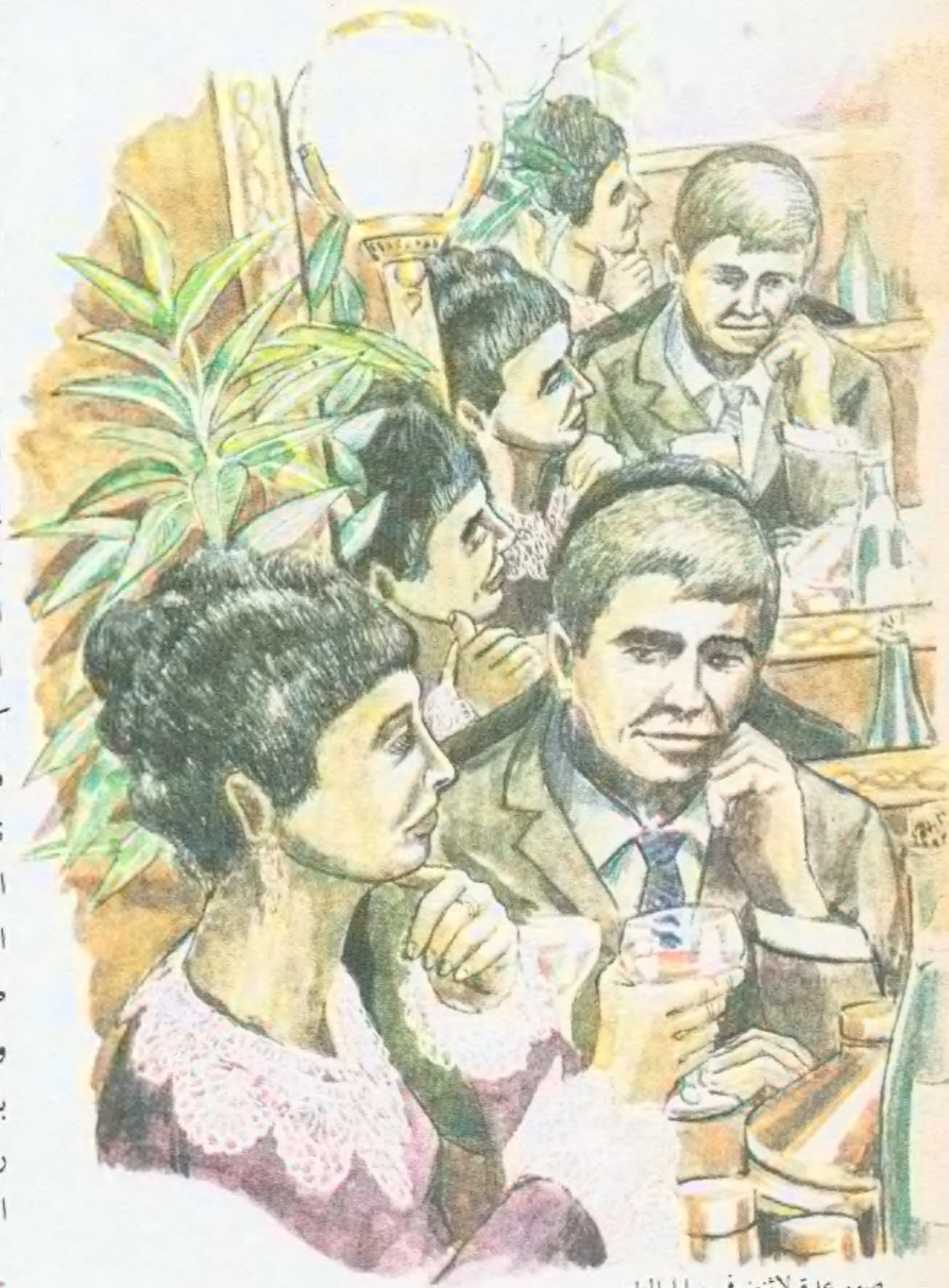


٤ أ



٤ ب

# ٣٥ - الانعكاسات والمرايا - القسم الثاني



صور عدة لاثنين في مرايا المطعم

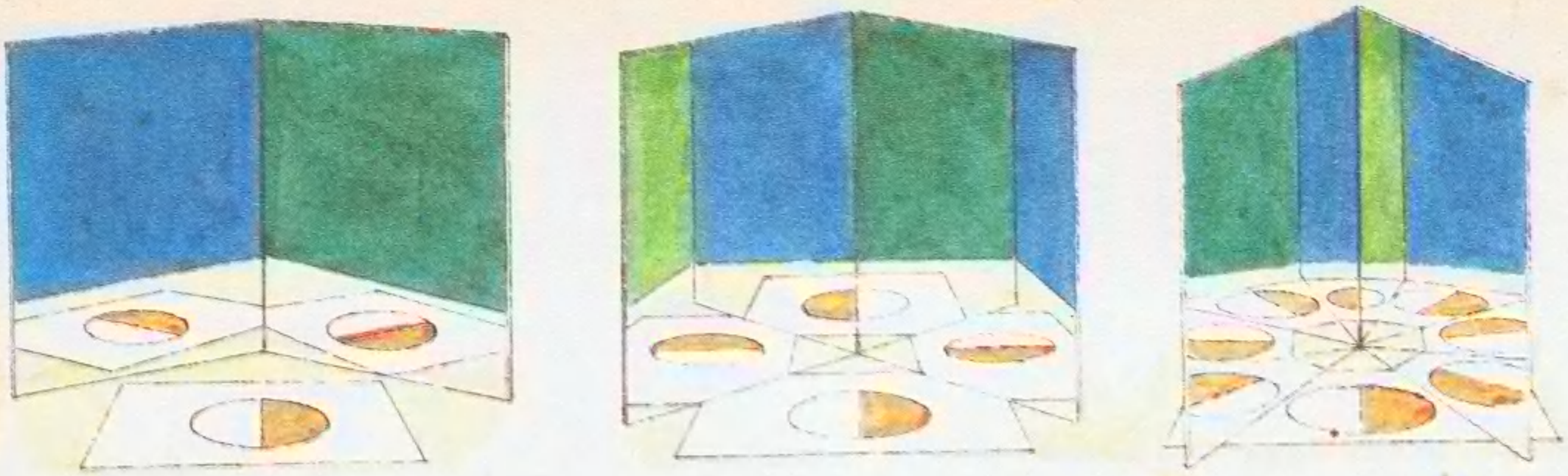
لا يمكن لأحد أن يرى الجزء الخلفي من رقبته مهما لوى رأسه . ولا يمكنه كذلك أن يراه في المرآة . ولكننا جميعاً نعلم أنك إذا وقفت أمام مرآة كبيرة ، وأتيتَ بمرآة يد صغيرة ، وجعلتها في وضع يمكنها من أن تعكس صورتك في المرآة الكبيرة ، فإنك تستطيع عندئذ بسهولة أن ترى ما إذا كانت ياقة قميصك من الخلف صحيحة أم لا .

معنا الآن مرآتان . وسوف نحتاج الى مرآة يد ثانية لإجراء تجاربنا .

إذا كانت الكتابة المعكوسة على ورقة النشاف (كتابة المرآة) لا تزال لديك ، فإنك تستطيع أن تقرأها في المرآة . فالمرآة تعيد كتابة المرآة (المعكوسة) إلى وضعها العادي ، كما تحول الكتابة العادية إلى كتابة مرآة . والآن خذ البطاقة التي تحمل اسم «جون» واحملها بحيث يظهر الاسم في المرآة الاولى . ثم حرك المرآة الثانية بحيث ترى فيها الصورة التي في الأولى . وسوف ترى ان اسم «جون» المعكوس في الأولى صحيح في الثانية .

وباستخدام مرآتين تعكس احداهما ما في الثانية ، يمكننا أن نصنع بَرِسكوباً . والبرسكوب جهاز يرينا الأشياء التي تجري خلف حاجز مرتفع . فرجال الغواصات مثلا ، يستخدمون البَرِسكوب لرؤية ما يجري على سطح الماء عندما تكون الغواصة في الماء . كما أن الجنود وهم في الخنادق يستخدمونه لرؤية ما يجري خارج الخنادق بدون ان يخرجوا منها . ونحتاج لصنع البرسكوب إلى صندوق كرتون وإلى مرآتين أعرض قليلاً من الصندوق . نفتح فتحتين في أعلى الصندوق بزاوية ٤٥° ومثلها في أسفله . ثم نثبت إحدى المرآتين في الأعلى بين الفتحتين والأخرى في الأسفل . ثم نفتح فتحة مستطيلة في أحد جانبي الصندوق ، ومثلها في الجانب الآخر ، وذلك لاظهار صورة في العليا ورؤية انعكاسها في السفلى (شكل ١) . وعندما نتأكد من أن المرآتين في أفضل وضع ، نثبتهما بشريط مصمغ . وكلما زاد ارتفاع الصندوق كلما تمكنا من رؤية الأشياء الأكثر ارتفاعاً . وفي الغواصات يجري استخدام أنابيب من المطاط .

شكل ١ — برسكوب صنع في البيت



شكل ٢

ويمكننا ان نجري حيلتين مسليتين باستخدام المرايا . خذ مرآتين وضعهما على ورقة بحيث تكوّن إحداهما زاوية قائمة مع الأخرى . ويمكنك أن تربطهما ربطاً غير محكم بشريط مصمغ (شكل ٢) . ثم ارسم دائرة على الورقة بين المرآتين . وفي الحال تشاهد الدائرة معكوسة في كل منهما . ثم قرب إحدى المرآتين ببطء من الأخرى ، ولاحظ كيف تتزايد صور الدائرتين المعكوستين فيهما . وليس من الصعب عليك أن تظهر اثنتي عشرة صورة فيهما . وإذا استخدمت شيئاً صغير الحجم بدلاً من الدائرة كلعبة صغيرة على شكل طائر ، فإنك تحصل على نتيجة مدهشة . ولو ظلّلْتَ نصفَ الدائرة ، فإنه يمكنك أن ترى عدد الصور المعكوسة وعدد الصور غير المعكوسة .

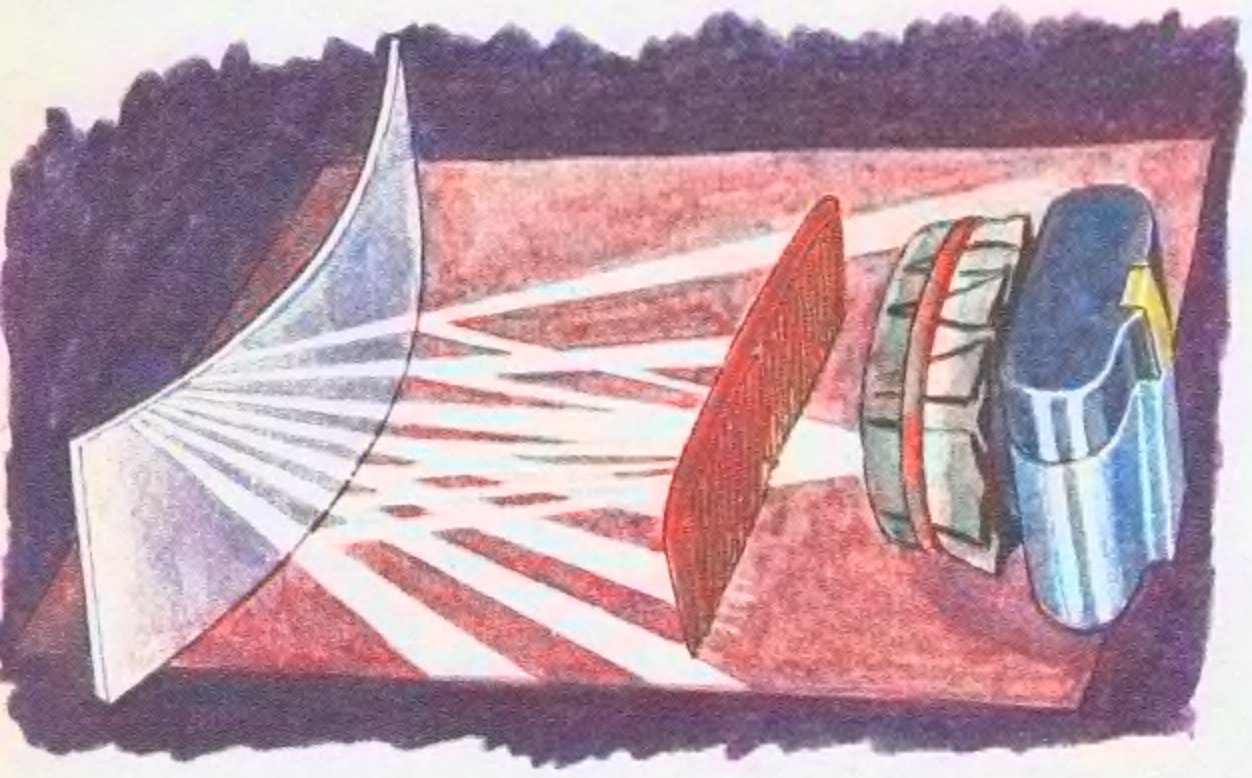
وإذا وضعت مرآتين بحيث تكون إحداهما مواجهةً للأخرى ، ووضعتَ الشيء الصغير بينهما ، فإنك ترى صورته تتكرر لأن كلا من المرآتين تعكس ما في الأخرى . وأحياناً تُستخدم حيلة المرايا في المطاعم . فإذا دخلت أحدها ، شاهدت عدة صور لك تتقدم لاستقبالك . ويمكن ترتيب المرايا على هذا النحو وغيره لتعكس الشموع والأنوار الاصطناعية بأشكال جذابة ، وذلك عندما تعكس كل مرآة ما في الأخرى .

إن باطن الملعقة مرآة مقعرة جيدة

وفي مدن الملاهي قاعات للمرايا حيث تعكس المرايا المسطحة صوراً مشوهة للناس . لكن لو نظرنا الى صورنا في ملعقة فضة شديدة اللمعان ، فإننا ندرك ما يحدث في المرايا المقوسة . وتختلف صورنا التي تظهر على ظهر الملعقة عن صورنا التي تظهر داخلها إذا كانت الملعقة مستديرة . فظهرها كالمرآة المحدبة ، وباطنها كالمرآة المقعرة .

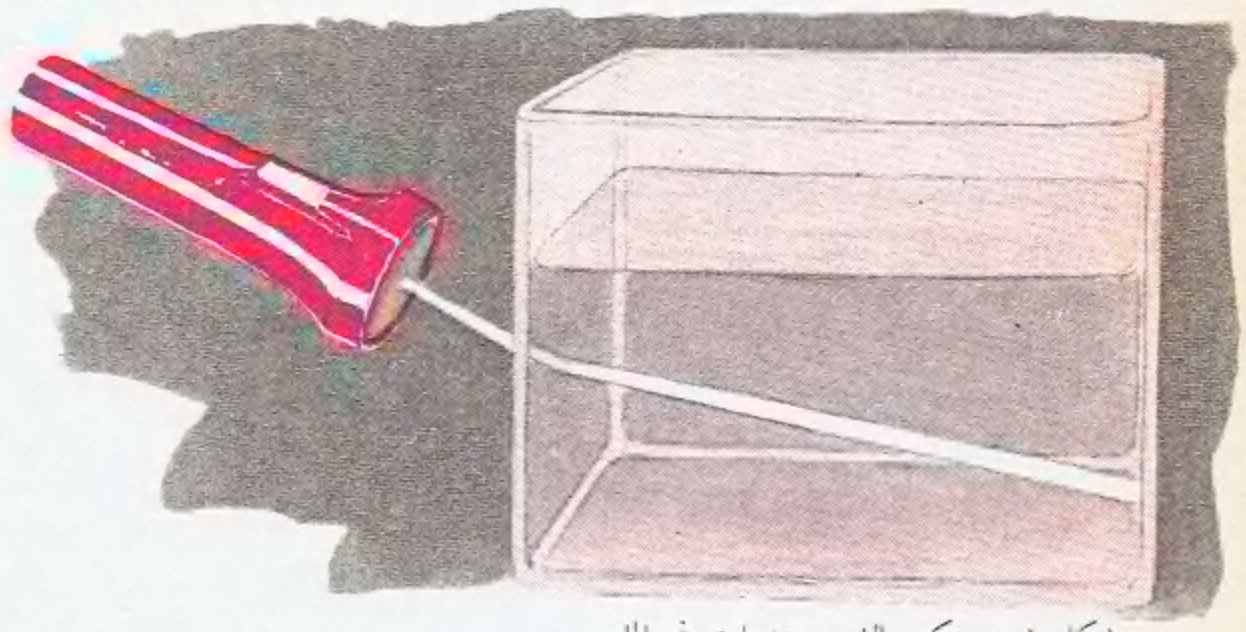
وإذا كررتَ التجربة التي اجريناها في فصل ٣٤ بالصندوق والمرآة والمصباح والمشط ، لكن على ان تستعمل علبة لماعة من الصفيح أو حلقةً من الفضة بدلاً من المرآة ، فسوف تلاحظ ما يحدث عندما تضرب أشعةُ النور سطحاً عاكساً محدباً بدلاً من آخر مسطح . إذ يمكنك أن ترى كيف تنتشر الأشعة إلى الخارج . وهكذا فإن الصورة عليه تظهر عريضة (شكل ٣) . ويحدث العكس إذا كان السطح مقعراً وتظهر الصورة فيه أطول وأقلَّ عرضاً .

والمرآة التي يرى فيها سائق السيارة صورة لما وراءه ، تكونُ في الغالب مُحدبة بعضَ الشيء ، وذلك لكي تعطيه صورة لأكبر مساحة ممكنة .



شكل ٣ — الضوء ينعكس من سطح محدب

# ٣٦ - الانكسار والمنظار المكبّر



شكل ١ — ينكسر الضوء عندما يمر في الماء

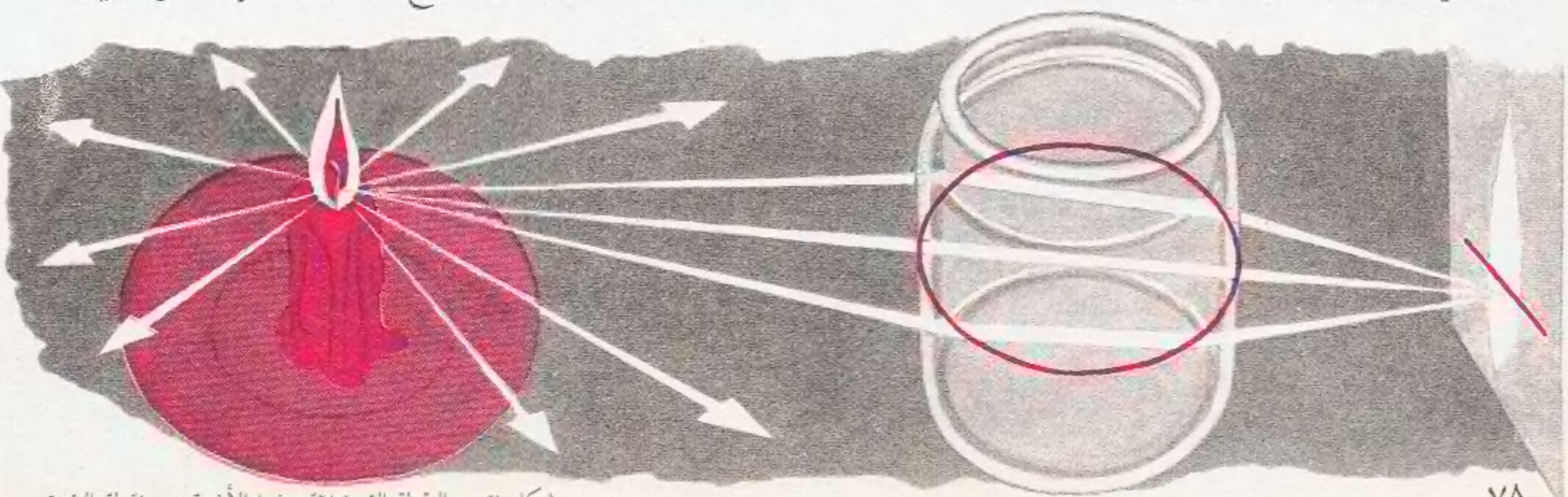
قف أمام حوض ماء ، وابتعد عنه بحيث لا ترى سدادته القابعةَ وراء جانبه . واطلب بعد ذلك من شخص أن يفتح لك حنفية الماء . فعندما يشرف الحوضُ على الامتلاء ، تظهر لك السدادة بالرغم من أنك لم تتحرك من مكانك . ضع بعد ذلك قطعة معدنية في قعر اناء زجاجي مستطيل وابتعد عنه . فإذا نظرت الى جانب من جوانبه فانك ترى القطعة . فاذا طلبتَ من شخص أن يملأ الاناءَ بالماء ، فانه عندما يقتربُ من الامتلاء فسوف ترى فيه قطعتين ، واحدة في مكانها الأصلي ، والأخرى في أعلاه . هذا مع العلم بأنه ليس فيه سوى قطعة معدنية واحدة .

خذ الآن وعاءً به ماء ، وألقِ فيه مسطرة بحيث ينغمس قسم منها في الماء ويبقى القسم الآخر فوقه . واذا نظرتَ بعد ذلك الى النقطة التي يبدأ منها انغماس المسطرة في الماء ، فانك تلاحظ ان المسطرة تنثني فجأة مع العلم بأنها في الحقيقة مستقيمة . ترى لماذا يحدث هذا؟

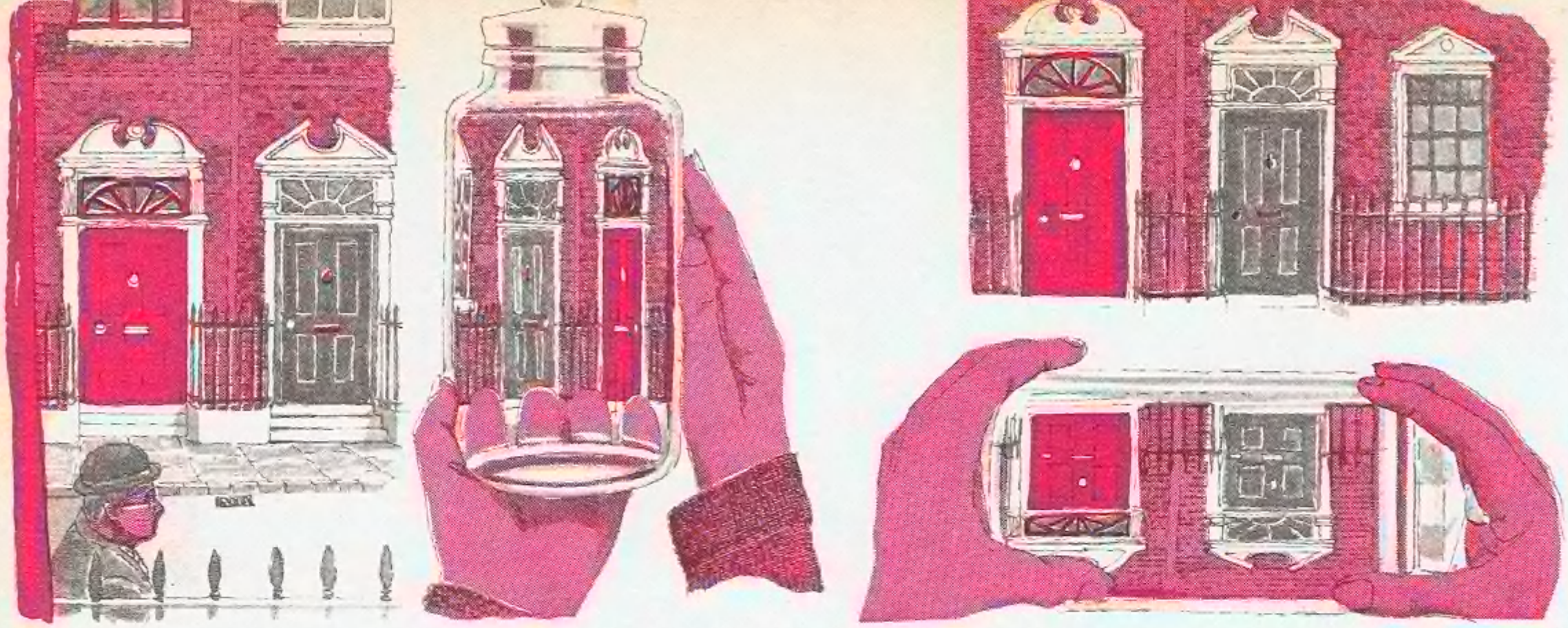
ثبّت قرص كرتون فيه ثقب على زجاجة مصباح يد . ثم أشعله في غرفة مظلمة وأدره نحو جانب من جوانب وعاء زجاجي فيه ماء (شكل ١) . اذا نظرتَ بعد ذلك الى أشعة النور داخل الوعاء تراها منثنية (أو منكسرة) نحو الأعلى . فالضوء ينكسر دائما عندما يقع على مادة شفافة بحيث تكون بينه وبينها زاوية . والضوء الذي ينعكس من سدادة الحوض او القطعة المعدنية في تجربتَيْنا السابقتين ، ينكسر عند سطح الماء وبهذا يعكس صورة السدادة أو القطعة المعدنية بحيث نراهما .

وتوجد طريقة أفضل لمشاهدة ما يحدث لأشعة الضوء عندما تنكسر ، وذلك بأن نُجري تجربةً أخرى . لكن لا بد من إجراء هذه التجربة في غرفة مظلمة . ضع شمعةً مضيئة في طشت ، واحمل ورقة على بعد قدمين منها . ثم ضع مرطبان مربى مملوء بالماء بين الشمعة والورقة ، وحركه ببطء نحو الورقة ، تجد أن شعاعا رفيعا وطويلا من الضوء يأخذ في الظهور على الورقة . وشكل ٢ يبين لك ماذا يحدث ، وهو أن أشعةَ ضوء الشمعة تسقط على المرطبان بزوايا مختلفة . وأثناء مرورها بالزجاج الى الماء تنكسر نحو وسط المرطبان . وفي أثناء خروجها من الماء ومرورها بالزجاج ، تنكسر مرة أخرى ، وتلتقي أو تتجمع في نقطة تعرف بـ «نقطة البؤرة» . فعند هذه النقطة تلقي أشعة الضوء المركزة صورةً واضحة على الورقة . لكن الصورة تضطرب عند أي نقطة أخرى .

دعنا الآن نحاول النظر الى الأشياء من خلال المواد الشفافة التي تَثْني أو تَكْسِر الضوء مثل مرطبان زجاجي مملوء بالماء ومسدود بإحكام . ولنتصورْ ان خارجَ النافذة وعلى الجهة الأخرى من الشارع بابين ، أحدهما أحمر ويقع الى الشمال ، والآخر أسود ويقع الى اليمين . فإذا نظرنا اليهما

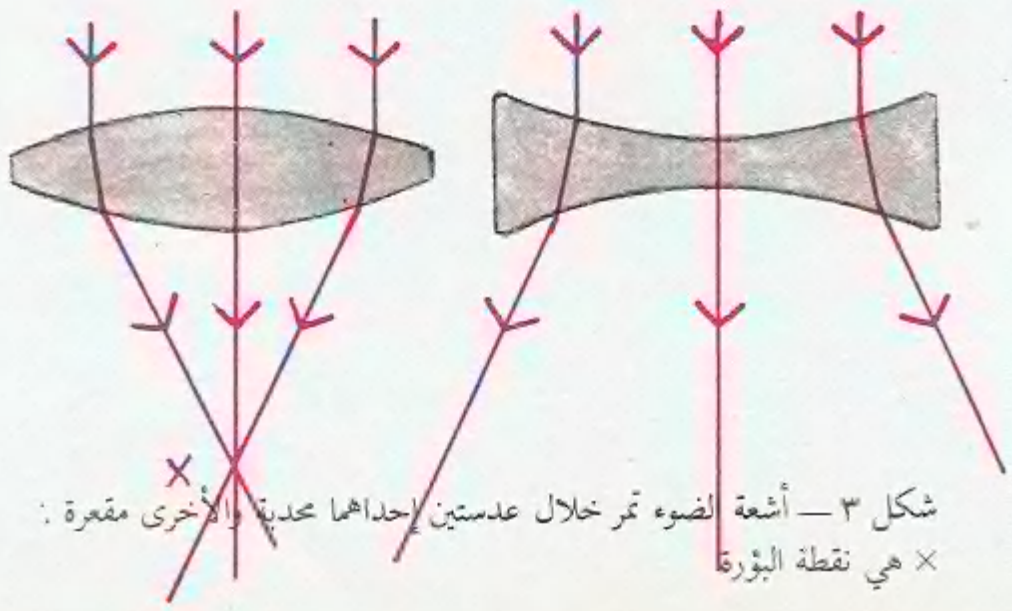


شكل ٢ — النقطة التي تتلاقى فيها الأشعة هي نقطة البؤرة



البيوت على الطرف الآخر من الشارع كما تبدو للعين المجردة وكما تبدو من خلال مرطبان من الزجاج فيه ماء

من خلال المرطبان ، يمكننا ان نرى صورتيهما منعكستين فيه . لكن نلاحظ ان البابين يبدوان ضيقين جدا ، وأن الباب الأحمر صار الى اليمين ، بينما صار الأسود الى الشمال . وقد رأينا في شكل ٣ فصل ٣٤ أن أشعة الضوء تعكس الصورة . واذا قلبنا المرطبان ببطء على جنبه ، فإننا نلاحظ ونحن نفعل ذلك أن البابين ينقلبان معه . وعندما يرتكز المرطبان تماما على جنبه ، فإننا نرى البابين في وضعهما الصحيح وبعرضهما الأصلي ولكن مقلوبين . واذا تمكنتَ من النظر الى الأبواب من خلال وعاء زجاجي مستدير (مثل حوض السمك) ، سترى الأبواب معكوسة ومقلوبة . ترى ما الذي سبب الفرق؟ عندما يكون المرطبان في وضعه الطبيعي ، فانه يكون منحنيا لكن بشكل أفقي فقط لا رأسي . وعندما يكون ملقىً على جنبه فانه يكون منحنيا بشكل رأسي فقط لا أفقي . أما الوعاء فانه يكون منحنيا رأسيا وأفقيا معا . ارجع الآن الى فصل ٣٥ لتشاهد ما يحدث للصور عندما تنعكس في مرآة منحنية ومحدبة كظهر ملعقة من الفضة .



شكل ٣ — أشعة الضوء تمر خلال عدستين إحداهما محدبة والأخرى مقعرة .
× هي نقطة البؤرة

إن الأشياء الشفافة التي لها وجه منحن واحد على الأقل والتي تسبب انكسار الضوء تعرف ب « العدسات » . والعدسات المحدبة اكثر سمكا في الوسط من الأطراف ، وتكسر أشعة الضوء أحدها نحو الآخر حتى تجتمع كلها في نقطة البؤرة . أما العدسات المقعرة فهي أكثر سمكا في الأطراف من الوسط ، وتكسر الأشعة بحيث تُبعد أو تُفرق أحدها عن الآخر (شكل ٣) .

إن العدساتِ المحدبة تجعل الأشياء تبدو أكبرَ من حجمها الحقيقي . ويمكننا أن نرى هذا بسهولة إذا نظرنا من خلال المرطبان الى العلامات على مسطرة موضوعة بشكل أفقي . واذا حملتَ منظاراً مكبراً يتكون من عدسة محدبة واحدة فوقَ ورقةٍ مُسطَّرة بحيث ينطبق سطران ظاهران في العدسة على سطرين خارجها ، فإنك تعرف الى اي حد يمكن للمنظار ان يكبر الأشياء . والآن أبعد المنظار عن الورقة حتى يصل تكبيرها الى أقصى حد ممكن . واذا وضعت المسطرةَ في مرطبان الماء ، ونظرتَ اليها من خلال مكبر ، فسوف تراها وقد تضاعفت مرتين . وفي المجهر الذي يجعل الأشياء الصغيرة جدا تبدو كبيرة ، نجد عادةً عدستين محدبتين ، تكبرّ الثانية منهما ما تكبره الأولى .

هل يمكنك أن تفسر لماذا ظهر البابان عندما نظرنا اليهما من خلال المرطبان وهو في وضعه الطبيعي معكوسين ، في حين أننا عندما نظرنا الى المسطرة على الجانب الآخر منه لم تبد الأرقام التي عليها معكوسة ؟ إن شكل ٣ يوحي اليك بالإجابة !

# ٣٧- العُيُونُ وَالبَصَر

قرأنا في الفصول السابقة عن الضوء وألوانه ، وكيف تنعكس أشعة الضوء في المرايا وتنكسر بواسطة العدسات . وكل ذلك يعتمد على وصول أشعة الضوء الى عيوننا وعلى مقدرة عيوننا على تكوين صور تستطيع عقولنا « رؤيتها » . وعين الانسان تعمل بالطريقة ذاتها التي تعمل بها عيونُ كثيرٍ من الحيوانات كالقطط والطيور .

وإذا نظر أحدنا الى عين من عينيه في المرآة ، وجد في وسطها أسطوانة داكنة تسمى «بؤبؤة العين» . وهي في الواقع عبارة عن فتحة تسمح بدخول الضوء . وتبدو داكنةً لأنها تسمح لنا برؤية الجزء المظلم داخل العين . ويحيط بها جزء ملون في العين قد يكون أزرق أو بنيا أو أخضر . وهذا اللون يختلف من شخص لآخر . ويسمى هذا الجزء من العين بالحدقة قزحية العين . ووظيفتها الخاصةُ هي منع الضوء الشديد من اختراق بؤبؤ العين . فاذا كان الضوء شديداً تحركت نحو الداخل لتخفي جزءً من بؤبؤ العين . أما في الظلام ، فان الحدقة تتراجع ، فيتسع بؤبؤ العين ليسمح بدخول أكبر قدر ممكن من الضوء . وعندما ندخل مكاناً مظلماً ، لا نستطيع في البداية أن نرى شيئاً . لكن عندما يأخذ بؤبؤ العين في الاتساع نبدأ برؤية الأشياء . والقطط أقدر منا على رؤية الأشياء في الظلام لأن بؤبؤ عين القطة يتسع أكثر من بؤبؤ عين الواحد منا .

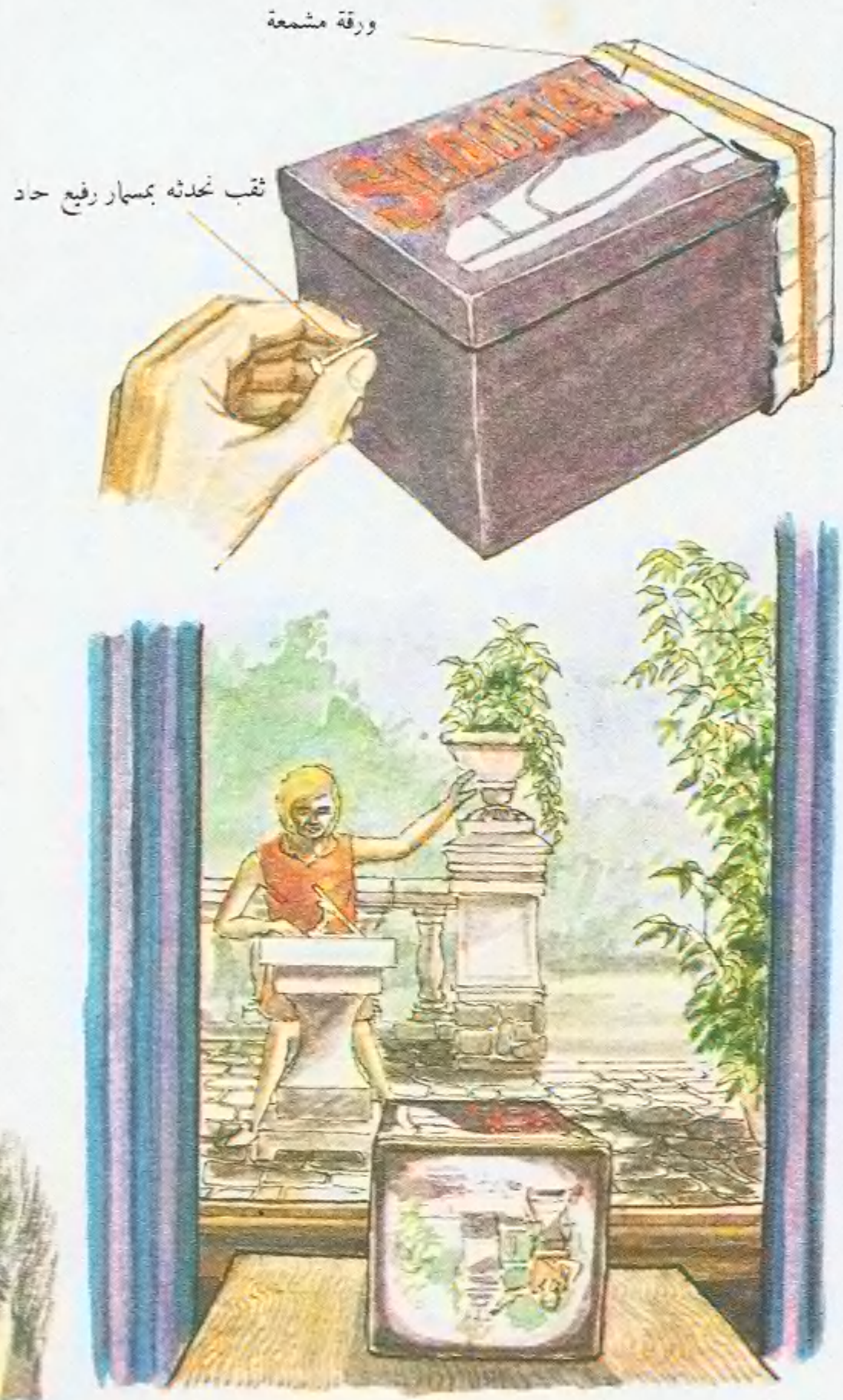
ويحيط بالحدقة ، بؤبؤ العين بياض قوي ومرن يحفظ تماسك العين . ووراء بؤبؤ العين عدسة تستقبل أشعة الضوء ، وتكسرها مثل أي عدسة أخرى ، وتركزها في الشبكية . والشبكية فيلم خفيف حساس وراء العين يؤدي وظيفة فيلم الكاميرا . وجفن العين يقوم مقام غطاء الكاميرا ويحفظ العين .

ولنر الآن ماذا يحدث عندما « تلتقط العين صورة » أو تشاهد شيئا . خذ قطعةَ كرتون بيضاء أو ورقة بيضاء مثبتة فوق لوح من الخشب ، وعدسة مكبرة . علق اللوح أمام نافذة عليها ستارة وفيها فتحة ينفذ منها الضوء . احمل العدسة أمام هذه الفتحة ، وسلطها على اللوح ، تر عليه صورة البيوت والأشجار خارج النافذة . ولكنك تجد الصورة مقلوبة . ويمكنك أن تحصل على صورة أفضل اذا صنعت كاميرا من صندوق لا ينفذ الضوء من جوانبه . ثَبِّتْ ورقةً لا ينفذ منها الدهن على فتحة الصندوق ، ثم اثقب الصندوقَ من جانبه المقابل للفتحة لينفذ منها الضوء . وكلما كان الضوء أقوى وكان الصندوق معتما ، كلما زاد وضوح الصورة . واذا استخدمت بدلا من الثقب

ب : صورة مقلوبة تعكسها العدسة المكبرة على الورقة البيضاء

أ: مشهد من خلال النافذة

أ ــ كاميرا صنعناها بثقب الصندوق
ب ــ صورة الكاميرا ذات الثقب



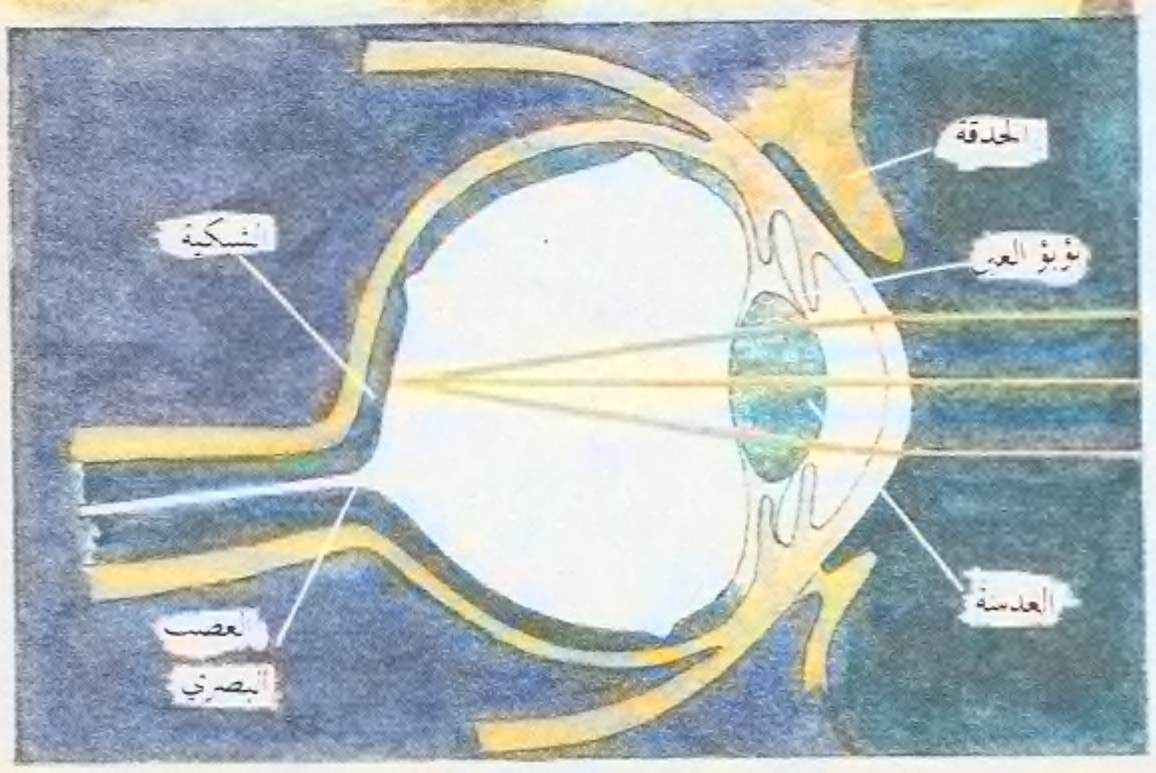

عدسة تعكس الصورة على فيلم بدلاً من الورقة ، فإنك تلتقط صورة حقيقية .

وفي العين ينفذ الضوء من خلال بؤبؤ العين الى العدسة التي تركزه على الشبكية كما يحدث في الكاميرا . لكن لماذا لا نرى الصورة مقلوبة ؟ الحقيقة هي أننا لا ندري . لكن من المرجح ان هذا هو عمل الدماغ . فخلف العين يوجد العصب البصري . ويبدو أن هذا العصبَ يبعث برسالة الى الدماغ ، فيقوم الدماغُ بتصحيح وضع الصورة حال وصولها الى الشبكية . وحتى لو استخدم الناس نظارات مقلوبة لتنقل الى الدماغ صوراً مقلوبة ، فان الدماغ لا يلبث أن يصحح وضعها .

وعندما نرى الأشياءَ تتحرك على شاشة التلفزيون ، فإن ما نشاهده هو في الواقع عبارة عن صور متتالية تتبع الواحدة منها الأخرى . لكن شبكة العين تبقي كلا منها حتى تصل الأخرى ، وبذلك لا يحدث انقطاع . وعليه فإننا عندما نشاهد فيلما على التلفزيون ، لا ندرك أن ما نراه ليس صورةً واحدة متصلة .

وعندما تعمل العين على الوجه الأكمل ، فإنه يجري نقل أشعة الضوء مجتمعة من العدسة الى نقطة تجمعها (البؤرة) على الشبكية . فإذا كان الشخص يشكو كثيراً من بعد النظر ، فان أشعة الضوء تلتقي في مكان خلف الشبكية ، ويحتاج الى نظارة مقعرة بعضَ الشيء لتجمع الأشعة في مكانها الصحيح . أما إذا كان يشكو من قصر النظر ، فإن الأشعة تتجمع أمام الشبكية ، فيحتاج الى نظارة محدبة بعض الشيء .

وفي الأحوال الاعتيادية تعمل العينان معاً ، وتتجهان معا نحو الشيء الذي ننظر اليه . وفي حالة عدم عملهما معاً ، فإننا نستخدم النظارات . لكن حتى لو استخدمناها وأردنا أن نرى شيئا قريبا بصورة دقيقة ، فإنه يُفضل أن نستخدم عينا واحدة وأن نغطي الأخرى .



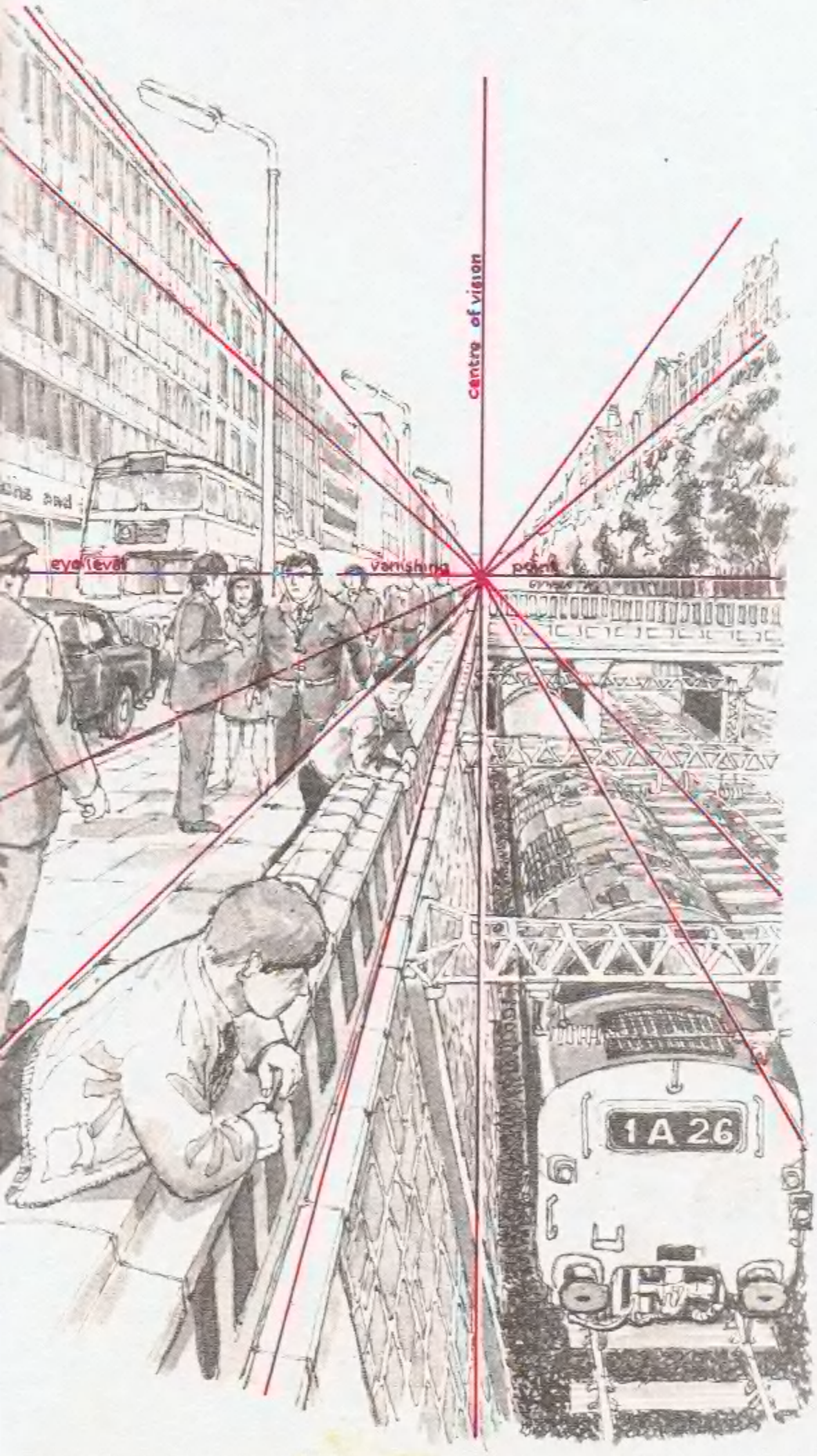

كيف تستقبل العين الصورة

# ٣٨- خِداعُ البَصَر

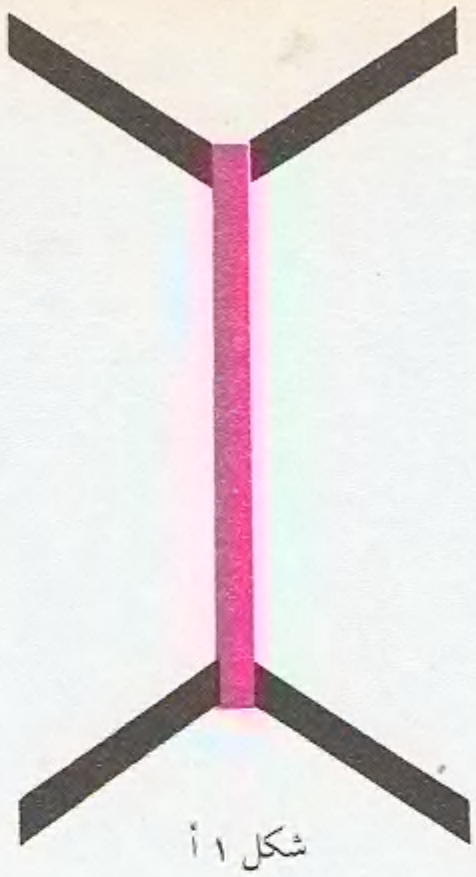
لنفرض أنك تجلس في قطار يقف بالمحطة وتنتظر تحركه ، وكان على الجانب الآخر قطار ثان ينتظر التحرك باتجاه معاكس . ففي أثناء جلوسك تتسلى بالنظر إلى ركاب القطار الثاني . وتفرحُ عندما تسمع صفارةَ القطار مُعلنةً بدء التحرك . فإذا واصلتَ النظر إلى القطار الآخر حتى تختفي آخر عرباته ، تُفاجأ بأنك لا تزال في مكانك بالمحطة ، وأن القطار الآخر هو الذي تحرك . إنك تفاجأ بهذا لأنك تكون قد اعتقدت جازماً بأن قطارك هو الذي تحرك . لقد حدث هذا لأنك كنت تتوقع أن يقوم قطارك ، ولأن تجاربك في السفر بالقطار عودتك على الإحساس بالحركة إزاء الأشياء الجامدة التي تراها خارج النافذة . الواقع أنك رأيتَ ما كنتَ تتوقعُ أن تراه ، لا ما كان يجري في الحقيقة . وهذا هو «خداع البصر» .

وهنـــاك طرق أخرى يجري بها تضليـــل عينيك ودماغك . دعنا نتخيل طريقاً تحت نفق طويل . فعندما تتجه بالسيارة نحو النفق ، تبدو فتحتهُ القريبةُ واسعةً جداً ، بينما تبدو الفتحة البعيدة أصغر منها بكثير . وتبدو خطوط الطريق ورصيفاها وكأنها تلتقي في الجانب الآخر ، كما يبدو الأشخاص على الرصيفين أصغر بكثير مما هم في الواقع . والحقيقة — كما نعرف من التجربة — أن فتحة النفق البعيدة مساويةٌ في حجمها للقريبة ، وأن الناس لا يصغرون وهم يسيرون . لكننا نعلم أيضاً بأننا عندما نرسم صورة سيارة تجتاز نفقا ، أو ربما صفا من أعمدة النور في أحد الشوارع ، أو جماعة مقبلة من الجند ، فإننا يجب ان نرسم الأشياء البعيدة أصغرَ من الأشياء القريبة ، وأن نجعلَ جانبي الطريق يلتقيان أو يكادان يلتقيان على البعد . وهذا يعطي خداع البصر الذي تسببه الصورة المسطحة عمقاً ، فتبدو الطريق مثلاً وكأنها تهرب منا على الورقة . والفنانون يسمون هذا بقانون «المنظور» .

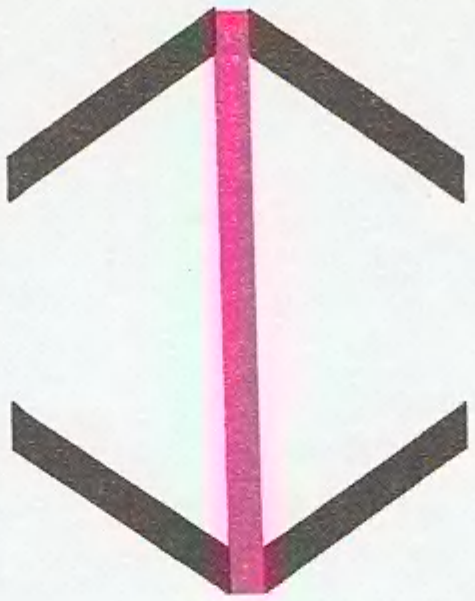
ونحن نعلم أننا عندما نرسمُ صورة ، فيجب علينا ان نرسم الأشياء كلما بعدت بحجم أصغر . لكنّ أدمغتنا تعلم أنها ليست في الحقيقة أصغر ، وعليه فإنها لا تنخدع . خذ قطعة نقد كبيرة بيد ، وقطعة صغيرة باليد الأخرى . ثم ارفع يديك وانظر اليهما ، تجدْ أن القطعة الأولى أكبر من الثانية . وإذا قربت القطعةَ الصغيرة من عينك ، وأبعدتَ عنك الكبيرة ، فإنك تراهما ايضاً كما هما . ولكنك إذا حملت القطعة الصغيرة وجعلتها بين عينك



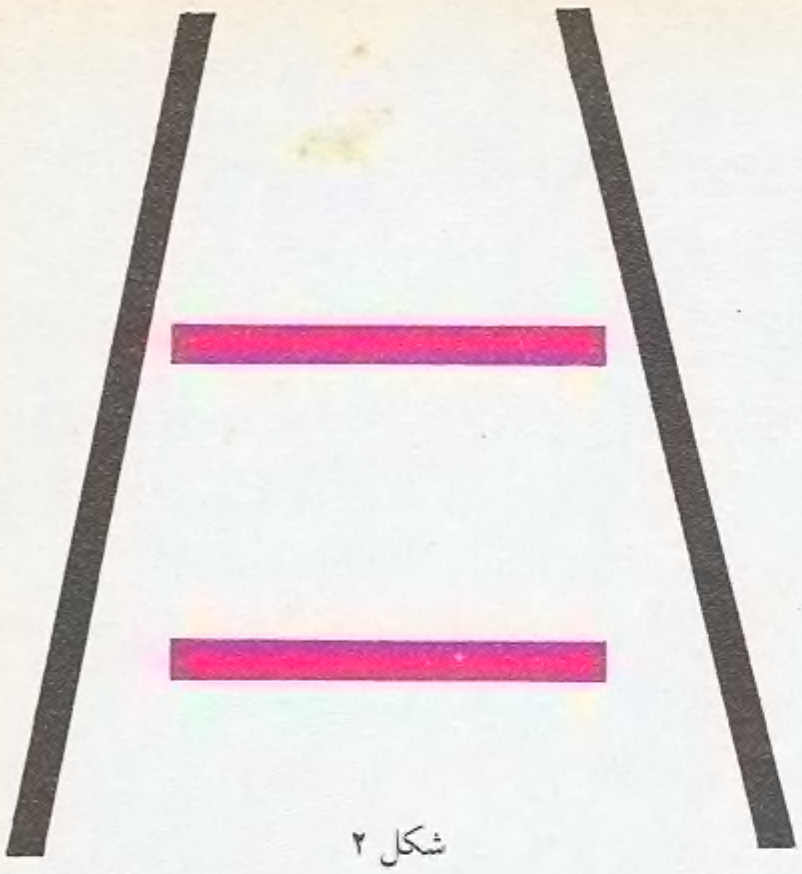

إن الخطوط البرتقالية في هذا الرسم المنظوري تمتد على البعد إلى نقطة التلاشي



شكل ١ أ



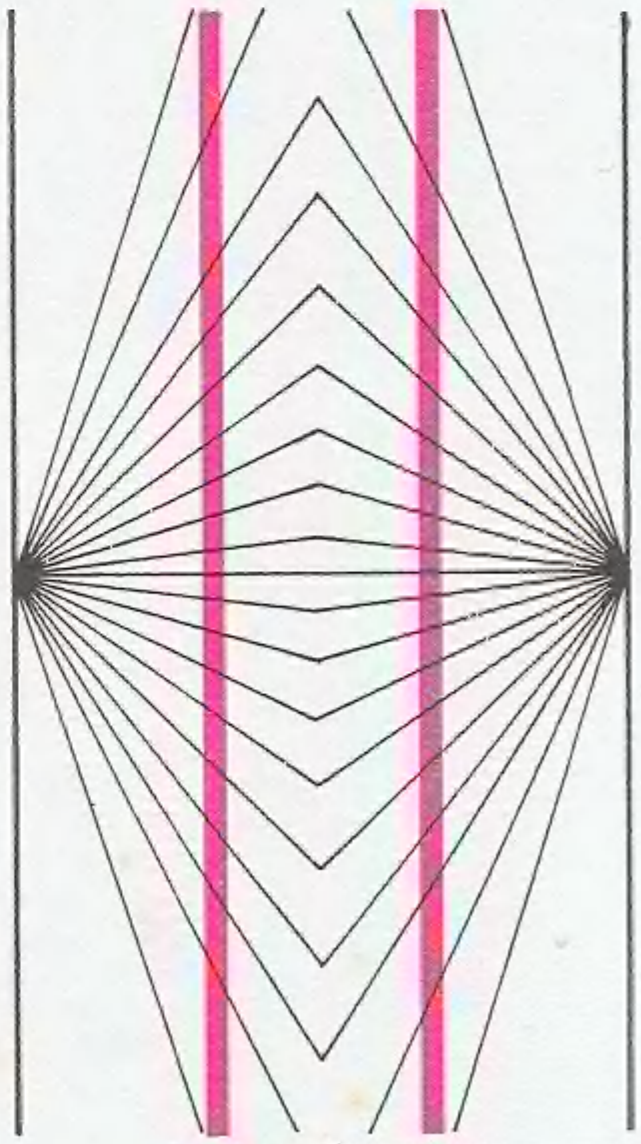
شكل ١ ب



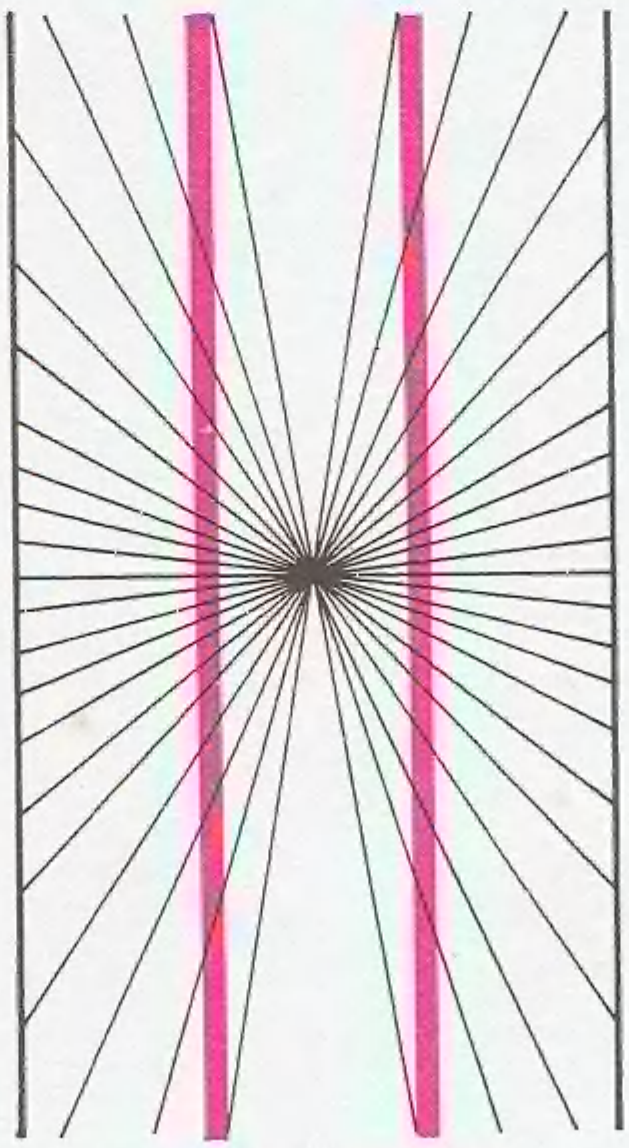
شكل ٢

وبين الكبيرة ، فإن صورتَها سوف تُخفي صورة الكبيرة تماماً . من هذا نعلم أنه كلما بعدت الأشياء كلما صغرت الصور التي تنقلها العين لها . لكن عيوننا تميل إلى التعويض عن ذلك ، «فنرى» الأشياء على حقيقتها التي نعرفها بأدمغتنا .

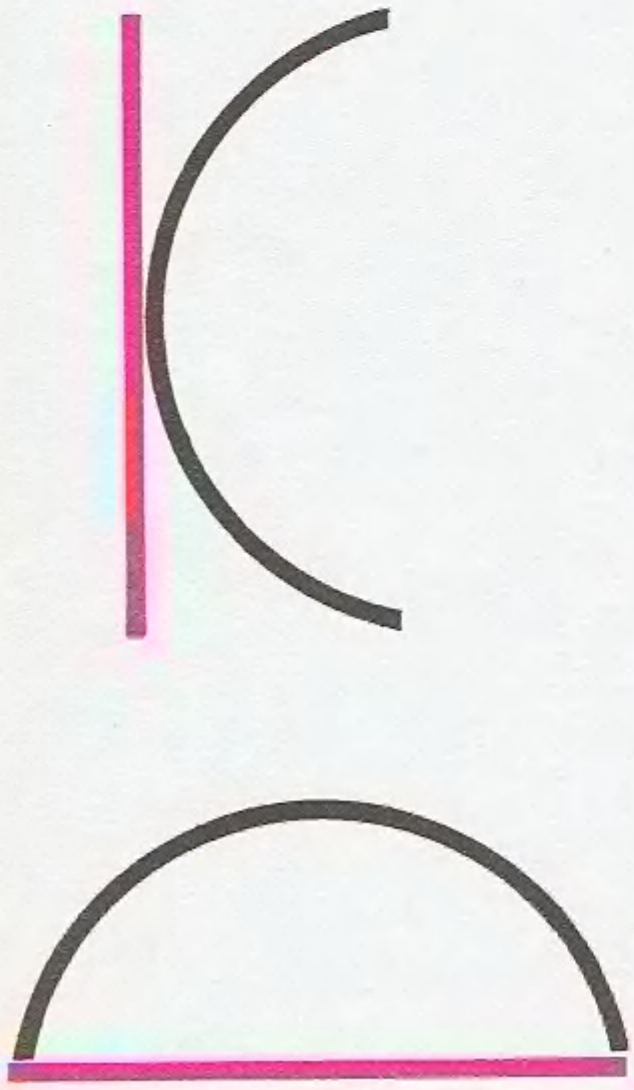
وعندما ننظر الى شيء ما فإننا قد نُخدع بما يحيط به ، «فنرى» الشيءَ على غير حقيقته . أنظر إلى شكل ١ أ و ١ ب ، واحزر أي الخطَّين العموديين أطولَ من الآخر ! قِسْهما الآن ثم انظر الى الخطين الأفقيين في شكل ٢ . هل تستطيع أن تعرف سبب خداع البصر ؟ إن شكلي ٣ و ٤ يجعلان الخطوط المتوازية تبدو وكأنها منحنية ، وذلك بسبب الخطوط الأخرى فيهما . انظر الآن إلى شكل ٥ . أيُّ الخطين أطول : العمودي أم الأفقي ؟ قسهما لمعرفة ذلك .



شكل ٣



شكل ٤

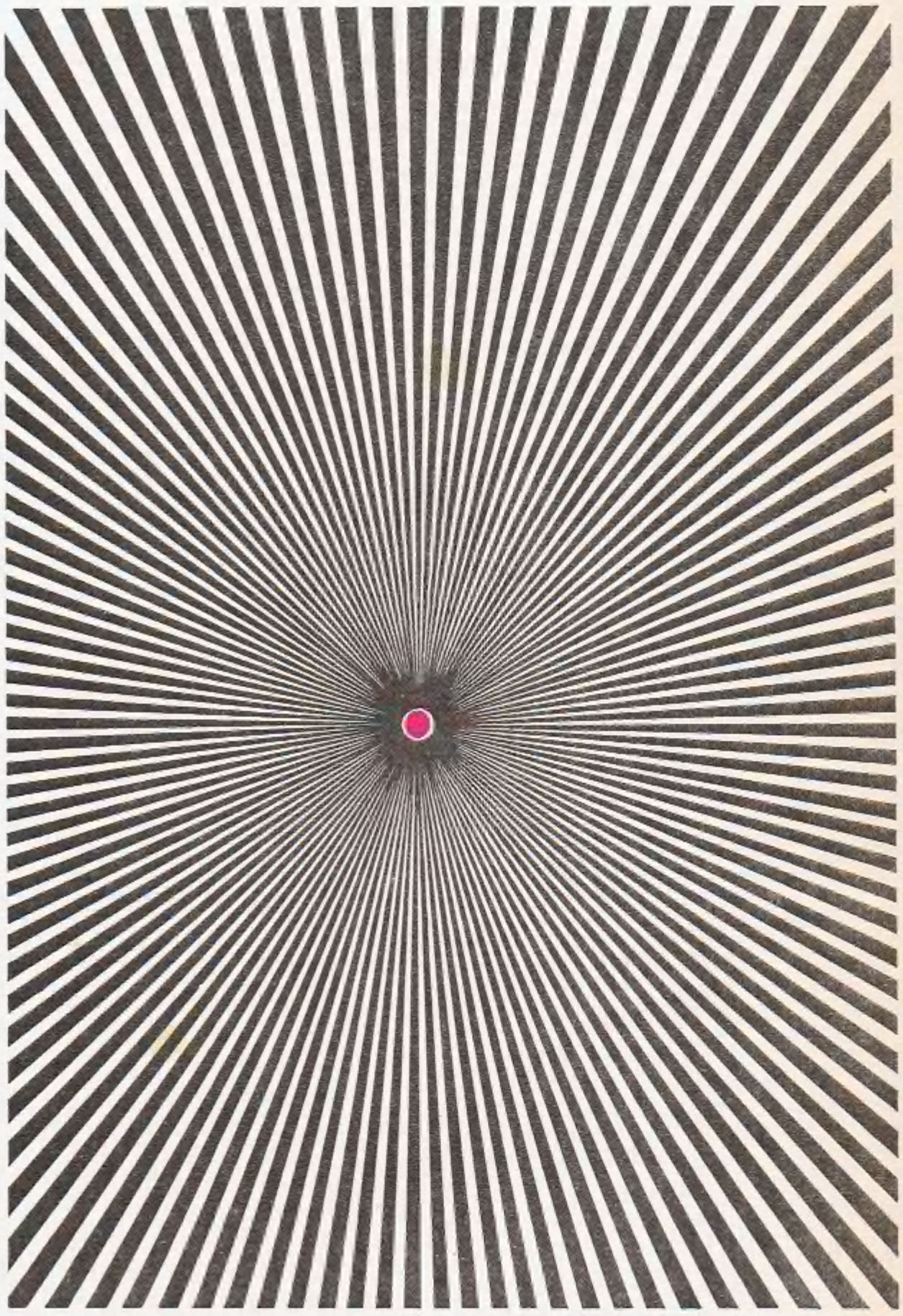


شكل ٥

# ٣٩- خِداعُ البَصَر (اللونُ)

يمكن لبعض أشكال خداع البصر ان تكون مزعجة ومحيرة جداً ؛ذ قد تجعلك ترى حركة أو حتى لوناً لا وجود له . ويقدم لنا شكل ١ مثلاً جيداً على هذا . فإذا تفرَّسْتَ في مركز الشكل ، فإنك لا تلبث أن ترى شيئاً مزعجاً . إذ تشاهد دوائر تنتشر من المركز إلى سائر أنحاء الشكل . وقد ترى أثراً خفيفاً لألوان قوس قزح . فإذا حولتَ عينيك مباشرةً نحو جدار أبيض ، يطالعك الشيء ذاته ، فتشاهد أشياء مثل حبات الأرز تدور حول الجدار .

وليس السراب — وهو بركة الماء أو البحيرة التي يظن الظمآن من المسافرين في الصحراء أنهم يرونها — إلا خداعاً للبصر . ويمكننا أحياناً أن نواجه الخداع ذاته عندما يكون الجو شديد الحرارة . ففي مثل هذا الجو ، تبدو لنا برك ماء في الطريق . لكننا عندما نواصل السير لا نجد ماء على الاطلاق .



هذه الصورة تسبب خداع البصر لأنها تجعلك ترى الخطوط تتحرك .

إننا نميل إلى رؤية الألوان والخطوط والأشكال كما نعرفها لا كما هي . فمثلاً ، إذا قطعت بعض الزهور من الحديقة ووضعتها في إناء زهور، فإن ألوانها الزاهيةَ تبعث البهجة في الغرفة . وفي الليل ، والأنوار مضاءة ، تبدو الزهور وكأنها لا تزال تحتفظ بألوانها الزاهية . والحقيقة أن الألوان لا تكون هي ذاتها وذلك لأن «لمبات» النور الكهربائية العادية تبعث ضوءاً أكثر اصفرارا من ضوء النهار . ولهذا فإن ألوان الزهور أيضاً تصبح أكثر اصفرارا منها في النهار . وأنتَ لا تلاحظ هذا لأن دماغك يجعلك تراها بألوانها التي تعرفها . ويمكنك أن ترى هذا بنفسك . فإذا نظرت الى ضوء كهربائي في الليل وهو يبدو أبيضَ ساطعا ، ثم نظرتَ إليه عندما تشرق الشمس ، فإنك تلاحظ اصفراره .

اشترِ بضع قطع من السيلوفان الملون ، أو أحْضِرْ ورقاً رقيقاً ملوناً . ثم خذ ورقةً حمراء واستخدمها كالفلتر فوق عدسة كاميرا قياسها ٣٥ مليمتراً وبها فيلم ملون ، والتقط صورةً لشيء ما . ثم انزع الورقةَ الملونة ، والتقط صورة أخرى للشيء ذاته . وعندما تقارن بين الصورتين تجد أن الورقة الملونة (الفلتر) جعلت الصورة الأولى مائلة الى الاحمرار . لكن الأشياء الزرقاء التي لا تشتمل على لون أحمر ، تظهر قاتمةً أو حتى سوداء . ويمكنك أن تجري التجربة ذاتها مستخدماً فلترا أزرق أو اخضر ، وأن ترى ما يحدث . ففي كلتا الحالتين يختفي اللون الأحمر من

الصورة .

واذا حدّقت في ضوء الشمس الساطع مثلاً ببضعة حروف كبيرة ملونة باللون الاحمر على حائط أبيض ، ثم حولت بصرك وحدقت بحائط أبيض قريب ، فإنك ترى الحروفَ ذاتَها مصورة على الحائط ، ولكن بلون أزرق مخضر بـدلاً من الأحمر . والسبب في هـذا هـو أن عينيك بعد أن تكونا قد تعبتا من التحديق بالحروف الحمراء ، تعيد الصورة ولكن بدون اللون الأحمر .

وإذا تناولت صورة ملونة يمكنك أن تميز الألوان المختلفة بسهولة . لكن كلما زاد الظلام حولك ، كلما صعب عليك تمييزها ، وذلك لأن الضوء لا يكون قوياً إلى حد يمكن عينيك من نقل رسائل صحيحة عن الألوان إلى الدماغ . وإذا نظرتَ إلى شجيرة عليها أزهار حمراء عندما يكون ضوء القمر قوياً ، يكاد يستحيل عليك أن تميز اللون الأحمر ، لأن ضوءَ القمر يكون باهتاً إلى حد لا يُمكنك من ذلك . هذا مع العلم بأن ضوء القمر ليس إلا ضوء الشمس الذي يعكسه القمر إلينا .

وعندما تهبط الشمس وراء الأفق،فإن أشعتها الحمراء والبرتقالية التي تنكسر أقل الانكسار (انظر فصل ٣٣) وهي تخترق الجو الأرضي ، لا تصل إلينا . لكن تستمر الأشعة الخضراء والزرقاء التي يزيدها الهواء انكساراً في الوصول الينا بعض الوقت . وعليه فإننا عند الغسق نرى هذين اللونين حتى ولو كنا لا نرى الشمس مباشرة ، فكما لو أن فلترا أزرق وأخضر قد حجب الشمس . ولهذا فعند الغسق تبدو الشجيرة ذات الأزهار الوردية وكأن عليها ازهاراً قاتمة ، بينما تظل أزهار الدلفنيوم الزرقاء في لونها .

الكوخ عند الغسق

الكوخ في ضوء النهار

الكوخ من خلال فلتر أحمر

الكوخ في ضوء القمر

# ٤٠ - الضَوءُ ومَوْجاتُ الحَرارَة

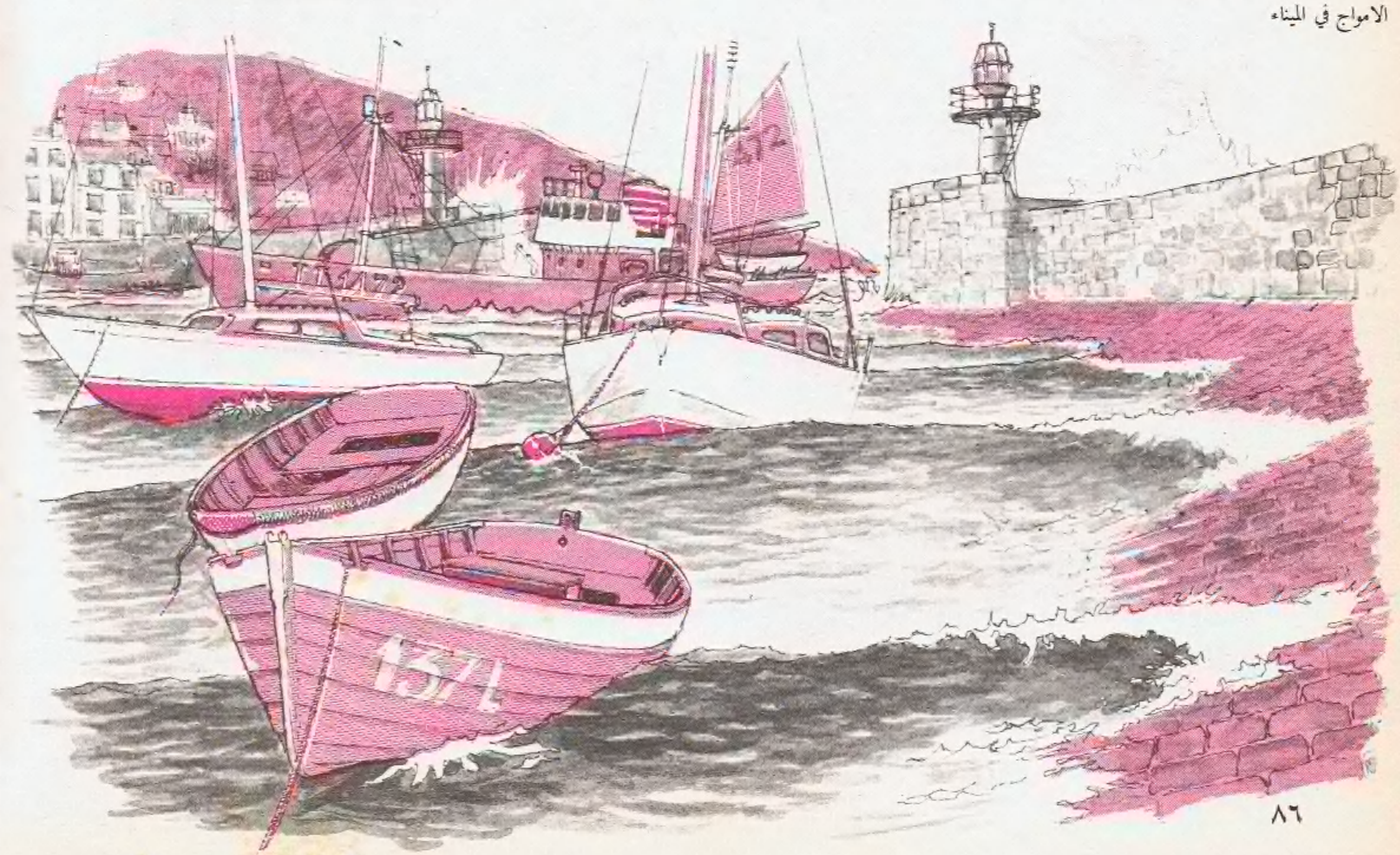
إذا وقفتَ على شاطىء البحر ، يمكنك أن ترى الأمواجَ وهي تعلو وتهبط حتى تتكسّر على الشاطىء . واذا كان هناك قارب أو عوامة راسية عليه ، فإنك ترى الأمواج وهي تحركها الى أعلى والى أسفل . وتُعرف المسافة بين قمة موجة وقمة أخرى ، أو بين المنخفض الذي تصل اليه ومنخفض أخرى بـ«طول الموجة» . ويصل طولُ الموجة قرب الشاطىء الى عدة أقدام . وتتكون الأمواجُ بسبب اضطراب الماء الذي يحدثه مرور إحدى السفن الكبيرة أو هبوب ريح قوية . ويسري الاضطراب في الماء ، وتعمل طاقته على تحريك القارب الى أعلى والى اسفل . ويبدو لك الماء وكأن شيئا ما يحمله الى الأمام ، بينما هو في الواقع ، وبخاصة عندما يتلاشى المد ، لا يتحرك الى الأمام ، بل ينسحب من تحت الموجة الى الخلف كما هو ظاهر في شكل ١ . فطاقة الريح ، أو طاقة كل ما يسبب اضطراب الماء ، هي التي تحرك الموجة إلى الأمام ، وتجعل الماء يعلو ويهبط .

شكل ١ — الأمواج تتحرك عند الشاطىء

ضع قطعتي نقدٍ على طاولة بحيث تكون إحداهما ملاصقة للأخرى . ثم اضغط بأصبعك ضغطا قوية على القطعة التي الى اليمين . فإذا دفعتَ قطعةً ثالثة مكانها من اليمين،تجد أن القطعة التي الى الشمال قد قفزت من موضعها، مع العلم بأنه لم يجر دفعها . الواقع أن القوة التي دُفعت بها القطعة الثالثة ، أرسلت موجاتٍ من الطاقة من القطعة الثابتة الى القطعة الطليقة . واذا أخذتَ حبلا طويلا وهززت طرفَه بقوة ، فإنك ترى موجات الطاقة تسري فيه الى طرفه الآخر ، مع العلم بأن الحبل لا يتحرك الى الأمام (شكل ٢) . وفي جميع هذه الحالات يكون الماء أو قطعة النقد أو الحبل موصلَ موجات الطاقة .

وعلاوة على طاقة الدفع والهز ، هناك أنواع أخرى من الطاقة تنقلها موجات تعمل بالطريقة ذاتها، بالرغم من أن الموجات قد تكون في غاية الصغر . فالضوء والحرارة تنقلها

الامواج في الميناء



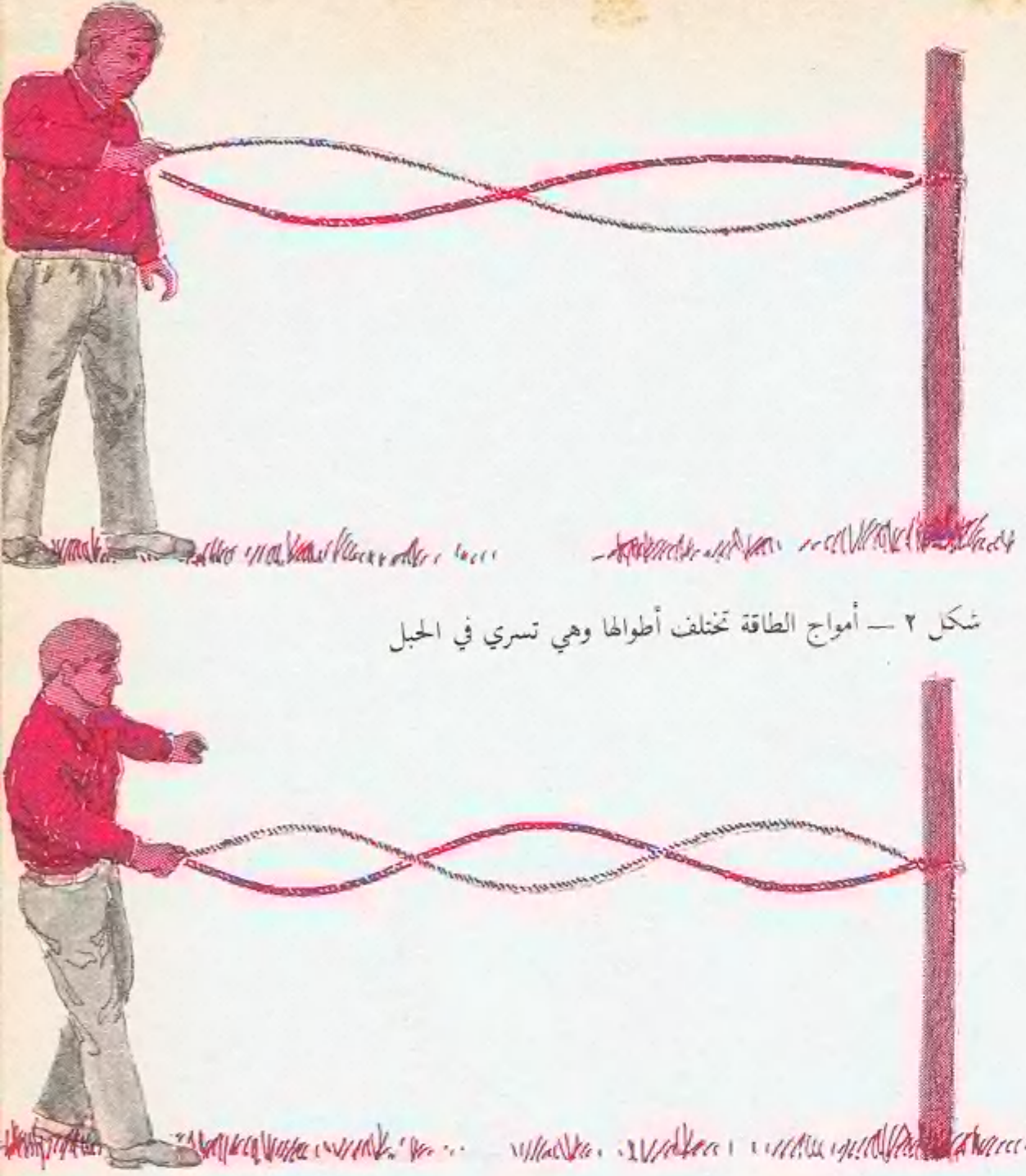
موجات صغيرة الى حد أنها لا ترى .

وموجات الضوء والحرارة تصل الينا من الشمس في الفضاء الخارجي . ولكنها بخلاف موجات الماء والحبل ، فإنها تستطيع التحرك بلا واسطة . ففي الفضاء الخارجي لا يوجد حتى هواء لنقلها . والفرق الوحيد بين موجات الضوء والحرارة،هي أن موجات الحرارة أكبر بعشرة آلاف الى عشرين ألف مرة . وتقاس موجات الضوء بواحد على المليون من البوصة . والضوء كما رأينا في فصل ٣٣ يتكون من ألوان مختلفة نستطيع رؤيتها مثلا في قوس قزح . ولكل لون موجة بطول مختلف . فطول موجات الألوان عند الطرف الأحمر من القوس يبلغ ضعفي طول البنفسجي والأزرق على الطرف الآخر . وعندما تنكسر الموجاتُ أو تنثني ، كما هي الحال في قوس قزح ، فان أطوالها المختلفة تجعلها تنثني بأشكال مختلفة بعضَ الشيء وتنتشر .

واذا كانت موجات الضوء والحرارة متماثلتين فيما عدا الطول ، فلا بد وأن تتحرك موجات الحرارة كموجات الضوء ، وأن تنعكس وتنكسر مثلها (انظر الفصول ٣٤–٣٦) . وفي المدفأة الكهربائية سلك معدني يجري فيه التيار عندما نشعلها . والكهرباءُ تجعل السلكَ يتوهج بموجات الضوء القصيرة ، ويبعث الحرارة بموجات الحرارة الأكثر طولاً . وخلفَ السلك ، يوجد لوح معدني منحن — وهو العاكس — الذي بحكم لمعانه ، يعكس جيداً ، ويُمكنك أن ترى السلك المتوهج معكوساً فيه . لكن يمكنك أيضاً أن تشعر بأنه يعكس موجات الحرارة ويبعث بها الى الخارج لتدفئة الغرفة .

واذا أخذتَ زجاجة مكبرة وورقة وخرجت بهما الى ضوء الشمس الساطع ، يمكنك أن تبين أن موجات الحرارة يمكن ان تنكسر كما تنكسر موجات الضوء . أمسك الزجاجة المكبرة بحيث تسلط أشعة على الورقة . فإذا أبقيت الأشعة مسلطة عليها بعض الوقت ، تجد ان الدخان يبدأ بالتصاعد منها . فتركيز حرارة أشعة الشمس المثنية أو المنكسرة على الورقة بواسطة الزجاجة المكبرة ، تسخن الورقة كثيرا فتحترق . لكن لو تركت الورقة تحت أشعة الشمس ، بدون الزجاجة المكبرة ، فإنها لا تحترق .

وهناك موجات اقصر حتى من موجات الضوء (انظر فصل ٣١) . وبعضها أطول بكثير مثل موجات الراديو . فبعض موجات الراديو قد تكون طويلة جدا بحيث يبلغ طول الواحدة منها ميلاً أو أكثر .



شكل ٢ — أمواج الطاقة تختلف أطوالها وهي تسري في الحبل

عندما تشتد حرارة الشمس ، فإن الحرارة التي تركزها الزجاجة المكبرة تحرق الورقة

# ٤١ - أقصَرُ الموَجات

حمام شمس على شاطىء البحر . وقد أخذت تشتد سمرة الفتاة الممددة

إذا قضيتَ إجازة على شاطىء البحر أو في الريف ، فانك تتوقع ان تعود أسمر البشرة . وتسمرّ البشرة اذا كان الجو جميلاً والشمس ساطعة . أما اذا احتجبت الشمس ، فلا تسمر البشرة . والذين يزورون البلادَ التي يكون نورُ الشمس فيها ساطعاً ، يعودون وقد اسمروا بالفعل . وأهلُ هذه البلاد أكثر سمرة في العادة ممن يعيشون في بريطانيا . تُرى أي شيء في الشمس يسبب سواد البشرة . لا بد وأن يكون هذا الشيء قوياً جداً . اذ لو تعرضتَ للشمس وقتاً طويلا وأنت تلبس شيئا رقيقا ، فان بشرتك لا تلبث ان تحترق وتتقرّح ثم تتقشّر . والحقيقة هي أن التعرض للشمس الحارة وقتا طويلا أمر خطر . إذا فما الذي يسبب سمرةَ البشرة ؟ أهو نور الشمس أم حرارتها ؟

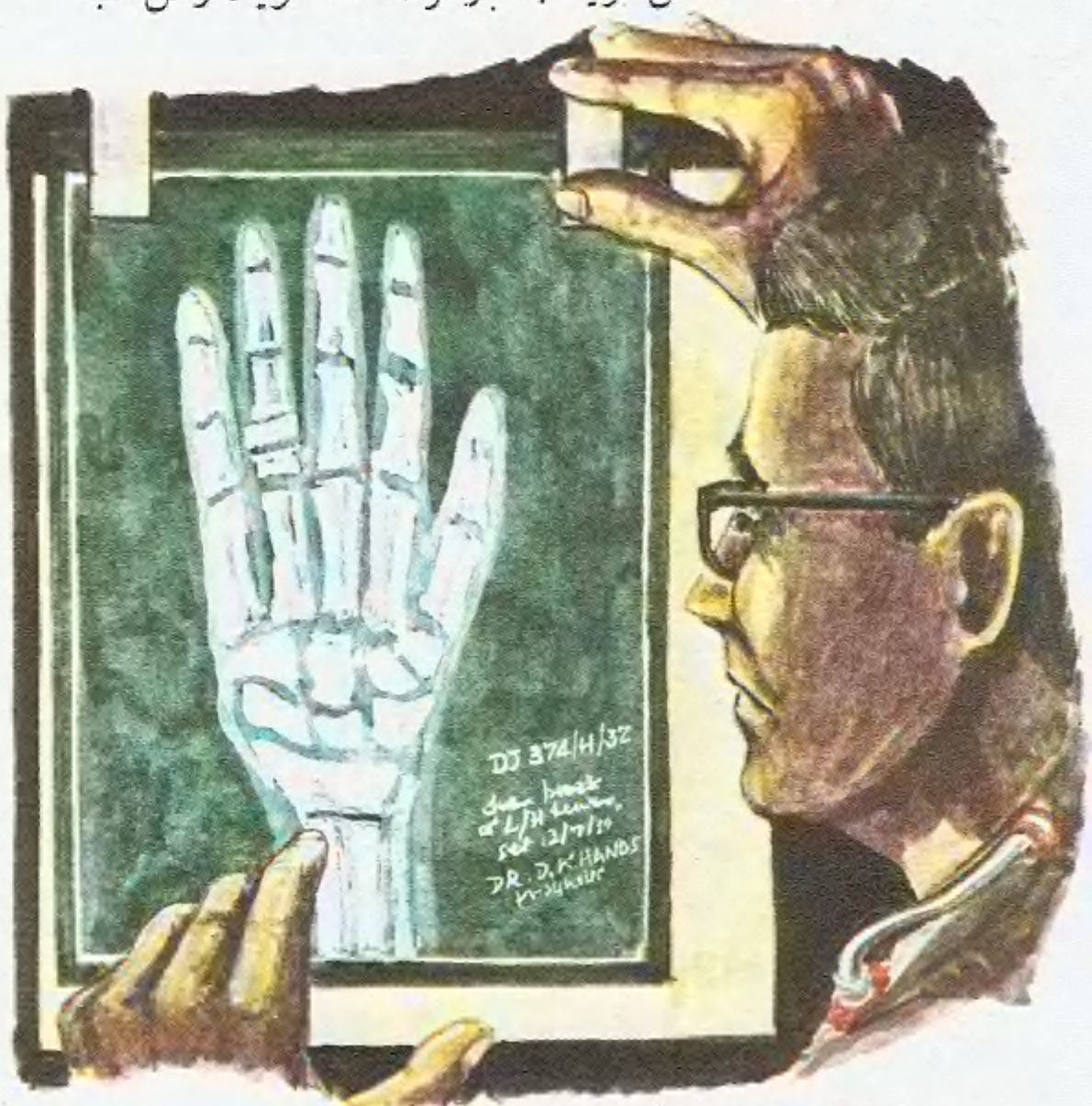
إذا بقيتَ داخلَ بيتك وتعرضتَ لأي قدر من شعاع الشمس من وراء النافذة ، فان بشرتَك لا تسمر . إذاً فليس نور الشمس هو الذي يسبب السمرة . ثم ان نور الشمس الذي ينفذ من خلال النوافذ المغلقة يدفىء البيت ، ولكنه لا يسبب السمرة . وعليه ، فليست الحرارة هي التي تسبب السمرة . انما تسببها أشعة أخرى تنبعث من الشمس علاوةً على أشعة الضوء والحرارة . وهذه الأشعة تؤثر فيك وتصلك مباشرة بواسطة الهواء لا بواسطة الزجاج . ويسميها العلماء « الاشعة فوق البنفسجية » .

نحن نعلم ان ضوءَ الشمس يتكون من ألوان قوس قزح (انظر فصل ٣٣) كما اننا رأينا في الفصل السابق أن للألوان المختلفة موجات ذاتَ أطوال مختلفة ، أطولها موجات اللون الأحمر ، رغم أنها دقيقة جداً لا يمكن رؤيتها . فالواحدة منها تبلغ ٣ من مليون من البوصة . وأقصر الموجات هي موجاتُ الضوء البنفسجي التي تكاد تبلغ في طولها طول موجات الضوء الأحمر . وفي حين أننا لا نرى الموجات ، فاننا نرى الضوء والألوان . وموجات الأشعة فوق البنفسجية أقصر من موجات الضوء

اوروبي شاحب — اوروربية لوحتها الشمس — استرالي — هندي — رجل من سيلان — زولو افريقي

البنفسجي ، ولهذا توصف بأنها فوق البنفسجية . وهي قصيرة الى حد لا يمكننا معه رؤيتها . كما أننا لا نشعر بها ، لكن نشعر بتأثيرها ونرى ما تحدثه .

وفي حين أن الكثير من الاشعاع فوق البنفسجي قد يكون مضراً ، فإن القليل منه مفيد جداً . ومن حسن الحظ ان غلافَ الهواء حول الكرة الأرضية يحول دون وصول أكثره . وما يصلنا منه يجعلنا أقوياء أصحاء ؛ وهو مضر اذا كانت الشمس قوية جدا،وتعرضنا لها طويلا ونحن شبه




طبيب يؤشر الى عظم مكسور ظاهر في صورة أشعة إكس

عراة . وقد تمكن العلماء من صنع مصابيحَ تنبعث منها أشعة فوق البنفسجية مثل التي تنبعث من الشمس . وتجري معالجةُ الناس ب « شعاع الشمس » بالجلوس وقتا محددا لا يعدو بضع دقائق في كل يوم أمام المصباح .

والبشرة تصبح سمراء بتأثير الأشعة فوق البنفسجية ، لأن اللون الأسمر يمتص بعضها ويحول دون نفاذها الى الجسم . ولهذا فإن اللون الأسمر يحمي الأجسام . ويفسر لنا هذا سبب سمرة البشرة عند الذين يعيشون في البلاد الحارة مثل افريقيا والهند . لكن عندما نتعرض طويلا للشمس المحرقة ، أو نقف طويلا أمام مصباح تنبعث منه الأشعة فوق البنفسجية ، فان الاشعة تقتل البشرة ، وبهذا تحرم الجسم من الحماية . هذا علاوة على أن الاشعة القوية قد تضر الخلايا داخل الجسم .

وتوجد موجات أقصر حتى من موجات الأشعة فوق البنفسجية ، وهي أشعة إكس وأشعة جاما اللتين تأتيان من الشمس ومن الفضاء الخارجي . ولا تستطيع البشرةُ ان تحول دون نفاذهما في لحمنا حتى تصلا الى العظم فيوقفها . ويستطيع الأطباء باستخدام أشعة إكس أن يروا ما بداخل الجسم ، وأن يأخذوا صور أشعة إكس لعظامنا وغيرها من أجزاء الجسم الأخرى . وهذه الأشعة قوية جدا ، وكان يمكن أن تضرنا كثيرا لو كانت تصلنا من الشمس باستمرار . ولكن لحسن الحظ انها لا تصل الى الأرض من الفضاء ، وذلك لأن الجو المحيط بالكرة الأرضية يوقفها .

# ٤٢- مَوْجَاتُ الصَّوْت

شكل ١ – داخل البيانو

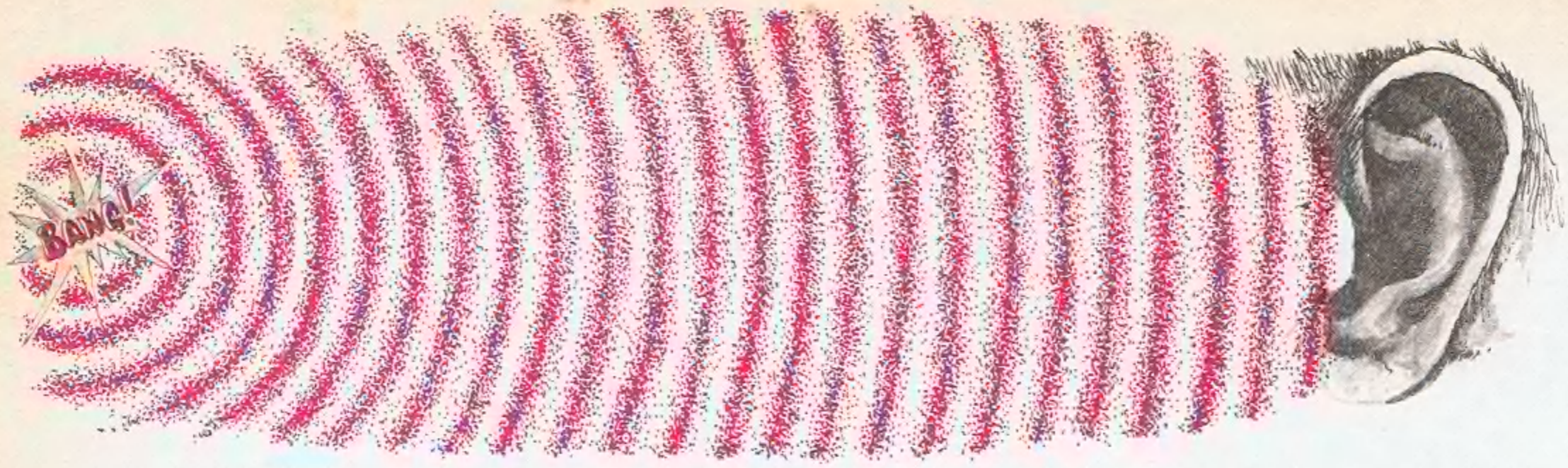
لو وجدتَ نفسَك واقفا على القمر ، فان أول ما يطالعك هو الصمت الذي يخيم على كل شيء . واذا ناديتَ زميلاً لك فإنه لا يسمعك . ولو شاهدتَ صخرة وهي تهوي من أحد الجبال ، فإنك لا تسمع صوتا . وتشعر كما لو كنت أصم رغم سلامة أذنيك .

ويتحرك الصوت في موجات تشق طريقها خلال الأشياء . ولكنها لا تعلو وتهبط مثل موجات الضوء والحرارة (انظر فصل ٤٠) . وفي حين أن موجات الصوت لا تتحرك إلا من خلال الأشياء ، فإن موجات الضوء تستطيع ان تتحرك في مكان فارغ . وعلى الأرض يتحرك الصوت عادة خلال الهواء من مكانه الى طبلة الأذن . أما على القمر حيث لا هواء ، فلا يوجد شيء يحمل موجات الصوت . ولا يمكن أن يكون هناك صوت في الفراغ ، لأنه ليس في الفراغ شيء يوصل الصوت . ويمكننا أن نثبت هذا إذا وضعنا جرسا في زجاجة بها بعض الماء ثم أفرغنا الزجاجة من الهواء ، وذلك كما رأينا في الفصل ١٥ . فهل نستطيع عندئذ أن نسمع الجرس إذا هززنا الزجاجة ؟ ربما نسمع صوتا خافتا لأنه يتعذر علينا أن نخلق فراغاً كاملاً . ولكن الصوتَ الذي نسمعه أضعفُ بكثير من الصوت الذي نسمعه لو كانت الزجاجة مملوءة بالهواء .

وتنتقل موجات الصوت في بعض المواد – كالماء مثلا – بشكل أفضل من انتقالها في الهواء . ويمكنك أن ترى هذا بنفسك عندما تكون في حوض الحمام أو حوض السباحة . فإذا ضربت قاع حوض الحمام أولا ورأسك خارج الماء ، ثم رأسك وأذناك في الماء ، وصل الصوت الى أذنيك بواسطة الماء وحده . وينتقل الصوت كذلك بصورة أفضل بواسطة الأشياء الصلبة كالأرض . وقد اعتاد الهنودُ الحمرُ ، اذا أرادوا اقتفاء آثار أعدائهم ، أن يضعوا آذانهم على الأرض ، لأنهم كانوا بهذا يسمعون صوت جياد الأعداء بواسطة الأرض قبل أن تصل خلال الهواء بوقت طويل .

وينتقل الصوتُ جيدا كذلك خلال جسم صلب كقطعة خيط مشدودة . ويمكن لشخصين أن يصنعا تلفونا

احد الهنود الحمر يضع أذنه على الأرض ليسمع الخيالة عن بعد




كيف يصل صوت الفرقعة إلى طبلة أذنك

من هذا الخيط . فاذا ثقبا علبتين من الصفيح كلا من قاعها ، وربطا خيطاً طويلاً بين ثقب إحداهما وثقب الأخرى ، ثم حمل كل منهما علبةً وقربها من أذنه وهمس فيها ، فان الصوت ينتقل بواسطة الخيط ويُسمع بوضوح ، مع أنه بدون ذلك لا يسمع الا بواسطة تلفون حقيقي .

ترى كيف تنتقل موجات الصوت في الهواء والماء أو أي واسطة أخرى؟ ألصق طرفَ شريط مطاطي على مقبض الباب ، ثم شده ، وألصق الطرفَ الآخر على الباب . فإذا نقرت الشريط بعد ذلك بإصبعك ، فإنه يحدث صوتاً ، ويتذبذب في الوقت ذاته متحركاً الى أعلى والى أسفل . وعندما يختفي الصوت ، تتوقف الذبذبة . واذا وضعتَ حبات رمل على طبل ثم نقرته ، فإن الجلد يتذبذب بسرعة ، ويحدث صوتاً ، وبسبب تطاير حبات الرمل . وأنت تسمع صوتا عندما تُحدث الموجات الصوتية ذبذبةً في طبلة أذنك . واذا نقرتَ مفتاح بيانو ، فإنك تحل مطرقة في داخله . وهذه المطرقة تضرب وتراً ، فيتذبذب الوتر ، ويخرج النغم (شكل ١) . وعندما تتكلم ، تتذبذب أوتارُ الصوت الغضروفية داخل الحلق . وعندما تحدث أي ذبذبة في الهواء ، فإنها تدفع جزيئات الهواء الى الامام وتسحبها الى الخلف،محدثةً موجاتٍ صوتيةً تنتقل بواسطة الجزيئات ذاتها . ويمكنك أن ترى كيف تنتقل الموجات إذا راقبتَ عملية وصل القاطرة بعربات شحن (فراملها) مشدودة . فانك تلاحظ ان القاطرة تهز بعنف أول عربة ، ثم تقوم كل عربة بهز العربة التي تليها . فالطاقة التي تشتمل عليها الهزة تصل الى آخر عربة مع أن القطار كله يبقى في مكانه . وبهذه الطريقة تنتقل الموجات الصوتية أو الذبذبات في الهواء أو الماء أو أي واسطة أخرى . ومع هذا فإن حركات الموجات دقيقة الى حد أنها لا ترى .

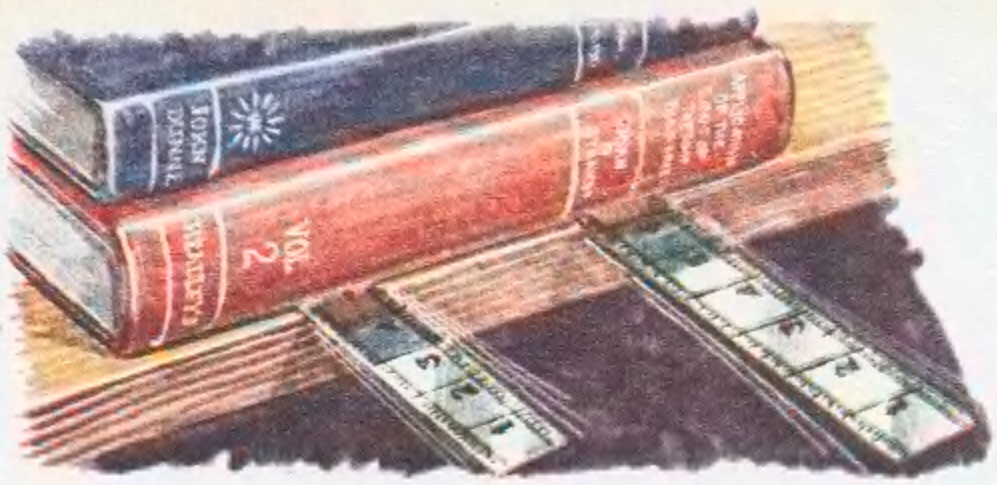
ويمكن لموجات الصوت ان تنعكس مثل موجات الضوء والحرارة . وعندما نسمعها وهي تنعكس ، نصف صوتها بالصدى . فإذا وقفت تحت أحد الجسور ، وصرختَ ، فإنك تستطيع أن تسمعَ صوتَك وهو يرتد الى أذنيك من جدران النفق تحت الجسر . ويصل الصوت وكأنه صدر من عدة أشخاص يصرخون . واذا وقفت في الهواء الطلق وحولك صخور أو تلال صخرية كبيرة وصرخت ، فإنك أيضا تسمع صدى صراخك . ويمر بعض الوقت بين إطلاق الصوت وسماع الصدى وذلك بسبب الزمن الذي يمضي بين وصول الصوت الى الجدران والصخور وبين ارتدادها الى أذنيك .

رجل يصرخ والصدى يرتد إلى أذنيه

# ٤٣- كيفَ يَتحرَّكُ الصَّوْت

تنتقل موجات الصوت عبر الهواء بسرعة تبلغ ٧٦٠ ميلاً تقريباً في الساعة،أي ما يقرب من ميل في كل خمس ثوان . وعليه ، فإنك إذا صرخت وأنت على بعد نصف ميل من الصخور ، فإنك تسمع صدى صوتك بعد خمس ثوان . فصراخك يصل الصخور بعد ٢,٥ ثانية ، ويرتد إليك بعد ٢,٥ ثانية .

أما موجات الضوء،فتنتقل بسرعة أكبر بكثير . بل تبلغ سرعتُها حداً تبدو معه وكأنها لا تستغرق وقتاً يذكر . فإذا صدر صوت من بعيد ، وانبعث ضوء في الوقت ذاته من المكان نفسه ، فإنك ترى الضوء قبل ان تسمع الصوت . وعندما تحدث عاصفة رعدية ، ترى البرق قبل أن تسمع قصف الرعد . وإذا كنت معتاداً على الحساب بالثواني يمكنك أن تعرف بالتقريب بُعدَ العاصفة ، وذلك بمعرفة عدد الثواني التي تمر بين البرق وصوت الرعد . فإذا كان عددُها عشراً ، تكون العاصفة على بعد ميلين . لكن إذا لم تمر ثانية كاملة بينهما فإنها تكون فوقك . ويستطيع البحارة أن يعرفوا عمق الماء إذا عرفوا الوقت الذي يستغرقه رجوع صدى أي صوت يطلقونه من السفينة في الماء . لكن عليهم أن يتذكروا أن الصوت ينتقل في الماء بسرعة تفوق بكثير سرعة انتقاله في الهواء بنسبة ٤ ١/٢ الى ١ . وفي طبقات الهواء العليا تقل سرعة الصوت وذلك تبعاً لقلة

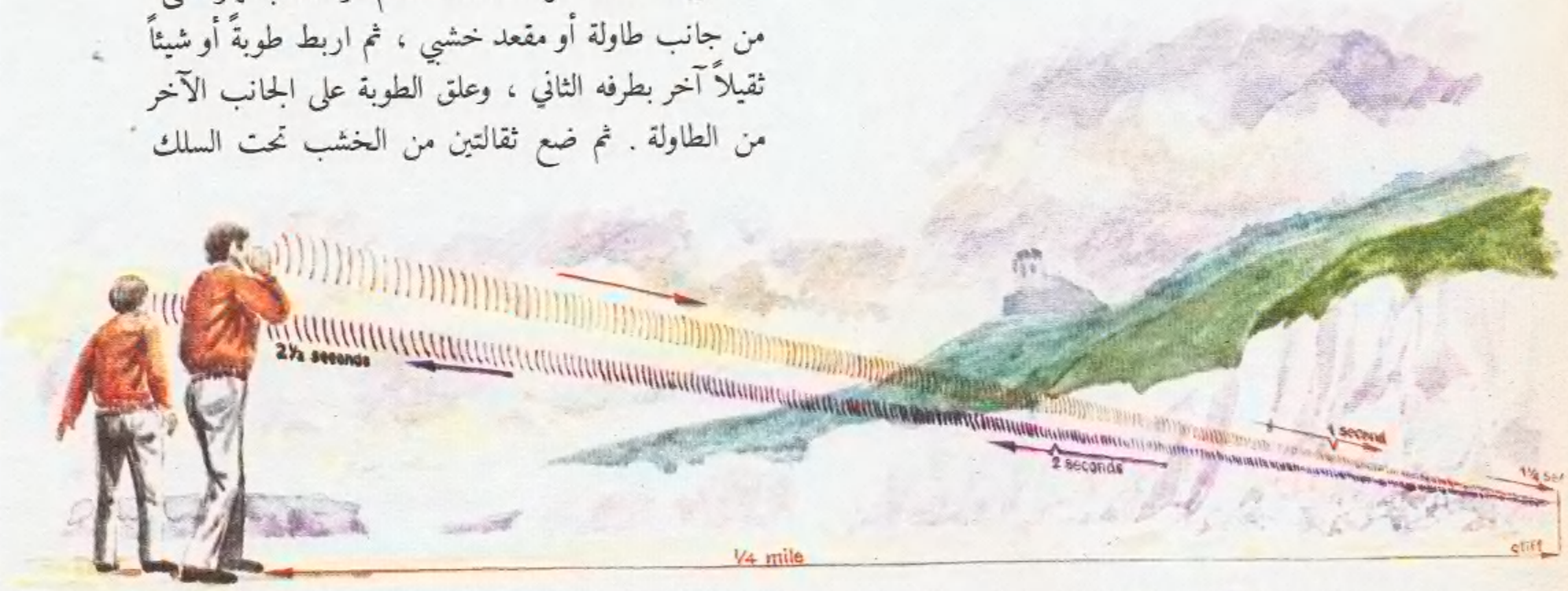


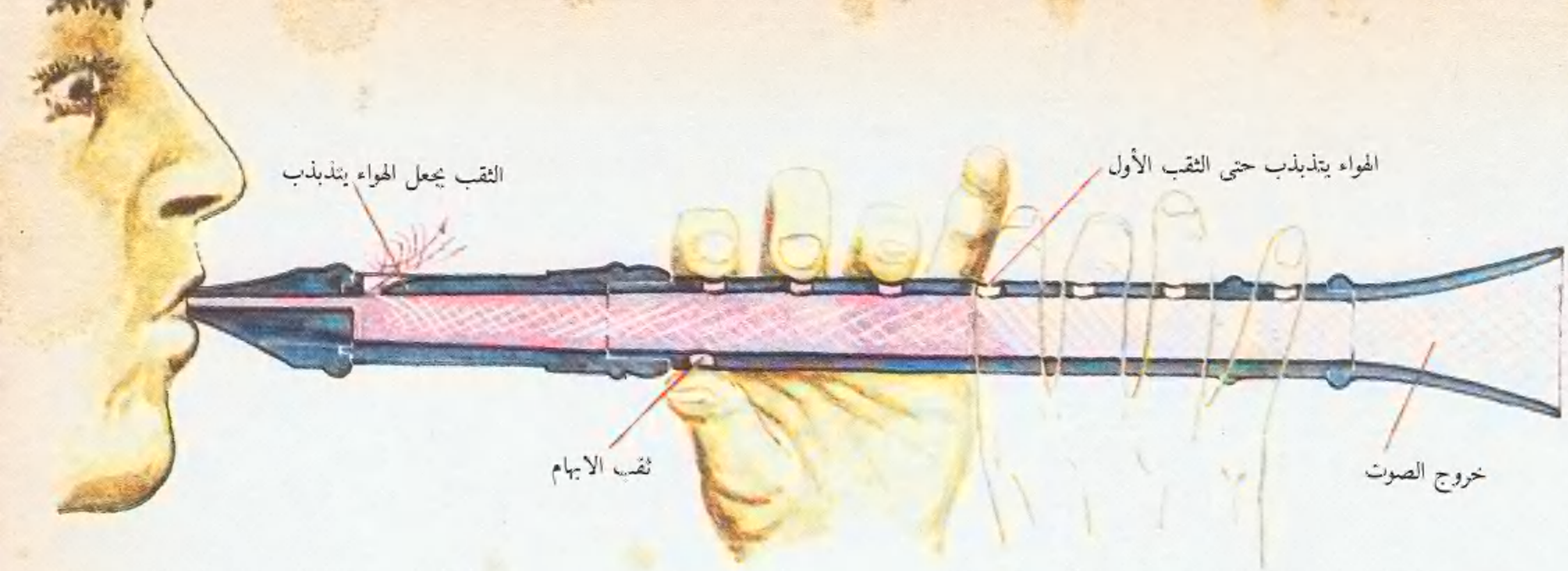
الهواء . اما خارج الجو الأرضي فلا ينتقل الصوت مطلقاً .

كنا إلى الآن نتحدث عن الصوت بوجه عام . وواقع الأمر ان هناك أنواعاً كثيرة مختلفة من الصوت . فهناك الأصوات المرتفعة ، والأصوات المنخفضة (طبقة الصوت) ، وهناك الأصوات العالية والأصوات الخافتة (مدى الصوت) وهناك الأصوات الموسيقية والأصوات غير الموسيقية (نوع الصوت) . لماذا هذه الفروق بينها ؟ الفرق يعتمد على الذبذبات والى حد ما على المادة التي ينتقل بها الصوت .

ضع عدة كتب ثقيلةً عند حافة طاولة . ثم أحضر مسطرة ، وأدخل مقدارَ ثلاث بوصات منها تحت الكتب . انقر بعد ذلك طرفها البارز ، تسمع صوتاً ، وتلاحظ ذبذبة . أدخل بعد ذلك المسطرة تحت الكتب بحيث لا يظهر منها سوى مقدار ثلاث بوصات ،وانقر طرفها مرة أخرى . لا بد وان تلاحظ في الحالة الأولى أن الذبذبة كانت بطيئة والصوت منخفضاً ؛ أما في الحالة الثانية فالذبذبة أسرع والصوت أكثر ارتفاعاً .

اربط سلكاً طوله خمسة أقدام أو ستة بمسمار ناتىء من جانب طاولة أو مقعد خشبي ، ثم اربط طوبةً أو شيئاً ثقيلاً آخر بطرفه الثاني ، وعلق الطوبة على الجانب الآخر من الطاولة . ثم ضع ثقالتين من الخشب تحت السلك



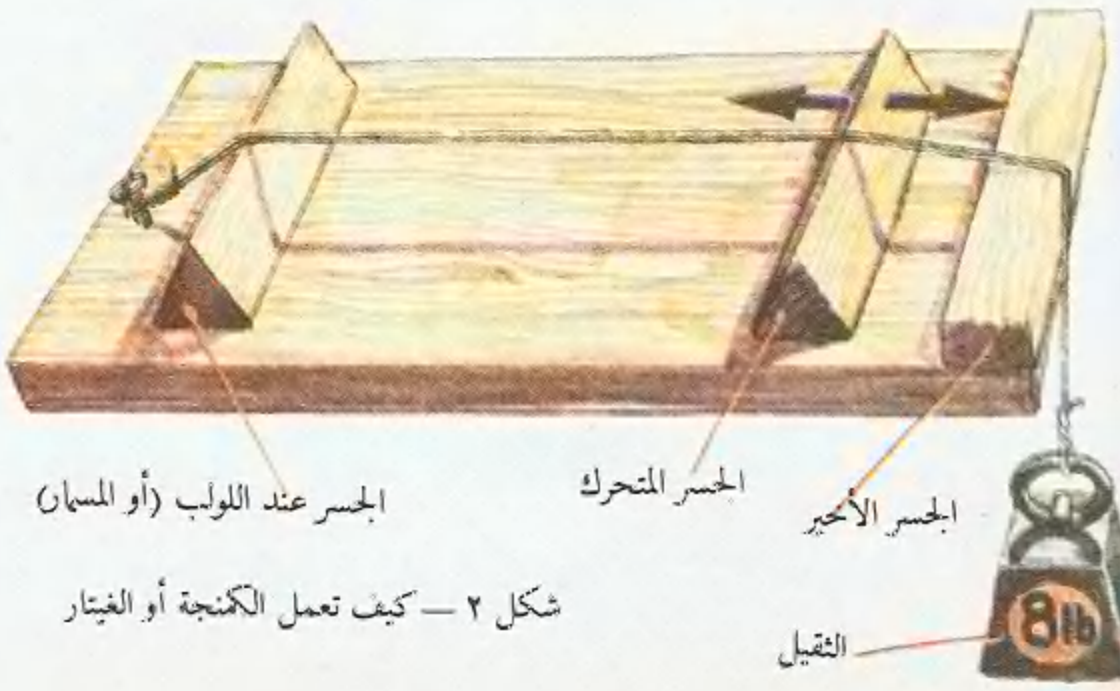



وعند أحد جانبي الطاولة ، وثقالةً ثالثة عند الجانب الآخر بعيداً من المسمار. إذا جذبت السلك بعد ذلك (شكل ٢) وكان الشيء المعلق ثقيلاً ، جاءت النغمة الموسيقية منخفضة . أما إذا قربت ثقالة الخشب الثالثة من المسمار ، فقصرت قطعة السلك المتذبذبة ، وجعلتها تتذبذب بسرعة أكبر ، فإن النغمة تكون أكثر ارتفاعاً . وهذا هو مبدأ الضرب على الكمان والغيتار . فالأوتار تكون مثبتة عند طرف من طرفيه وممتدة فوق جسر ومربوطة عند الطرف الآخر بملاو (جمع ملوى) لشد الأوتار . وبدلاً من الجسر المتحرك يضغط العازف بأصابعه على الأوتار ليخرج النغمة التي يريدها ويمر بالقوس على الأوتار بدلاً من أن يجذبها .

إذا وضعت قليلاً من الماء في قاع زجاجة حليب ونفخت فيها ، وكانت فوهة الزجاجة تحت شفتك السفلى تماماً ، فإنك تسمعُ نغمة . واذا أضفت ماء إلى ماء الزجاجة ، ثم نفخت مرة أخرى ، فإنك تسمع نغمةً أكثرَ ارتفاعاً . وكلما صببتَ المزيد من الماء فيها ، كلما ارتفعت النغمة وذلك بسبب تناقص كمية الهواء فيها . وتناقص الهواء هنا مثل تناقص طول السلك . فكلما قَصُر السلك ، ارتفع صوت النغمة . واذا أحضرت ثماني زجاجات حليب ، ووضعت فيها كميات مختلفة من الماء ، فإنك تحصل على ثمانية أنغام من أنغام السلم الموسيقي (شكل ٣) ..

ويجري الضرب على الآلات الموسيقية الوترية كلها ، كالكمان والكمنجة الكبيرة والبيانو ، بضبط طول الاوتار المتذبذبة وشدها . أما الصفارة والناي والمُسجِّل فيكون العزف عليها بضبط كمية الهواء المتذبذب .

ويعتمد علو الصوت وخفوته على «المدى» ، أي على مدى تأرجح الموجة بين جانب وجانب آخر . ولنعد الآن مرة أخرى إلى المسطرة المدسوسة تحت الكتب . فإذا نقرنا المسطرة بقوة ، كبرت ذبذبتها ،اي كبر تأرجحها من جانب إلى جانب . أما الصوت فلا ينخفض ولا يرتفع ولا يصير أكثر علوا . وإذا نفخ لاعب الناي بقوة أكبر فإن النغم يبقى هو نفسه ، ولكن الصوت يجعل جزيئات الهواء تتذبذب في مجال أوسع (أي مدى أكبر) فيزيد علو الصوت .




شكل ٢ — كيف تعمل الكمنجة أو الغيتار

شكل ٣ — الأنغام التي تتولد من النفخ في الزجاجات