حصرياً /
لموقع الفريد في الفيزياء

الفيزياء العامة وتطبيقاتها
في المجال الحيوي والطبي

تأليف

د / يسري مصطفى
أستاذ فيزياء الحالة الصلبة

د / رمضان علي حسن
أستاذ الفيزياء الطبية المساعد

د / الحسيني الطاهر
أستاذ الفيزياء المساعد

د / وليد بن جميل ألطف
أستاذ الفيزياء الإشعاعية المشارك

جامعة أم القرى ١٤٣٨ هـ - ٢٠١٧ م

الفيزياء العامة وتطبيقاتها في المجال الحيوي والطبي ... النوارس للدعاية والنشر

يستهدف هذا الكتاب الطلاب الراغبين في دراسة الفيزياء الطبية أو الحيوية في الجامعات العربية ويهدف إلى ربط بعض المفاهيم الموجودة في الفيزياء مع الأنظمة الحية. يستعرض كل باب شرحا مختصرا للخلفية الفيزيائية، مع ذلك تم تخصيص معظم النص لتطبيقات الفيزياء في علم الأحياء والطب .

يحتوي هذا الكتاب على تسعة أبواب تغطي جميعها معظم مجالات الفيزياء وتطبيقاتها في المجال الحيوي والطبي المطلوب دراستها في تخصص الفيزياء الطبية. تم استهلال الكتاب بباب يشرح مفهوم الحرارة وكمية الحرارة وتأثيرها في حياتنا، بينما يقدم الباب الثاني شرحا وافيا للموائع وخصائصها وتطبيقاتها في الجسم البشري. يقدم الباب الثالث شرحا لمبادئ الميكانيكا وإسقاطها على الجسم البشري وكذلك مفهوم الاحتكاك. يحتوي الباب الرابع شرحا لفيزياء الحركة في الكائنات الحية. يهتم الباب الخامس بمفاهيم المرونة وتطبيقاتها الحيوية، بينما يقدم الباب السادس أساسيات الكهرباء في الجسم البشري وبعض الكائنات الحية. يستعرض الباب السابع خصائص الموجات الكهرومغناطيسية والصوتية وآليه السمع عند الأنسان وبعض الحيوانات.

يقدم الباب الثامن مفهوم الضوء وآلية الرؤية عند الإنسان وبعض الكائنات الحية واستعراض البصريات التي تساعد على تمديد الرؤية. يهتم الباب التاسع بالتطبيقات الحديثة للفيزياء في المجال الحيوي والطبي واستخدامها في التشخيص وعلاج الأمراض .

مما لا شك فيه أن هذا الكتاب يسد حاجة ماسة في المكتبة العربية في مجال الفيزياء الموجهة لطلاب قسم الفيزياء الحيوية والطبية، ونرجو من الله أن تكون قد قدمنا بذلك يد العون لأبنائنا الطلاب من خلال هذا الجهد المتواضع وأن نكون قد أضفنا لبنة في مجال تعريب العلوم والله الموفق .

النوارس للدعاية والنشر
٠٥٩٩٩٠٠٨٩ ٠١٢١

حصرياً /
لموقع الفريد في الفيزياء

الفيزياء العامة وتطبيقاتها

في

المجال الحيوي والطبي

تأليف

د/ يسري مصطفى
أستاذ فيزياء الحالة الصلبة

د/ رمضان علي حسن
أستاذ الفيزياء الطبية المساعد

د/ الحسيني الطاهر
أستاذ الفيزياء المساعد

د/ وليد بن جميل ألطف
أستاذ الفيزياء الإشعاعية المشارك

جامعة أم القرى

1438 هـ - 2017 م

تقديم

بوجه عام تعتبر الفيزياء جوهر الحقيقة ويمكن تعريفها بأنها ذلك العلم الطبيعي الذي يعنى بدراسة القوانين العامة للمادة والطاقة بكافة أشكالها وبدارسة جميع أنواع التفاعلات في الكون .وبهذا التعريف يمكن القول بأن علم الفيزياء يعالج في الغالب حركة الأجسام والجسيمات، وكذلك التركيب البنائي لها، كما أنه يعالج الظواهر الخاصة بالضوء والصوت والكهربية والمغناطيسية والحرارة وغيرها من الظواهر المحيطة بنا في هذا الكون علاوة على دراسة حركات النجوم والكواكب والمجرات وكذلك نشأة هذا الكون وتطوره.

يهدف علم الفيزياء إلى إعطائنا فهما أفضل وأشمل عن الكون الذي نعيش فيه بما في ذلك أصغر مكوناته (الذرات وما بداخلها من جسيمات دقيقة) وأكبرها (المجرات والأجرام السماوية في الفضاء الكوني. وقد دخلت الفيزياء في مختلف المجالات فتحولت الحياة المادية للإنسان بفضلها إلى حياة أفضل، وذلك عن طريق استخدام التطبيقات العديدة الناتجة عنها في الكهرباء والإلكترونيات والبصريات والسمعيات والحراريات وغيرها.

مما لا يخفي على أحد أن الفيزياء لها الفضل الأول والمستمر في تطوير العديد من المجالات الأخرى مثل علم الأحياء والفيزياء الطبية. فقد ساعدت الفيزياء في فهم الجسم البشري وكيفية عمله والآليات المختلفة التي تعمل بها الأعضاء، علاوة على الكثير من الظواهر الحيوية في المحيط الذي نعيش فيه. كذلك تدين الفيزياء الطبية بالفضل في استعمال الفيزياء في مجال الأحياء والطب، فقد قدمت الفيزياء العديد من التقنيات الحديثة التي ساعدت كثيرفي مجال التشخيص والعلاج مثل التصوير بالأشعة السينية، التصوير الشعاعي المقطعي، ولتصوير بالموجات فوق سمعية، التصوير بالرنين المغنطيسي، الطب النووي، والعلاج بالإشعاع النووي وغيرها الكثير. لذلك كانت دراسة الفيزياء من الأهمية بما كان لدراسي الفيزياء الطبية والفيزياء الحيوية.

ولا يغيب عن الكثير منا أن حركة تعريب العلوم تسير ببطء شديد وتواجه صعوبات جمة وخاصة في

مجال العلوم الأساسية حتى وصل الأمر إلى خلو المكتبة العربية من المراجع العربية في العديد من التخصصات مثل الفيزياء الحيوية والطبية، ناهيك عن تدريس الفيزياء لغير المتخصصين. رغم المحاولات المتواضعة في الترجمة إلا أننا لم نرتقي بعد إلى ما هو مطلوب في تقريب العلوم إلى الإنسان العربي باللغة الأم.

أساس هذا الكتاب هو محاضرات لمقرر الفيزياء العامة التي أعطيت من قبل المؤلفين لطلاب قسم الفيزياء الطبية بكلية العلوم التطبيقية بجامعة أم القرى بمكة المكرمة. وقد وضع هذا الكتاب بشكل ملائم لهؤلاء الطلاب، ولا ندعى الأصالة في المحتوى أو في شكل العرض ولكن تم اختيار مادته لكي تؤكد الطرق الأساسية لدراسة الخصائص الفيزيائية في المجال الحيوي والطبي بأسلوب سهل وسلس تغلب فيه الفكرة على القانون والمعادلات الرياضية، حيث يحتوي كل باب على استعراض مختصر للخلفية الفيزيائية، مع ذلك تم تخصيص معظم النص لتطبيقات الفيزياء في علم الأحياء والطب. لا يتطلب الامر الى أي معرفة مسبقة بعلم الأحياء حيث تم وصف النظم البيولوجية المطلوب مناقشتها بشيء من التفاصيل نظرا لكونها ضرورية للتحليل الفيزيائي. كلما كان ذلك ممكنا، يكون التحليل كميا، ويتطلب فقط الجبر الأساسي وحساب المثلثات.

في هذا الكتاب تم الاهتمام أيضا بالصورة والمحيط العام للمعلومة دون الغوص كثيرا في التفاصيل. وفي معظمه تم التأكيد على فيزياء الجسم البشري والتطبيقات المختلفة في المجال الطبي بشرح تفصيلي وسرد العديد من الأمثلة. تم عرض محتويات الكتاب بشكل تربوي شيق ليسهل تناول مادته العلمية وليكون مرجعا مفيدا لهذا النوع من الدارسين، حيث يستهل كل باب بالأهداف التي يجب أن يحققها الطالب بعد استكمال دراسة الباب، كما يتميز بغزارة مادته، وشمول عرضه، ووفرة رسومه التوضيحية وأدراج الكثير من الأمثلة المحلولة كتطبيق للنظرية، كما تم تذييل كل باب بملخص والعديد من الأسئلة الاختيارية مع حلولها ليختبر الدارس معلوماته، علاوة على كم غزير من التمارين، هذا بالإضافة إلى انه تم تذيل الكتاب بمجموعة من الملاحق المفيدة والتي تتضمن بعض المرجعات على الأساسيات والثوابت الفيزيائية والرموز اللاتينية وبعض الصيغ الرياضية البسيطة لمساعدة الدارس

على فهم المادة العلمية.

يحتوي هذا الكتاب على تسعة أبواب تغطي جميعها معظم مجالات الفيزياء وتطبيقاتها في المجال الحيوي والطبي المطلوب دراستها الفيزياء الطبية. تم استهلال الكتاب بباب يشرح مفهوم الحرارة وكمية الحرارة وتأثيرها في حياتنا، بينما يقدم الباب الثاني شرح وافي للموائع وخصائصها وتطبيقاتها في الجسم البشري. يقدم الباب الثالث شرح مفصل لمبادئ الميكانيكا وإسقاطها على الجسم البشري وكذلك مفهوم الاحتكاك. يحتوي الباب الرابع شرح لفيزياء الحركة في الكائنات الحية سواء كانت حيوان او بعض الحشرات كمثال لفهم آلية الحركة. يهتم الباب الخامس بمفاهيم المرونة وتطبيقاتها الحيوية، بينما يقدم الباب السادس اساسيات الكهرباء في الجسم البشري وبعض الكائنات الحية. يستعرض الباب السابع خصائص الموجات الكهرومغناطيسية والصوتية وآليه السمع عند الانسان وبعض الحيوانات مثل الخفاش. يقدم الباب الثامن مفهوم الضوء وآلية الرؤية عند الانسان وبعض الكائنات الحية واستعراض البصريات التي تساعد على تمديد الرؤية. يهتم الباب التاسع بالتطبيقات الحديثة للفيزياء في المجال الحيوي والطبي حيث تقوم هذه التطبيقات على مبادئ ذرية ونووية واستخدام تقنية المواد النانومترية في التشخيص وعلاج الامراض علاوة على استخدامات أخرى.

مما لا شك فيه أن هذا الكتاب يسد حاجة ماسة في المكتبة العربية في مجال الفيزياء الموجهة لتدريس الفيزياء العامة لطلاب قسم الفيزياء الحيوية والطبية، ونرجو من الله أن نكون قد قدمنا بذلك يد العون لأبنائنا الطلاب من خلال هذا الجهد المتواضع وأن نكون قد أضفنا لبنة في مجال تعريب العلوم والله الموفق.

المؤلفون

فهرس المحتويات

الباب الأول - الحرارة في حياتنا - 13 -

1-1 مفهوم الحرارة ودرجة الحرارة - 15 -

2-1: النظرية الحركية للمادة - 15 -

3-1: الحرارة النوعية والحرارة الكامنة - 20 -

4-1: انتقال الحرارة - 21 -

1-4-1: التوصيل - 21 -

2-4-1: الحمل الحراري - 23 -

3-4-1: الإشعاع - 24 -

5-1: الانتشار وحركة الجزيئات - 26 -

1-5-1: انتقال الجزيئات عن طريق الانتشار - 29 -

2-5-1: الانتشار خلال الأغشية - 31 -

3-5-1: الجهاز التنفسي - 33 -

4-5-1: منشطات السطح والتنفس - 36 -

5-5-1: الانتشار والعدسات اللاصقة - 37 -

6-1: الديناميكا الحرارية - 38 -

1-6-1: القانون الأول للديناميكا الحرارية - 38 -

2-6-1: القانون الثاني للديناميكا الحرارية - 39 -

7-1: مقارنة بين الحرارة والأشكال الأخرى للطاقة - 41 -

8-1: الديناميكا الحرارية في الأنظمة الحية - 44 -

9-1: المعلوماتية والقانون الثاني - 47 -

10-1: الحرارة والحياة - 49 -

1-10-1: احتياجات الناس من الطاقة - 50 -

2-10-1: معدل الأيض الأساسي وحجم الجسم - 51 -

3-10-1: متطلبات الطاقة و الغذاء - 53 -

11-1: تنظيم درجة حرارة الجسم - 57 -

12-1: التحكم في درجة حرارة الجلد - 59 -

1-12-1 الجلد والحمل الحراري - 59 -

2-12-1: تأثير الإشعاع من الجسم - 61 -

3-12-1 التسخين من الإشعاعي الشمسي - 62 -

4-12-1: تبريد الجلد بالتبخر - 63 -

1-13: مقاومة الجسم للبرد - 65 -
1-14: الحرارة والتربة - 67 -
ملخص الباب - 69 -
اختبر معلوماتك - 74 -
التمارين - 79 -

الباب الثاني – الموائع سر الحياة - 83 -

2-1: الموائع الساكنة وخصائصها - 84 -
2-1-1: الموائع - 84 -
2-1-2: القوة والضغط في الموائع - 84 -
2-2: مبدأ باسكال وتطبيقاته الحيوية - 86 -
2-2-1: مبدأ باسكال - 86 -
2-2-2: التطبيقات الحيوية لمبدأ باسكال - 87 -
2-3: مبدأ ارخميدس وتطبيقاته الحيوية - 90 -
2-3-1: مبدأ ارخميدس - 90 -
2-3-2: الطاقة المطلوبة للبقاء طافيا - 91 -
2-3-3: التطبيقات الحيوية للطفو - 93 -
2-4: التوتر السطحي وتطبيقاته الحيوية - 94 -
2-4-1: التوتر السطحي - 94 -
2-4-2: التطبيقات الحيوية للتوتر السطحي - 97 -
2-4-3: منشطات السطح - 103 -
2-5: الموائع المتحركة وخصائصها - 106 -
2-5-1: التدفق ومعادلة برنولي - 106 -
2-5-2: اللزوجة وقانون بوازوي - 108 -
2-5-3: التدفق المضطرب - 110 -
2-6: التطبيقات الحيوية للموائع المتحركة - 111 -
2-6-1: الطاقة المنتجة بواسطة القلب - 121 -
2-6-2: قياس ضغط الدم - 122 -
ملخص الباب - 123 -
اختبر معلوماتك - 126 -
التمارين - 134 -

الباب الثالث -ميكانيكا الجسم البشري والاحتكاك - 137 -

مقدمة - 138 -

1-3 الاتزان - 139 -

2-3: الاتزان للجسم البشري - 140 -

3-3: استقرار الجسم البشري تحت تأثير قوة خارجية - 141 -

4-3: العضلات الهيكلية - 143 -

5-3: الروافع خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

6-3: حركة مفصل الكوع خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

7-3: حركة مفصل الورك خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

8-3: حركة الشخص الاعرج خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

9-3: حركة الجذع خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

10-3: الوقوف على رؤوس أصابع القدم واحدة خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

11-3: السمات الديناميكية لوضع الجسم خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

12-3: الاحتكاك خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

13-3 الوقوف علي سطح منحدر خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

14-3: الاحتكاك في مفصل الورك خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

15-3: زعنفة ظهر سمك السلور خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

ملخص الباب خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

اختبر معلوماتك خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

التمارين خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

الباب الرابع – فيزياء الحركة في الكائنات الحية - 145 -

1-4: الحركة الانتقالية وخصائصها - 146 -

1-1-4: الوثب الرأسي من وضع منحني - 148 -

2-1-4: تأثير الجاذبية على القفز الرأسي خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

3-1-4: الوثب العالي من وضع الجري خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

4-1-4: مدى القذيفة خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

5-1-4: القفز الطويل من وضع الوقوف خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

6-1-4: الوثب الطويل من وضع الجري خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

2-4: الحركة في الهواء خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

3-4: الطاقة المستهلكة في النشاط البدني خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

4-4: الحركة الزاوية خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

1-4-4: القوى على المسار المنحني خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

4-4-2: العدو على مسار منحني خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
4-5: البندول خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
4-6: دراسة حركة المشي خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
4-7: البندول الفيزيائي خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
4-8: دراسة فيزياء المشي والجري خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
4-8-1: سرعة المشي والجري خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
4-8-2: الطاقة المبذولة في الجري خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
4-8-3: وجهات نظر بديلة في المشي والجري خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
4-9: حمل أثقال خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
ملخص الباب خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
اختبر معلوماتك خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
التمارين خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

الباب الخامس – المرونة وتطبيقاتها الحيوية - 152 -

5-1: المرونة وخصائصها - 153 -
5-2:الأجهاد والانفعال والاستطالة والانضغاطية - 153 -
5-2-1:الأجهاد - 153 -
5-2-2: الانفعال - 154 -
5-2-3:الاستطالة والانضغاطية - 154 -
5-3: قانون هوك - 155 -
5-4:التطبيقات الحيوية للمرونة - 158 -
5-4-1: كسر العظم: اعتبارات الطاقة - 158 -
5-4-2: قوى الاندفاع و الكسر نتيجة السقوط - 159 -
5-4-3: الوسائد الهوائية في السيارات - 162 -
5-4-4: الإصابة المصعية (بالرقبة) - 164 -
5-4-5: السقوط من ارتفاع كبير - 164 -
5-4-6: هشاشة العظام الرياضة - 165 -
5-5: طيران الحشرات - 166 -
5-5-1: طيران التحليق - 166 -
5-5-2: عضلات جناح الحشرة - 168 -
5-5-3: الطاقة المطلوبة للتحليق - 170 -
5-5-4:الطاقة الحركية للأجنحة أثناء الطيران - 171 -
5-5-5: مرونة الأجنحة - 172 -

ملخص الباب - 175 -
اختبر معلوماتك - 177 -
التمارين - 180 -

الباب السادس - الكهرباء وتطبيقاتها الحيوية خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

6 -1: الجهاز العصبي خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
6 -1-1: العصبون خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
6 -1-2 الجهود الكهربية في المحوار خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
6 -1-3 : جهد الفعل خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
6 -1-4 المحوار ككابل كهربي خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
6 -1-5 انتشار جهد الفعل خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
6 -1-6 تحليل دائرة المحوار العصبي خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
6 -1-7: الإرسال المشبكي خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
6 -1-8: جهد الفعل في العضلات خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
6 -1-9: الجهود السطحية خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
6 -2: الكهرباء في النباتات خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
6 -3: الكهرباء في العظام خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
6 -4: الأسماك الكهربية خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
6 -5: التكنولوجيا الكهربائية في الأبحاث البيولوجية خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
6 -6 معدات التشخيص خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
6 -6-1 مخطاط كهربية القلب - 182 -
6 -6-2 مخطاط كهربية الدماغ - 183 -
6 -7 الآثار الفسيولوجية للكهرباء - 184 -
6 -8 أنظمة التحكم - 186 -
6 -9 التغذية المرتدة - 188 -
6 -10 وسائل المساعدة الحسية - 191 -
6 -10-1 وسائل مساعدة السمع - 192 -
6 -10-2 زراعة القوقعة - 193 -
اختبر معلوماتك - 196 -
التمارين - 200 -

الباب السابع – خصائص الموجات والسمع خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

7-1: الخصائص الفيزيائية للموجات خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

7-1-1: الانعكاس والانكسار خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

7-1-2: تداخل الموجات خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

7-1-3: الحيود خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

7-2: خصائص الموجات الصوتية خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

7-3: الأذن وعملية بالسمع خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

7-3-1: تركيب الأذن خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

7-3-2 : الإحساس بالسمع خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

7-3-3: التردد و حدة الصوت خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

7-3-4 شدة الصوت والجهارة خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

7-4: الاصوات وعالم الحيوان خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

7-4-1: الخفافيش وصدى الصوت خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

7-4-2: أصوات تصدرها حيوانات أخرى خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

7-4-3: الفخاخ الصوتية خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

7-5 الموجات فوق الصوتية - 203 -

7-6: الضوضاء - 206 -

7-6-1: حدة الصوت والضوضاء - 207 -

7-6-2: مصادر الضوضاء - 208 -

7-6-3: أضرار الضوضاء - 210 -

7-6-4: المقترحات غير الرسمية للحد من ظاهرة الضوضاء - 211 -

7-7: المخدرات الرقيمة - 213 -

ملخص الباب - 214 -

اختبر معلوماتك - 217 -

التمارين - 221 -

الباب الثامن – البصريات مصورة الكون - 223 -

8-1: الضوء والبصريات - 224 -

8-2: طبيعة وسرعة الضوء - 225 -

8-2-1: طبيعة الضوء - 225 -

8-2-2: سرعة الضوء - 225 -

8-3: الرؤية وتركيب العين والتكيف - 226 -

8-3-1: الرؤية - 226 -

8-3-2: تركيب العين - 227 -
8-3-3: التكيف - 228 -
8-4: التطبيقات الحيوية على التكيف - 229 -
8-4-1: تكيف العين البشرية - 229 -
8-4-2: تكيف أعين بعض الكائنات الحية - 229 -
8-5: العين والكاميرات - 236 -
8-5-1 القزحية وعمق المجال - 238 -
8-6: عدسة العين والعين المصغرة - 239 -
8-6-1: نظام عدسة العين - 239 -
8-6-2:العين المصغرة - 240 -
8-7: الشبكية و قدرة فصل العين - 242 -
8-7-1: تركيب الشبكية - 242 -
8-7-2: قدرة فصل العين - 244 -
8-8: حد ومد الرؤية - 246 -
8-8-1: حد الرؤية - 247 -
8-8-2: عيوب الرؤية - 248 -
8-8-3: تصحيح عيوب الرؤية - 250 -
8-9: تمديد الرؤية بواسطة البصريات - 251 -
9-8-1: المنظار - 252 -
9-8-2: المجهر - 253 -
9-8-3: المجهرية المتحدة-البؤرة - 254 -
9-8-4: الألياف البصرية - 258 -
ملخص الباب - 260 -
اختبر معلوماتك - 263 -
التمارين - 269 -

الباب التاسع – تطبيقات حيوية وطبية للفيزياء خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

9-1 الذرة خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
9-2 المطيافية خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
9-3 مفهوم ميكانيكا الكم خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
9-4: التطبيقات الذرية في المجال الحيوي والطبي خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
9-4-1: المجهر الإلكتروني خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
9-4-2: الأشعة السينية خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

9-4-3: التصوير المقطعي المحوسب خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
9-5: الليزرات وتطبيقاتها في الطب خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
9-5-1: منشأ الليزر خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
9-5-2 جراحة الليزرات خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
9-5-3: الليزر في التصوير الطبي خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
9-5-4: الليزرات في التشخيص الطبي خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
9-6: مجهرية القوة الذرية وتطبيقاتها خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
9-7: النشاط الإشعاعي للمادة ةالرنين النووي المغناطيسي خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
9-7-1 النشاط الاشعاعي خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
9-7-2: الرنين النووي المغناطيسي خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
9-8: التصوير بالرنين النووي المغناطيسي والوظيفي خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
9-8-1: التصوير بالرنين النووي المغناطيسي خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
9-8-2: التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
9-9: العلاج الإشعاعي وبعض استخدامات المواد المشعة خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
9-9-1: العلاج الإشعاعي خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
9-9-2: استخدامات المواد المشعة في المجال الحيوي والطبي خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
9-10: تقنية النانو وتطبيقاتها في علم الأحياء والطب خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
9-10-1 مقدمة: التراكيب النانومترية خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
9-10-2: بعض خصائص تركيب المواد النانومترية خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
9-10-3: التطبيقات الطبية لتقنية النانو خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
9-11: مخاوف استخدام الجسيمات النانومترية في المنتجات الاستهلاكية خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
9-12: قوانين الفيزياء والحياة: نظرة فلسفية خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
ملخص الباب خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
اختبر معلوماتك خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
التمارين خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

ملاحق الكتاب - 270 -

بعض المراجع المفيدة - 310 -

ملحوظة: تم حذف جزء من النص محافظة على حقوق النشر

الباب الأول - الحرارة في حياتنا

المحتوى

1-1 مفهوم الحرارة ودرجة الحرارة

2-1: النظرية الحركية للمادة

3-1: الحرارة النوعية والحرارة الكامنة

4-1: طرق انتقال الحرارة بالتوصيل والحمل الحراري والاشعاع

5-1: الانتشار وحركة الجزيئات والجسم البشري

6-1: الديناميكا الحرارية

7-1: مقارنة بين الحرارة والأشكال الأخرى للطاقة

8-1: الديناميكا الحرارية في الأنظمة الحية

9-1: المعلومات والقانون الثاني

10-1: الحرارة والحياة

11-1: تنظيم درجة حرارة الجسم

12-1: التحكم في درجة حرارة الجلد

13-1 مقاومة الجسم للبرد

14-1: الحرارة والتربة

الأهداف

بعد استكمال دراسة هذا الباب يجب أن يكون الدارس قادراً على:-

- شرح مفهوم الحرارة وتعريف درجة الحرارة والتفريق بينهما ومناقشة مختلف الخصائص المرتبطة بالحرارة باستخدام النظرية الحركية للمادة. المقارنة بين المقاييس المختلفة لدرجة الحرارة وتعريف كل من كمية الحرارة والحرارة النوعية والحرارة الكامنه ووحدات قياسها ومناقشة النظريات المختلفة لانتقال الحرارة في المواد واستنتاج القوانين التي تحكمها.
- مناقشة ظاهرة انتقال الجزيئات خلال الاغشية عن طريق الانتشار واهميتها في تفسير عملية التنفس وتعريف منشطات السطح ودورها في عملية التنفس والتعرف على القوانين الاساسية للديناميكا الحرارية وعلم طاقة في الحيوان.
- المقارنة بين الحرارة والأشكال الأخرى للطاقة ودور الديناميكا الحرارية في الأنظمة الحية ومناقشة اهمية ودور الطاقة في الحياة وحساب احتياجات الناس من الطاقة في الانشطة المختلفة.
- استنتاج العلاقة الرياضية لمعدل الأيض الأساسي وعلاقته بحجم الجسم وحساب احتياجات الشخص من الطاقة في الانشطة المختلفة.
- مناقشة العوامل المختلفة التي تؤثر في درجة حرارة جلد الانسان وكيفية التحكم في درجة حرارته وشرح كيفية مقاومة

الجسم للبرد.

- مناقشة الخصائص الحرارية للتربة والعوامل التي تعتمد عليها.

1-1 مفهوم الحرارة ودرجة الحرارة

إن الإحساس بالدفء بشكل خاص مألوف لنا جميعا. في الواقع، يوجد اختلاف كبير بين مصطلح درجة الحرارة ومصطلح الحرارة في عالم الفيزياء. بالرغم من أن هذا الاختلاف ليس واضح بالكامل، إلا أن درجة الحرارة تتعلق بطاقة ذرات وجزيئات الجسم والحرارة هي الطاقة التي تتدفق من جسم إلى آخر عندما يكون هناك اختلاف بين درجات حرارتهما. من التجربة نعرف أنه عندما يتلامس جسمين أحدهما ساخنا والأخر باردا، فإن الجسم الأكثر سخونة سوف يبرد والجسم الأكثر برودة سوف يسخن ويستمر ذلك حتى تصبح درجة دفء الجسمين هي نفسها. من الواضح أن شيئا ما قد انتقل من أحد الجسمين إلى الجسم الآخر لمعادلة دفئهما. إن ما قد انتقل من الجسم الساخن إلى الجسم بارد يسمى الحرارة. يمكن تحويل الحرارة إلى شغل أيضا، وبالتالي فالحرارة هي شكل من أشكال الطاقة. الماء الساخن، على سبيل المثال، يمكن أن يتحول إلى بخار، والبخار يمكنه أن يضغط على مكبس. في الواقع، يمكن تعريف الحرارة بانها الطاقة المنقولة من جسم أكثر سخونة إلى جسم أكثر برودة، بينما درجة الحرارة هي حالة دفء الجسم التي معها تنتقل حرارة إليه أو منه عندما يتلامس مع جسم أخر.

في هذا الباب، سوف نناقش مختلف الخصائص المرتبطة بالحرارة. سوف نصف حركة الذرات والجزيئات بسبب الطاقة الحرارية ومن ثم مناقشة الانتشار فيما يتعلق بعمل الخلايا والجهاز التنفسي.

1-2: النظرية الحركية للمادة

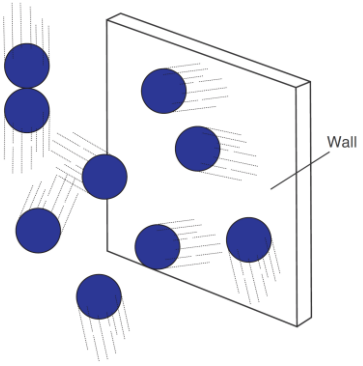
لفهم المفهوم الحالي للحرارة، يجب علينا أن نوضح بإيجاز التركيب البنائي(بنية) للمادة. المادة مصنوعة من ذرات وجزيئات في حركة فوضوية مستمرة. في الغاز، لا تكون الذرات (أو الجزيئات) مرتبطة معا، ولكنها تتحرك في اتجاهات عشوائية وكثيرا ما تصطدم مع بعضها البعض ومع جدران الإناء الحاوي. بالإضافة إلى الحركة الخطية، تهتز جزيئات الغاز وتدور، مرة أخرى، في اتجاهات

عشـوائية. أما في المادة الصـلبة، حيث تكون الذرات مرتبطة معا بقوة، تكون الحركة العشـوائية أكثر تقييدا. تكون الذرات حرة فقط لتهتزوتفعل ذلك، بشـكل عشـوائي حول موضـع الاتزان المقيدة عنده. في حالة السـوائل يكون الوضـع بين هذين النقيضـين. هنا يمكن للجزيئات أن تهتز، لكنها تملك أيضـا بعض حرية التحرك والدوران.

بسـبب حركتها، تظهر الجسـيمات المتحركة في المادة طاقة حركة. تسـمى طاقة الحركة هذه داخل المواد بالطاقة الداخلية، وتسـمى الحركة نفسـها بالحركة الحرارية. إن ما وصـفناه حتى الآن بشـكل نوعي بدفء الجسـم هو مقياس للطاقة الداخلية. بمعنى انه، في الأجسـام الأكثر سـخونة، تكون الحركة العشـوائية للذرات والجزيئات أسـرع مما هي عليه في الأجسـام الأبرد. لذلك، كلما كان الجسـم أكثر سخونة، كلما كانت الطاقة الداخلية له أعلى. إن الإحساس المادي للدفء هو تأثير هذه الحركة الذرية والحركة الجزيئية العشـوائية على آلية الإحسـاس. إن درجة الحرارة هي مقياس كمي للدفء. تتناسـب الطاقة الداخلية للمادة مع درجة حرارتها. باسـتخدام هذه المفاهيم، يكون من الممكن اشـتقاق المعادلات التي تصـف سـلوك المادة كدالة في درجة الحرارة والغازات هي الأبسـط في التحليل. النظرية تعتبر أن الغازيتكون من جسـيمات صـغيرة (ذرات أو جزيئات) والتي تكون في حركة عشـوائية مسـتمرة. يسـافر كل جسـيم في خط مسـتقيم حتى يصـطدم مع جسـيم آخر أو مع جدران الإناء. بعد الاصـطدام، يتغير اتجاه وسـرعة الجسـيمات بشـكل عشـوائي. وبهذه الطريقة يتم تبادل الطاقة الحركية بين الجسيمات.

لا تتبادل الجسـيمات المتصـادمة الطاقة فيما بينها فقط ولكن أيضـا مع جدار الحاوية (الشـكل **1-1**). على سـبيل المثال، في البداية إذا كانت جدار الحاوية أكثر سـخونة من الغاز، تلتقط الجسـيمات المتصـادمة مع الجدار طاقة في المتوسـط من جزيئات المهتزة في الجدار. نتيجة للاصـطدام بالجدار، يسخن الغاز حتى يصير حارا مثل الجدران. بعد ذلك، وعند الاتزان لا تكون هناك محصلة تبادل طاقة بين الجدران والغاز. تسـمي هذه الحالة بحالة التوازن، في المتوسـط، يكون مقدار الطاقة المسـلمة للجدار من جزيئات الغاز مثل مقدار الطاقة التي تلتقطه الجزيئات من الحائط.

تختلف السـرعة وطاقة الحركة المقابلة للجسـيمات الفردية في الغاز على نطاق واسـع. لا يزال من الممكن حسـاب متوسـط الطاقة الحركية للجسـيمات بجمع الطاقة الحركية لكل الجسـيمات الفردية في الحاوية والقسـمة على العدد الكلي للجسـيمات. يمكن اشـتقاق العديد من خصـائص الغاز ببسـاطة بافتراض أن كل جسيم له نفس متوسط الطاقة.

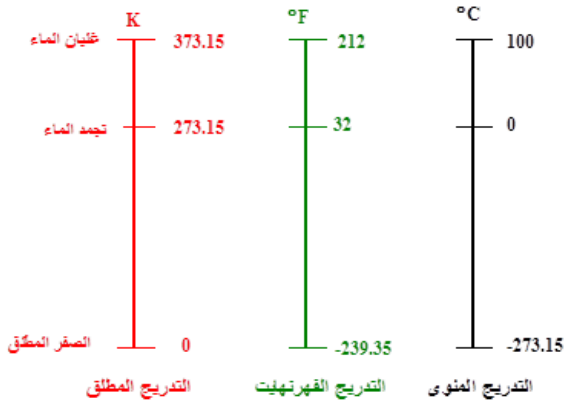


الشكل **1-1** : التصادمات في الغاز.

كما هو الحال في أي قياس، يتم تدريج مقياس درجة حرارة إلى وحدات، وتوجد عدة مقاييس مختلفة لدرجة الحرارة. إن المقاييس الأكثر شـيوعا هي المقياس السـيلزيوسـي (المئوي) (^{o}C)، والفهرنهايتي (^{o}F)، والكلفن أو المقياس المطلق (K)، والتي سميت على اسم أندرس سيلزيوس، غابرييل فهرنهايت، ووليام تومسـن (اللورد كلفن)، على التوالي، وهم من طورها أولا، انظر الشـكل **1-2**. بشـكل عام، تسـتعمل الدرجة الفهرنهايتية في الولايات المتحدة، بينما أغلب بقية العالم فإنهم يسـتعملون المقياس المئوي.

يسـتند المقياس الفهرنهايتي والمئوي على درجتي حرارة هما نقطتي تجمد وغليان الماء. في المقياس الفهرنهايتي، تعرف درجتي الحرارة هاتان بـــ 32 و 212 ، على التوالي؛ في المقياس المئوي، تكونا 0 و 100. (نظراً لأن ضغط الهواء، وبالتالي الارتفاع، يؤثران على هذه النقاط، فإن درجات الحرارة المعرفة تشـير إلى نقاط تجمد وغليان الماء عند مسـتوى سـطح البحر.) إن هذه الأعداد اختيارية، حيث يمكن اسـتخدام أي عددين. لكن عند الاختيار، يعطى العددان مقياس (تدريج) يقرر حجم الوحدات، والتي

تسمى درجات. يوجد $212-32=180$ درجة بين نقطتي غليان وتجمد الماء في المقياس الفهرنهايتي، و درجة في المقياس السليزيوسى. (يسمى السليزيوس أحيانا "بالدرجة المئوية" الأمر الذى يعكس حقيقة إنه يستند على العدد 100.) من الواضح إن الدرجة في المقياس الفهرنهايتي لا تساوي الدرجة في المقياس المئوي، وتعطى العلاقة بين المقياسين بالمعادلة $T_{\text{Fahrenheit}}=1.8T_{\text{Celsius}}+32$.



الشكل **1-2**: مقارنة بين المقاييس المختلفة.

في مقياس الكلفن (أو المطلق) يكون حجم الوحدة المأخوذة تماما مثلها في المقياس المئوي. يكون غليان الماء (عند مستوى سطح البحر) أعلى بـ 100 وحدة من تجمد الماء في كل من المقياس المئوي والمطلق. لكن في المقياس المطلق، تكون نقطة تجمد الماء هي 273.15 كلفن، ودرجة الغليان هي 273.15 كلفن، انظر الشكل **1-2**. قد تبدو هذه الأعداد اختيارات غريبة، لكنها تستند في المقياس المطلق على وجود درجة الحرارة الأبرد (الصفر المطلق). لا يمكن لأى جسم أن يصبح أبرد من هذه درجة الحرارة، والتي تعرف بالصفر المطلق. إن اختيار درجة الحرارة هذه كصفر عينت كل القيم الأخرى علي المقياس، بما في ذلك درجة تجمد ودرجة غليان الماء، لأن حجم الوحدة، المسماة بالكلفن اختير ليكون مساويا للدرجة المئوية.

بفضل مقياس درجة الحرارة، يمكن للناس أن يحددوا ما هي درجة الحرارة ويقارنوا بين درجات حرارة الأجسام المختلفة. فعلى سبيل المثال يمكن وضع درجة حرارة فرن بدقة عند $450\,^{\circ}\text{F}$ ($232.2\,^{\circ}\text{C}$)، وهى أسخن بكثير من درجة غليان الماء. قد تكون درجة حرارة الجو في أحد أيام يناير في لبنان هي

$-13\,^{o}\mathrm{F}$ ($-25\,^{o}\mathrm{C}$)، وهى درجة حرارة بالتأكيد سوف تجمد قدح من الماء بسرعة. تصل درجة حرارة سطح الشمس إلى حوالي $5815\,^{o}\mathrm{C}$ ، بينما تكون درجة حرارة داخل الشمس $5815\,^{o}\mathrm{C}$ (والتي يمكن في الوقت الحاضر أن تحسب افتراضيا فقط.

عودة إلى الطاقة الداخلية. تكون الطاقة الداخلية في الغاز المثالي علي شكل طاقة حركية (باعتبار نظرية بسيطة تهمل الذبذبات وطاقة الدوران للجزيئات)، ولذلك يتناسب متوسط طاقة الحركة $\left[\left(\frac{1}{2}mv^2\right)_{\mathrm{av}}\right]$ مع درجة الحرارة. يمكن كتابة العلاقة بين طاقة حركة جزيئات الغاز ودرجة حرارتها ، T ، على الصورة،

$$\left(\frac{1}{2}mv^2\right)_{\mathrm{av}} = \frac{3}{2}kT \qquad \textbf{1-1}$$

الرمز k هو ثابت التناسب، ويسمى بثابت بولتزمان. في هذه المعادلة تقاس درجة الحرارة على مقياس الحرارة المطلق بدرجة كلفن. يكون مقدار تقسيم الدرجة على المقياس المطلق (K) مثل مقدار تقسيم السيلزيوس، أو الدرجة المئوية ($^{o}\mathrm{C}$)، ولكن المقياس المطلق يحول إلى مئوي بحيث يكون $0\,^{o}\mathrm{C} = 273^{o}\ \mathrm{K}$ ، وقيمة ثابت بولتزمان هي $k = 1.38 \times 10^{-23}\ \mathrm{J/molecule\ K}$. تسمى السرعة في المعادلة السابقة بالسرعة الحرارية.

في كل مرة يصطدم فيها الجزيء مع الجدار، تنقل قوة دفع (زخم) إلى الجدار. يكون التغير في الزخم في وحدة الزمن هو عبارة عن قوة. ينتج الضغط الذي يمارسه الغاز على جدران الإناء الذي يحتويه عن عدد هائل من تصادمات الغاز مع الإناء. العلاقة التالية بين الضغط P ، والحجم V ، ودرجة الحرارة T مشتقة في معظم نصوص الفيزياء الأساسية وتكون على النحو التالي:

$$PV = NkT \qquad \textbf{1-2}$$

N هنا هو العدد الكلي لجزيئات الغاز في الإناء الذي له حجم V ، وتقاس درجة الحرارة على المقياس المطلق.

في الإناء المغلق، يكون العدد الكلي للجزيئات N مقدارثابت. لذلك، إذا تم الحفاظ على درجة الحرارة دون تغيير، فإن حاصل ضرب الضغط والحجم يكون مقدارثابت. هذا هو المعروف باسم قانون بويل.

تقاس كمية الحرارة بالسعرات الحرارية ويعرف السعر الحراري (الكالوري) بأنه كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة **1** جرام من الماء درجة واحدة مئوية ($1\,^{o}\mathrm{C}$). في الواقع، نظرا لأن هذه القيمة تعتمد إلى حد ما على درجة الحرارة الأولية للماء، يعرف السعر الحراري بأنه كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة **1** جرام من الماء من **14.5** درجة مئوية إلى **15.5** درجة مئوية. لاحظ أن سعر واحد يساوي **4.184** جول. في علوم الحياة، تقاس الحرارة عادة بوحدات الكيلوسعر، والذي يختصر بالرمز Cal ($1\mathrm{Cal} = 1000\mathrm{cal}$). تقدر كمية الحرارة اللازمة لتغيير درجة حرارة الجسم بحاصل ضرب كتلة الجسم وحرارته النوعية والتغير في درجة الحرارة

1-3: الحرارة النوعية والحرارة الكامنة

الحرارة النوعية هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة **1** جرام من مادة بمقدار **1** درجة مئوية. يدون الجدول **1-1** الحرارة النوعية لبعض المواد.

يتكون جسم الإنسان من الماء وبروتينات، ودهون، ومعادن. إن الحرارة النوعية للجسم تعكس هذه التركيبة. مع **75**٪ ماء و**25**٪ من البروتين، فإن الحرارة النوعية للجسم تكون،

$$\text{Specific heat} = 0.75\times1 + 0.25\times0.4 = 0.85\,\text{cal/g.}^{o}\text{C}$$

والحرارة النوعية لجسم الإنسان العادي تكون أقرب إلى **0.83** سعر/جرام.درجة مئوية بسبب محتوى الدهون والمعادن فيه، وهو ما لم يدرج في الحساب.

لتحويل المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة عند نفس درجة الحرارة أو لتحويل سائل إلى غاز يجب إعطاء طاقة حرارية للمادة تسمى بالحرارية الكامنة. تعرف الحرارة الكامنة للانصهار بأنها كمية الطاقة اللازمة لتحويل **1** جرام من المادة الصلبة إلى سائلة عند نفس درجة الحرارة. كما تعرف الحرارة الكامنة للتبخير بأنها كمية الحرارة اللازمة لتحويل **1** جرام من السائل إلى غاز عند نفس درجة

الحرارة.

الجدول 1-1 الحرارة النوعية لبعض المواد.

المادة	الحرارة النوعية (سعر/جرام.درجة مئوية)
الماء	1
الثلج	0.83
التربة	0.2 إلى 0.8، اعتمادا على محتوى الماء
الألومنيوم	0.214
البروتين	0.4

1-4: انتقال الحرارة

تنتقل الحرارة من منطقة الى أخرى بثلاثة طرق هي: التوصيل، والحمل والاشعاع (انظر الشكل 1-3)، كما يتضح فيما يلي.

1-4-1: التوصيل

عند وضع إحدى طرفي قضيب صلب بالقرب من مصدر حراري مثل النار، نلاحظ انه بعد مرور بعض الوقت يصبح الطرف الآخر للقضيب ساخنا. في هذه الحالة، انتقلت الحرارة من النار خلال القضيب إلى الطرف البعيد عن طريق التوصيل. إن عملية التوصيل الحراري تنطوي على زيادة الطاقة الداخلية في المادة. تدخل الحرارة من أحد نهايتي القضيب وتزيد من الطاقة الداخلية للذرات القريبة من مصدر الحرارة. في المواد الصلبة، تكون الطاقة الداخلية في اهتزاز الذرات المقيدة وفي الحركة العشوائية للإلكترونات الحرة، والتي توجد في بعض المواد. إن إضافة الحرارة يزيد كل من الاهتزازات الذرية العشوائية وسرعة الإلكترونات. إن الحركة الاهتزازية المتزايدة تنقل على طول القضيب من خلال التصادمات مع الذرات المجاورة. مع ذلك، نظرا لأن الذرات في المادة الصلبة تكون مربوطة بإحكام، فإن حركتها تكون مقيدة. لذلك، يكون انتقال الحرارة عن طريق الاهتزازات الذرية بطيء.

في بعض المواد، تملك الإلكترونات في الذرات ما يكفي من الطاقة لكسر الارتباط الضعيف مع نواة محددة والتحرك بحرية من خلال المواد. تتحرك الإلكترونات بسرعة خلال المواد لدرجة أنها عندما

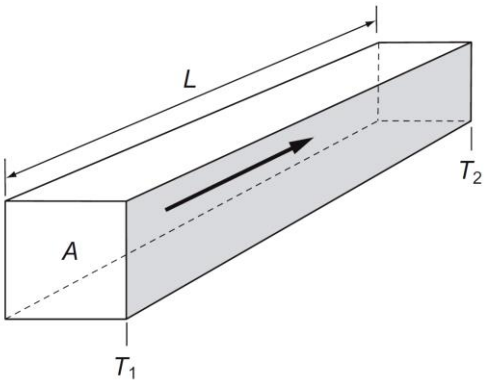
تحصـــل على طاقة، فإنها تنقلها بســـرعة إلى الإلكترونات والذرات المجاورة. وبهذه الطريقة، تنقل الإلكترونات الحرة الزيادة في الطاقة الداخلية على طول القضيب. إن مواد مثل المعادن، والتي تحتوي على إلكترونات حرة، تكون موصلات جيدة للحرارة، بينما مواد مثل الخشب، والتي لا تملك إلكترونات حرة، تكون عوازل.

الشكل 1-3: تنتقل الحرارة من منطقة الى أخرى بالتوصيل، أو بالحمل، أو بالاشعاع.

إن كمية الحرارة H_c المنقولة بالتوصـيل في الثانية من خلال قضـيب من مادة (انظر الشـكل 1-4) تعطى بالعلاقة

$$H_c = \frac{K_c A}{L}(T_1 - T_2) \qquad \text{1-3}$$

A هنا هي مســاحة مقطع القضــيب العمودية على اتجاه تدفق الحرارة، L هو طول القضــيب، و $T_1 - T_2$ هو الفرق في درجة الحرارة بين طرفي القضــيب. الثابت K_c هو معامل التوصــيل الحراري (التوصـيلية الحرارية). في نصـوص فيزياء، عادة ما يعطى K_c بوحدات سـعر.سـم/ سـم^2-ثانية-درجة مئوية. ومع ذلك،



الشكل 1-4: تدفق الحرارة خلال قضيب من المادة.

في المسائل التي تنطوي على منظومات حية، غالبا ما يكون أكثر ملاءمة التعبير عن K_c بوحدات سعر.سم/ م^2- ساعة-درجة مئوية. هذه هي كمية الحرارة (بوحدات الكيلوسعر) لكل ساعة التي تتدفق خلال لوح من مادة سمكه 1 سم ومساحته 1 متر مربع لكل درجة واحدة مئوية فرق في درجة الحرارة بين وجهي اللوح. يدون الجدول 1-2 التوصيليات الحرارية لبعض المواد.

الجدول 1-2: التوصيلية الحرارية لبعض المواد.

المادة	التوصيلية الحرارية، K_c ، $Cal.cm/m^2.hr.C^o$
الفضة	3.6×10^4
الفلين	**3.6**
نسيج (غير مشبع)	**18**
اللباد والوبر	**0.36**
الألومنيوم	1.76×10^4

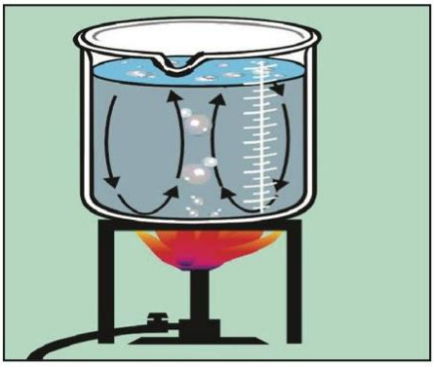
1-4-2: الحمل الحراري

في المواد الصلبة، يحدث انتقال الحرارة عن طريق التوصيل، بينما في الموائع (السوائل والغازات)، تنقل الحرارة في المقام الأول بالحمل. عند تسخين السائل أو الغاز، الجزيئات القريبة من مصدر الحرارة تكتسب طاقة، وتميل إلى الابتعاد عن المصدر. لذلك، يصبح المائع القريب من المصدر الحرارة أقل كثافة. يتدفق المائع من المنطقة الأكثر كثافة إلى المنطقة المخلخلة (الأقل كثافة)، مما يتسبب في حدوث تيارات حمل حراري. هذه التيارات تحمل الطاقة بعيدا عن مصدر الحرارة (الشكل 1-5).

عندما تتلامس جزيئات نشطة (ذات الطاقة العالية) في تيارات الحمل الساخنة مع مادة صلبة فإنها تنقل بعض من طاقتها إلى ذرات الصلب، وتزيد من الطاقة الداخلية للصلب. وبهذه الطريقة، تقترن الحرارة مع المادة الصلبة. تعطى كمية الحرارة المنقولة عن طريق الحمل الحراري في وحدة الزمن، H_c' ، بالعلاقة

$$H_c' = K_c' A(T_1 - T_2) \qquad \textbf{1-4}$$

A هنا هي المساحة المعرضة لتيارات الحمل، و $T_1 - T_2$ هو الفرق في درجة الحرارة بين سطح المائع والمائع المحمول (بمعني المائع المتضمن في تيارات الحمل)، و K_c' هو معامل الحمل الحراري، والذي عادة ما يكون دالة في سرعة المائع المحمول.



الشكل 1-5: تيارات الحمل الحراري في السوائل والغازات.

1-4-3: الإشعاع

تبعث الجسيمات المهتزة المشحونة كهربائيا إشعاع كهرومغناطيسي، ينتشر بعيدا عن مصدر بسرعة الضوء. الإشعاع الكهرومغناطيسي هو في حد ذاته طاقة (تسمى الطاقة الكهرومغناطيسية)، والتي في حالة الشحنة المتحركة يتم الحصول عليها من الطاقة الحركية للجسيم المشحونة.

بسبب الطاقة الداخلية، تكون الجسيمات في المواد في حركة عشوائية مستمرة. تهتز كل من الأنوية الموجبة الشحنة والإلكترونات السالبة الشحنة، وبالتالي تبعث إشعاع كهرومغناطيسي. بهذه الطريقة، تتحول الطاقة الداخلية إلى إشعاع، يسمى الإشعاع الحراري. وبسبب فقدان الطاقة

الداخلية تبرد المواد. تتناسب كمية الإشعاع المنبعث بواسطة الجسيمات المشحونة المهتزة مع سرعة الاهتزاز. لذلك، تنبعث من الأجسام الساخنة أشعة أكثر من تلك الباردة. ونظرا لأن الإلكترونات تكون أخف بكثير من الأنوية، فإنها تتحرك بشكل أسرع وتبعث طاقة مشعة أكثر مما تبعث الأنوية

عندما يكون الجسم باردا نسبيا، يكون الإشعاع الصادر منه في مدى الطول الموجي الطويل الذي لا تستجيب العين له. مع ارتفاع درجة الحرارة (أي الطاقة الداخلية) يتناقص الطول الموجي للإشعاع. في درجات الحرارة العالية، يكون بعض من الإشعاع الكهرومغناطيسي في المنطقة المرئية وعندها يري الجسم يتوهج.

عندما تصطدم الأشعة الكهرومغناطيسية بجسم، توضع الجسيمات المشحونة (الإلكترونات) في الجسم في حالة حركة وتكتسب طاقة حركة. بالتالي، فالإشعاع الكهرومغناطيسي هو يتحول إلى طاقة داخلية. إن كمية الإشعاع التي تمتصها المادة تعتمد على تكوينها. بعض المواد، مثل الكربون الأسود، تمتص معظم الإشعاع الساقط عليها. هذه المواد تسخن بسهولة بواسطة الإشعاع. مواد أخرى، مثل الكوارتز وبعض أنواع الزجاج، تنفذ الإشعاع دون امتصاص الكثير منه. تعكس الأسطح المعدنية الأشعة أيضا دون امتصاص الكثير منها. إن مثل هذه المواد العاكسة والنفاذة لا يمكن أن تسخن بكفاءة بواسطة الإشعاع. يكون معدل انبعاث الطاقة المشعة H_r من وحدة المساحة للجسم عند درجة حرارة T هو،

$$H_r = e\sigma T^4 \qquad \text{1-5}$$

σ هنا هو ثابت ستيفان- بولتزمان، وهو يساوي $5.67\times10^{-8}\,\mathrm{W/m^2.K^4}$ أو $5.67\times10^{-5}\,\mathrm{erg/cm^2.^oK^4.sec}$. تقاس درجة الحرارة على التدريج المطلق، و e هو انبعاثيه السطح، والتي تعتمد على درجة حرارة، وطبيعة السطح. تتغير قيمة الإنبعاثية من **0** إلى **1**. يرتبط انبعاث وامتصاص الإشعاع بظواهر ذات الصلة؛ فالأسطح التي تمتص بقوة تبعث الإشعاع أيضا بكفاءة ويكون لها انبعاثيه قريبة إلى **1**. وعلى العكس، الأسطح التي لا تمتص الإشعاع تكون بواعث فقيرة مع قيمة انبعاثيه منخفضة.

إن جسم درجة حرارته T_1 موجود في بيئة درجة حرارتها T_2 فإن كلاهما سوف يبعث ويمتص إشعاع. يكون معدل الطاقة المنبعثة في وحدة المساحة هو $e\sigma T_1^4$ ، معدل الطاقة الممتصة في وحدة المساحة هو $e\sigma T_2^4$. تكون قيم e و σ هي نفسها لكل من الانبعاث والامتصاص.

عند وضع جسم درجة حرارته T_1 في بيئة درجة حرارتها T_2 أقل، فإن صافي الفقد في طاقة الجسم تكون،

$$H_r = e\sigma\left(T_1^4 - T_2^4\right) \qquad \textbf{1-6}$$

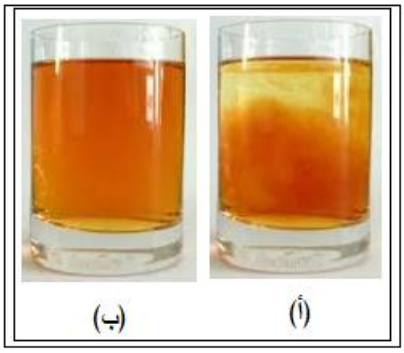
إذا كانت درجة حرارة الجسم أعلى من درجة حرارة البيئة حينئذ يفقد الجسم طاقة حرارية وتكتسب البيئة الطاقة بنفس المعدل.

1-5: الانتشار وحركة الجزيئات

الانتشار في الفيزياء والكيمياء هي عملية توزيع جزيئات أو ذرات أو حبيبات بشكل متساوٍ في فراغ أو في حيّز متاح أو تخللها خلال حاجز غشائي. ويتم الانتشار بانتقال الجزيئات أو الذرات من منطقة ذات تركيز عالي إلى منطقة ذات تركيز أقل حتى يتساوى تركيز الجزيئات في المنطقتين. تنشأ ظاهرة الانتشار بسبب الحركة الحرارية العشوائية لجزيئات المادة التي تصطدم مع بعضها البعض وتتباعد لتشغل جميع الحيز المتاح لها.

عند إدخال قطرة من محلول ملون إلى سائل، نلاحظ أن اللون ينتشر تدريجيا في جميع أنحاء حجم السائل. تنتشر جزيئات اللون من منطقة التركيز العالي (للقطرة المضافة في البداية) إلى المناطق الأقل تركيز، انظر الشكل **1-6**. تسمى هذه العملية بالانتشار.

يعتبر الانتشار هو الآلية الرئيسية لإيصال الأوكسجين والمواد المغذية إلى الخلايا وإزالة الفضلات من الخلايا. على النطاق الواسع، تكون حركة الانتشار بطيئة نسبيا (قد يستغرق الأمر ساعات للمحلول الملون في مثالنا للانتشار لمسافة بضعة سنتيمترات)، ولكن على النطاق الصغير في خلايا الأنسجة، تكون حركة الانتشار سريعة بما يكفي لتوفير وظيفة الحياة للخلايا.



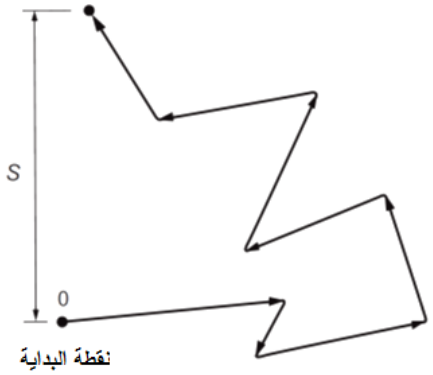
الشكل 1-6: الانتشار في السوائل.

الانتشار هو نتيجة مباشرة للحركة الحرارية العشوائية للجزيئات. على الرغم من أن المعالجة التفصيلية للانتشار خارج نطاق عملنا، يمكن استخلاص بعض ملامح حركة الانتشار من النظرية الحركية البسيطة. لتوضيح هذا المفهوم نعتبر جزيء من سائل أو غاز يتحرك بعيدا عن نقطة البداية 0. افترض أن للجزيء سرعة حرارية v ، ويسافر في المتوسط المسافة L قبل أن يصطدم مع جزيء آخر (انظر الشكل 1-7). كنتيجة للاصطدام، يتغير اتجاه الحركة للجزيء عشوائيا. قد ينحرف المسار قليلا فقط، أو قد يتغير بشكل كبير. مع ذلك، وفي المتوسط، بعد عدد معين من الاصطدامات سيوجد جزيء على المسافة S من نقطة البداية. يظهر التحليل الإحصائي لهذا النوع من الحركة أنه بعد عدد من التصادمات N يكون بعد الجزيء عن نقطة البداية، في المتوسط، هو،

$$S = L\sqrt{N} \qquad \textbf{1-7}$$

يسمى متوسط المسافة (L) التي يسافرها الجزيء بين التصادمات متوسط المسار الحر، وهذا النوع من حركة الانتشار يسمى السير العشوائي.

من الأمثلة التي يكثر استخدامها للسير العشوائي هو دراسة مكان شخص سكير يسير مبتعدا عن عمود إنارة. انه يبدأ في اتجاه معين، لكن مع كل خطوة يغير اتجاهه الحركة بشكل عشوائي. إذا كان طول كل خطوة هي 1 م، فإنه بعد أن يخطو 100 خطوة سوف يكون على مسافة 10 مترا فقط من عمود الإنارة على الرغم من انه قد سار ما مجموعه 100 م. وبعد 10000 خطوة، فإنه قد سار 10 كم، ولكنه لا يزال على بعد 100 متر فقط (في المتوسط) من نقطة انطلاقه.



الشكل1-7: مخطط يوضح السير العشوائي.

دعونا الآن نحسب طول الفترة الزمنية اللازمة لجزيء للانتشار لمسافة S من نقطة البداية. من المعادلة 1-7 يكون عدد الخطوات أو التصادمات التي تحدث أثناء الانتشار خلال المسافة S هو،

$$N = \frac{S^2}{L^2} \qquad \textbf{1-8}$$

المسافة الإجمالية المقطوعة تكون عبارة عن حاصل ضرب عدد الخطوات وطول كل خطوة. أي أن،

$$\text{Total distance} = N\,L = \frac{S^2}{L} \qquad \textbf{1-9}$$

إذا كان متوسط سرعة الجسيم هو v ، يكون الزمن t المطلوبة للانتشار للمسافة S هو،

$$t = \frac{\text{Total distance}}{\text{v}} = \frac{S^2}{Lv} \qquad \textbf{1-10}$$

على الرغم من أن معالجتنا للانتشار قد تم تبسيطها، إلا أن المعادلة 1-10 تؤدي إلى تقديرات معقولة لأزمنة الانتشار. في سائل مثل الماء تكون الجزيئات قريبة من بعضها البعض. لذلك، فإن متوسط المسار الحر للجزيء المنتشر يكون قصيرا، حوالي 10^{-8} cm (هذا هي المسافة بين ذرات السائل تقريبا). تعتمد سرعة الجزيء على درجة الحرارة وعلى كتلته. في درجة حرارة الغرفة، قد تكون سرعة الجزيء الخفيف حوالي 10^4 cm/sec. من المعادلة 1-10، يكون الزمن اللازم للجزيئات للانتشار إلى مسافة 1 سم هو،

$$t = \frac{S^2}{Lv} = \frac{(1)^2}{10^{-8} \times 10^4} = 10^4 \sec = 2.8\text{hr}$$

مع ذلك، فإن الزمن اللازم للانتشار لمسافة 10^{-3} cm، والتي هي عبارة عن الحجم النموذجي لخلية نسيج، ليس سوى 10^{-2} sec.

تكون الغازات أقل تعبئة (أقل كثافة) من تعبئة السوائل. بالتالي، في الغازات يكون متوسط المسار الحر أطول وزمن الانتشار أقصر. في غاز عند **1** ضغط جوي، يكون متوسط المسار الحر في حدود 10^{-5} cm (تعتمد القيمة الدقيقة على نوع الغاز)، ويكون الزمن اللازم للانتشار لمسافة **1** سم حوالي **10** ثواني. ويستغرق الانتشار لمسافة 10^{-3} cm حوالي 10^{-5} sec فقط.

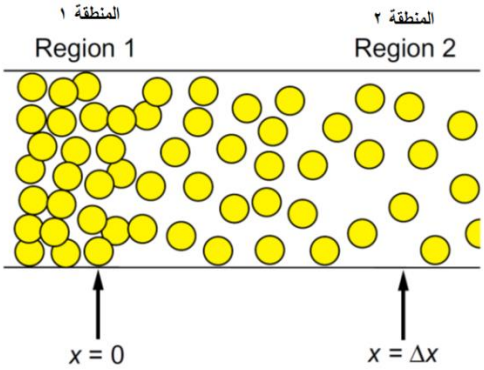
1-5-1: انتقال الجزيئات عن طريق الانتشار

الآن سوف نحسب عدد الجزيئات المنقولة عن طريق الانتشار من منطقة إلى أخرى. اعتبر أسطوانة تحتوي على توزيع غير منتظم من جزيئات أو جسيمات صغيرة أخرى منتشرة (انظر الشكل **1-8**). بفرض انه عند المكان $x = 0$ تكون كثافة الجزيئات المنتشرة هي C_1. عند مسافة صغيرة $x = \Delta x$ بعيدا عن هذه النقطة، يكون التركيز هو C_2. يمكننا تعريف سرعة الانتشار V_D بأنها متوسط سرعة الانتشار من $x = 0$ إلى $x = \Delta x$. هذه السرعة هي ببساطة المسافة Δx مقسومة على متوسط زمن الانتشار t. بمعنى انه،

$$V_D = \frac{\Delta x}{t}$$

بالتعويض عن $t = (\Delta x)^2 / Lv$ من المعادلة **1-10** نحصل على،

$$V_D = \frac{\Delta x}{(\Delta x)^2 / Lv} = \frac{Lv}{\Delta x} \qquad \textbf{1-11}$$



الشكل 1-8: مفهوم الانتشار.

(تذكر أن V هنا هي السـرعة الحرارية.) يكون عدد الجزيئات J الذي يصـل في الثانية الواحدة في وحدة المساحة، من المنطقة 1 حيث الكثافة C_1 نحو المنطقة 2 هو

$$J_1 = \frac{V_D C_1}{2} \qquad \textbf{1-12}$$

يرجع المعامل 2 في المقام الى حقيقة أن الجزيئات تكون منتشـرة في كلا الاتجاهين على حد سـواء في اتجاه وبعيدا عن المنطقة 2. يسـمى المصـطلح J بالفيض (أو التدفق)، ويكون بوحدات ($\mathrm{cm^{-2}sec^{-1}}$).

في الوقت نفسـه، تنتشـر الجزيئات أيضـا من المنطقة 2 حيث الكثافة C_2 تكون نحو المنطقة 1. هذا الفيض J_2 يكون،

$$J_2 = \frac{V_D C_2}{2}$$

يكون صافي تدفق الجزيئات إلي المنطقة 2 هو الفرق بين الفيض القادم والفيض المغادر، أي أن،

$$J = J_1 - J_2 = \frac{V_D (C_1 - C_2)}{2}$$

بالتعويض عن $V_D = L\nu/\Delta x$، نحصل على،

$$J = \frac{L\nu\,(C_1 - C_2)}{2\Delta x} \qquad \textbf{1-13}$$

يفترض هذا الاشـتقاق أن السـرعات V في المنطقتين هي نفسـها. على الرغم من أن هذا الحل لمسـألة

الانتشار غير دقيق، إلا إنه يوضح طبيعة عملية الانتشار. يعتمد صافي التدفق من منطقة إلى أخرى على الفرق في كثافة الجسيمات المنتشرة في المنطقتين. يزداد الفيض مع زيادة السرعة الحرارية v ويتناقص مع زيادة المسافة بين المنطقتين.

تكتب المعادلة **1-13** في العادة على الصورة،

$$J = \frac{D}{\Delta x}(C_1 - C_2) \qquad \textbf{1-14}$$

حيث D يسمى معامل الانتشار. وفي حالتنا هذه يكون معامل الانتشار ببساطة على الصورة،

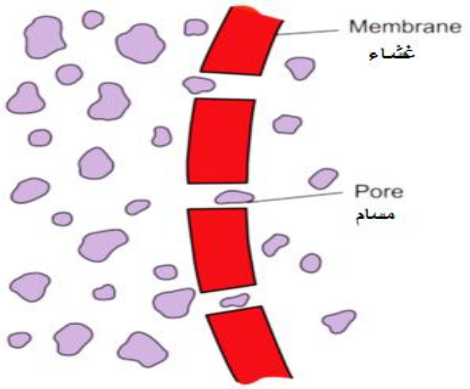
$$D = \frac{Lv}{2} \qquad \textbf{1-15}$$

مع ذلك، وبشكل عام، معامل الانتشار هو دالة أكثر تعقيدا لأن متوسط المسار الحر L يعتمد على حجم الجزيء وعلى لزوجة الوسط المنتشر. في مثالنا السابق للانتشار خلال المائع، حيث $L = 10^{-8}\,\text{cm}$ و $v = 10^{4}\,\text{cm/sec}$ ، ومعامل الانتشار المحسوب من المعادلة **1-15** يكون $5\times10^{-5}\,\text{cm}^2/\text{sec}$. وبالمقارنة، يكون معامل الانتشار المقاس لملح الطعام (كلوريد الصوديوم) في الماء، على سبيل المثال، هو $1.09\times10^{-5}\,\text{cm}^2/\text{sec}$. وبالتالي، يعطي حسابنا البسيط تقديرات معقولة لمعامل الانتشار. الجزيئات الكبيرة، بالطبع، لها معامل انتشار أصغر. تكون معاملات انتشار الجزيئات المهمة بيولوجيا في حدود من $10^{-7}\,\text{cm}^2/\text{sec}$ إلى $10^{-6}\,\text{cm}^2/\text{sec}$.

1-5-2: الانتشار خلال الأغشية

حتى الآن ناقشنا فقط الانتشار الحر خلال المائع، لكن الخلايا التي تشكل المنظومات الحية تكون محاطة بأغشية تعيق الانتشار الحر. الأكسجين والمغذيات، والنفايات يجب أن تمر عبر هذه الأغشية للحفاظ على وظائف الحياة. في أبسط نموذج، يمكن اعتبار الغشاء البيولوجي كما لو كان عبارة عن مسام، وبواسطة حجم وكثافة المسامات ينتظم الانتشار خلال الغشاء. إذا كان الجزيء المنتشر أصغر من حجم المسام، يكون التأثير الوحيد للغشاء هو الحد من مساحة الانتشار الفعالة، وبالتالي خفض معدل الانتشار. إذا كان الجزيء المنتشر أكبر من حجم المسام، قد يمنع تدفق الجزيئات عبر الغشاء.

(انظر الشـكل **1-9**). (بعض الجزيئات قد لا تزال تمر خلال الغشـاء، ولكن عن طريق الذوبان في مادة الغشاء).



الشكل 1-9: الانتشار خلال الغشاء.

يعطى صافي فيض الجزيئات J المتدفقة عبر غشاء بدلالة نفاذية الغشاء P على النحو،

$$J = P(C_1 - C_2) \qquad \textbf{1-16}$$

هذه المعادلة مماثلة للمعادلة **1-14** ما عدا أن الحد D تم استبداله بالنفاذية P ، والتي تشتمل على معامل الانتشار وكذلك السمك الفعال Δx للغشاء. بطبيعة الحال، تعتمد النفاذية على نوع الغشاء وكذلك على الجزيء المنتشـر. قد تكون النفاذية صـفر تقريبا (إذا لم تسـتطيع الجزيئات المرور خلال الغشاء) أو قد تكون مرتفعة وتصل إلى القيمة 10^{-4} cm/sec.

إن اعتماد النفاذية على الأنواع المنتشـرة يسـمح للخلية بالحفاظ على تركيب معين مختلف عن البيئة المحيطة. العديد من الأغشـية، على سـبيل المثال، تكون منفذة للماء ولكن لا تمرر الجزيئات الذائبة في الماء. كنتيجة يمكن للماء أن يدخل الخلية، لكن لا يمكن لمكونات الخلية أن تمر إلى خارج الخلية. يسمى مثل هذا المرور في اتجاه واحد للمياه بالتناضح (**osmosis**).

في نوع حركة الانتشار ناقشنا حتى الآن، أن حركة الجزئيات تكون نتيجة الطاقة الحركية الحرارية لها. ومع ذلك، تنفذ بعض المواد عبر الأغشـية بمسـاعدة المجالات الكهربية التي تتولد بواسـطة فروق الشحنات عبر الغشاء. سنناقش هذا النوع من الانتقال في باب أخر.

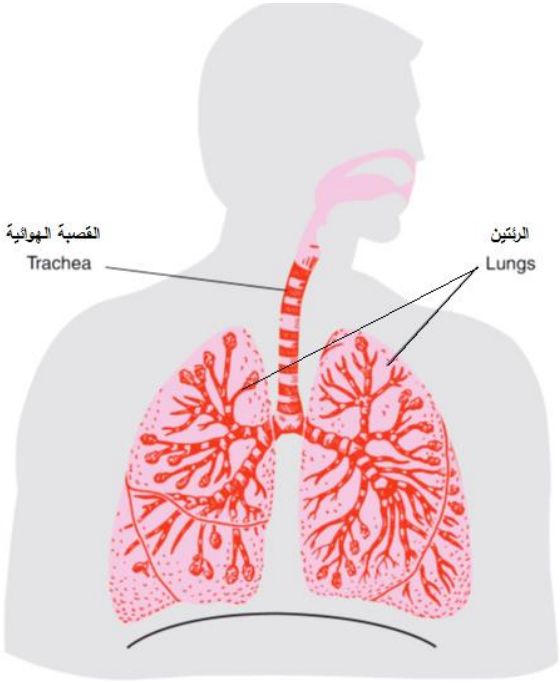
لقد بيننا أنه لمسافات أكبر من بضعة ملليمترات يكون الانتشار عملية بطيئة. لذلك، فإن الكائنات الحية الكبيرة يجب أن تستخدم أنظمة لنقل المواد الغذائية والأكسجين والفضلات من وإلى الخلايا. أن تطور الجهاز التنفسي في الحيوانات لهو نتيجة مباشرة لعدم كفاية وسائل النقل الانتشاري لمسافات طويلة.

1-5-3: الجهاز التنفسي

كما سيتم عرضه لاحقا، تحتاج الحيوانات طاقة للقيام بالعمل. يتم توفير هذه الطاقة عن طريق الطعام، والذي يتأكسد بواسطة الجسم. في المتوسط، يتطلب الأمر 0.207 لتر من الأوكسجين عند ضغط 760 تور (اختصار لكلمة تورشلي) لكل كيلو سعر من الطاقة المنطلقة من أكسدة المواد الغذائية في الجسم. في حالة السكون، يحتاج الشخص البالغ المتوسط الذي وزنه 70 كجم إلى حوالي 70 كيلو سعر من الطاقة في الساعة، وهو ما يعني استهلاك 14.5 لتر من الأكسيجين في الساعة، وهي عبارة عن 10^{20} جزيء أكسجين في الثانية.

أبسط طريقة للحصول على الأوكسجين المطلوب هي عن طريق الانتشار من خلال الجلد. ومع ذلك، لا يمكن لهذه الطريقة توفير احتياجات الحيوانات الكبيرة. قد ثبت أنه في الأنسان لا يتم الحصول إلا على حوالي 2٪ من الأكسجين المستهلك في السكون عن طريق الانتشار خلال الجلد، بينما يتم الحصول على بقية الأوكسجين عن طريق الرئتين.

يمكن اعتبار الرئتين كحقيبة مرنة معلقة في تجويف الصدر (انظر الشكل **1-10**). عندما ينزل الحجاب الحاجز، يزداد حجم الرئتين، مما يسبب انخفاض في ضغط الغاز داخل الرئتين. ونتيجة لذلك، يدخل الهواء إلى الرئتين من خلال القصبة الهوائية. تتفرع القصبة الهوائية إلى أنابيب أصغر وأصغر، والتي تنتهي في النهاية في تجاويف صغيرة تسمى الحويصلات الهوائية (**alveoli**). هنا يتم تبادل الغاز عن طريق الانتشار بين الدم والهواء في الرئتين.



الشكل 1-10: تركيب الجهاز التنفسي.

تحتوي الرئتين في الأشـخاص البالغين على حوالي 300 مليون حويصـلة هوائية بأقطار تتراوح ما بين 0.1 و 0.3 مم. تبلغ المسـاحة الإجمالية للرئتين حوالي 100 م^2، وهو عبارة عن 50 مرات أكبر من المسـاحة الإجمالية للجلد. يكون حاجز بين الهواء السـنخي (الهواء في الحويصـلات alveolar air) والدم في الشـعيرات الدموية رقيق جدا، حوالي 4×10^{-5} cm فقط. لذلك، يكون التبادل الغازي للأكسجين إلى الدم وثاني أكسيد الكربون من الدم تبادل سريع جدا.

لا يتم إفراغ وملء الرئتين تماما مع كل نفس. في الواقع، يكون الحجم الكامل للرئتين هو حوالي 6 لتر، وفي السكون يتم تبادل حوالي 12 لتر فقط خلال كل نفس. يظهر الجدول 1-3 التركيب الكيميائي لهواء الشهيق والزفير.

باسـتخدام البيانات التجريبية المدونة في الجدول 1-3، يمكننا أن نظهر بسـهولة أن حوالي 10.5 نفس في الدقيقة تلبي متطلبات الأكسـجين لشـخص في حالة اسـترخاء. تزداد الحاجة للأكسـجين، بطبيعة

الحال، مع زيادة النشاط البدني، والذي يجعل التنفس بشكل أسرع وأعمق. خلال التنفس العميق، يتم تبادل ما يقرب من **70**٪ من الهواء الموجود في الرئتين في كل نفس.

الجدول **1-3**: النسبة المئوية لـ N_2 ، O_2 ، و CO_2 في الشهيق والزفير لشخص مسترخي.

	N_2	O_2	CO_2
هواء الشهيق	79.02	20.94	0.04
هواء الزفير	79.2	16.3	4.5

في حين يمكن للانتشار خلال الجلد أن يمد فقط جزء صغير من الأوكسجين المطلوب للحيوانات الكبيرة، قد تكون احتياجات الحيوانات الصغيرة من الأكسجين متوفرة بالكامل خلال هذه القناة. هذا ما يمكن استنتاجه من الاعتبارات التالية. يتناسب استهلاك الطاقة، وبالتالي، حاجة الحيوان من الأكسجين تقريبا مع كتلة الحيوان (ما يلي هو نوع من التقريب، ويمكن إيجاد المناقشة التفصيلية في بعض المراجع). والكتلة بدورها تتناسب مع حجم الحيوان. تتناسب كمية الأوكسجين المنتشرة خلال الجلد مع المساحة السطحية للجلد. الآن، بفرض أن R هو بعد خطي مميز للحيوان، فإن الحجم يتناسب مع R^3 ، ومساحة سطح الجلد تتناسب مع R^2 . تعطى نسبة السطح إلى الحجم بالعلاقة،

$$\frac{\text{Surface area}}{\text{Volume}} = \frac{R^2}{R^3} = \frac{1}{R} \qquad \textbf{1-17}$$

لذلك، كلما تناقصت R لحجم الحيوان، زادت نسبة سطحه إلى حجمه. هذا يعني انه، بالنسبة لوحدة الحجم وحدة، يملك الحيوان الصغير مساحة سطح أكبر من الحيوانات الكبيرة.

من الممكن الحصول على تقدير لأقصى حجم للحيوان الذي يمكنه أن يحصل على الأكسجين بالكامل عن طريق انتشار الجلد. تبين العملية الحسابية المبسطة للغاية أن الحد أقصى حجم خطي لمثل هذا الحيوان هو حوالي **0.5** سم. لذلك، فقط الحيوانات الصغيرة مثل الحشرات، يمكنها الاعتماد كليا على انتقال الانتشار لتزويدها بالأوكسجين. مع ذلك، أثناء السبات تنخفض متطلبات الحيوان من الأكسجين إلى قيمة منخفضة جدا، وتستطيع حيوانات كبيرة مثل الضفادع الحصول على كل الأكسجين اللازم لها من خلال الجلد. في الواقع تدخل بعض الأنواع من الضفادع خلال فصل الشتاء

في سبات في الجزء السفلي من البحيرات حيث تكون درجة الحرارة ثابتة عند $4^{o}\mathrm{C}$. يدخل الأكسجين المطلوب الى جسم الضفدعة عن طريق الانتشار من المياه المحيطة بها، والتي تحتوي على أكسجين ذائب.

4-5-1: منشطات السطح والتنفس

أهملت المناقشة في الفصل السابق جانبا هاما من التنفس، وهو حجم الحويصلات الهوائية. كما جاء في النص، تتراوح أقطار الحويصلات الهوائية من حوالي **0.1** إلى **0.3** مم (بمعني أن نصف القطر يكون **0.05** إلى **0.15** مم). يكون الجدار الداخلي للحويصلات الهوائية مغلف بطبقة رقيقة من الماء الذي تحمي الأنسجة. يميل التوتر السطحي لهذه الطبقة من الماء إلى تقليل مساحة السطح وبالتالي تقلص التجويف السنخي (تجويف الحويصلة). عندما ينزل الحجاب الحاجز، يجب على هواء الشهيق دخول الحويصلات الهوائية وتوسيعها إلى كامل حجمها. ونظرا لأن الحويصلات الهوائية تكون في وسط رطب، فإن تمدد الحويصلات الهوائية يكون مماثل لتكوين فقاعة داخل السائل. كما نوقش في الباب الثاني، لكي يتم تكوين فقاعة غاز بنصف قطر R في سائل له توتر سطحي T ، يجب أن يكون ضغط الغاز المحقون في السائل أكبر من ضغط السائل المحيط بمقدار ΔP ، على النحو الوارد يكون فرق الضغط ΔP اللازم لتوسيع حويصلة بنصف قطر **0.05** مم إلى كامل حجمها هو **2.9** ضغط جوي. هذا هو أقل ضغط مطلوب لفتح حويصلة نصف قطرها **0.05** مم ولها جدران مغلفة بماء عادي. من الواضح أن الهواء الداخل بضغط واحد ضغط جوي لا يمكن أن يفتح حويصلة صغير ويمكن بالكاد أن يبدأ بتوسيع الحويصلة الأكبر.

يمكن جعل التنفس ممكنا بوسطة منشطات السطح (وهي مواد تقلل الاحتكاك بتقليل التوتر السطحي) التي تغطي طبقة المياه السنخية وتقلل كثيرا من التوتر سطحه لها. جزيئات منشطات السطح هذه هي خليط معقد من الدهون والبروتينات التي تنتجها خلايا خاصة في الحويصلات الهوائية والتي يمكنها أن تقلل من التوتر السطحي بنسبة تصل إلى **70** مرة (حوالي **1** داين/سم).

غالبا ما تفشل رئتي الأطفال الخدج (ناقصي النمو) في إنتاج الكميات الكافية من المنشطات السطحية اللازمة للتنفس. هذه الحالة المهددة للحياة والتي تسمى بمتلازمة ضيق تنفس الأطفال الرضع يمكن الآن معالجتها بمنشطات سطح اصطناعية للرئة تم تطويرها في عام 1980م. عند إدخال هذه المنشطات إلى رئتي الرضيع فإنها غالبا ما تؤدي إلى استقرار التنفس حتى تبدأ الحويصلات الهوائية في إنتاج المنشطات السطحية من تلقاء نفسها.

لا تحتاج الحيوانات من ذوات الدم البارد مثل الضفادع والثعابين والسحالي إلى منشطات سطح للرئة لكي تتنفس، كما أن هذه الحيوانات لا تستخدم الطاقة لتسخين أجسادهم. ونتيجة لذلك فإنها تحتاج إلى عشر الأكسجين الذي تحتاجه الحيوانات ذوات الدم الحار بالحجم المماثل. لذلك، يمكن أن الحيوانات ذوات الدم البارد أن تقوم بوظيفتها مع مساحة رئة صغيرة تبعا لذلك. تكون أقطار الحويصلات في هذه الحيوانات عشر مرات أكبر منها في الحيوانات من ذوات الدم الحار (انظر التمرين 9). تتطلب الحويصلة ذات نصف القطر الأكبر ضغط مقابل اقل للتغلب على التوتر السطحي مما يلغي الحاجة للمنشط السطحي للرئة.

5-5-1: الانتشار والعدسات اللاصقة

يستقبل معظم أنحاء الجسم البشري الأكسجين اللازم من الدورة الدموية. ومع ذلك، فإن القرنية، وهي الطبقة السطحية الشفافة للعين، لا تحتوي على أوعية دموية (وهذا يسمح لها أن تكون شفافة). تستقبل الخلايا في القرنية الأوكسجين عن طريق الانتشار من الطبقة السطحية من السائل المسيل للدموع، الذي يحتوي على أكسجين ذائب. تسمح لنا هذه الحقيقة بأن نفهم لماذا لا ينبغي أن نرتدي معظم العدسات اللاصقة أثناء النوم. يتم تركيب العدسات اللاصقة بحيث أن عملية الرمش (الطرف) تحرك العدسة قليلا. هذه الحركة الاهتزازية تجلب سائل دموع جديدة غني بالأكسجين تحت العدسة. وبطبيعة الحال، عندما ينام الناس فإنها لا ترمش؛ لذلك، تحرم القرنيات تحت العدسات اللاصقة من الأكسجين. وهذا قد يؤدي إلى فقدان شفافية القرنية.

6-1: الديناميكا الحرارية

الديناميكا الحرارية هو دراسة العلاقة بين الحرارة والشغل والتدفق المرتبط للطاقة. بعد عقود طويلة من الخبرة مع الظواهر الحرارية، صاغ العلماء اثنين من القوانين الأساسية كأساس للديناميكا الحرارية. ينص القانون الأول للديناميكا الحرارية على أن الطاقة، (والتي تتضمن كمية حرارة) تكون محافظة. أي أن، أحد أشكال الطاقة يمكن تحويله إلى شكل آخر، لكن الطاقة لا يمكن ان تفني ولا تستحدث، وهذا يعني أن كمية الطاقة الكلية في الكون تكون ثابتة (لقد بينت نظرية النسبية أن قانون حفاظ الطاقة يجب أن يتضمن المادة التي تكون قابلة للتحويل إلى طاقة). إن القانون الثاني، وهو أكثر تعقيدا من القانون الأول، يمكن أن يصاغ بعدد من الطرق، التي على الرغم من أنها قد تبدو مختلفة إلا انها متكافئة. لعل أبسط بيان للقانون الثاني للديناميكا الحرارية هو أن التغيير العفوي في الطبيعة يحدث من حالة من النظام (الترتيب) إلى حالة من الفوضى.

1-6-1: القانون الأول للديناميكا الحرارية

القانون الأول للديناميكا الحرارية هو تعبير لمبدأ حفظ الطاقة أي أن الطاقة تتغير من حالة إلى أخرى ومن طاقة كامنة إلى طاقة نشطة، وبتعبير آخر أن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث وإنما تتحول من صورة إلى أخرى. ويشخص القانون أن نقل الحرارة بين الأنظمة يكون كنوع من أنواع نقل الطاقة. إن ارتفاع الطاقة الداخلية لنظام ديناميكي حراري معين يساوي كمية الطاقة الحرارية المضافة للنظام، مطروح منه الشغل الميكانيكي المبذول من النظام إلى الوسط المحيط. ينص القانون الأول للديناميكا الحرارية على أن: "الطاقة لا تفنى ولا تستحدث من عدم ولكن تتحول من شكل إلى آخر".

إن مبدأ حفاظ الطاقة موجود ضمنا في كل حساباتنا لتوازن الطاقة في الأنظمة الحية. افترض، على سبيل المثال، نشاط حيوان يسعى (انظر الشكل **1-11**). يحتوي جسم الحيوان على طاقة حرارية داخلية، عبارة عن حاصل ضرب الكتلة والحرارة النوعية، وطاقة كيميائية مختزنة في أنسجة الجسم. بدلالة الطاقة، تتكون أنشطة الحيوان من تناول طعام، وشغل، ورفض الحرارة الزائدة عن طريق

آليات تبريد مختلفة (إشعاع، حمل حراري، وما إلى ذلك).

الشكل 1-11: مخطط طاقة الجسم.

بدون الخوض في حسابات مفصلة، يسمح لنا القانون الأول للديناميكا الحرارية باستخلاص بعض الاستنتاجات حول علم طاقة في الحيوان. فعلى سبيل المثال، إذا بقيت درجة الحرارة الداخلية ووزن الحيوان ثابتين، على مدى فترة معينة من الزمن فإن الطاقة الداخلة يجب أن تساوي بالضبط مجموع الشغل المبذول والحرارة المفقودة بواسطة الجسم. إن اختلال التوازن بين كمية الطاقة المأخوذة والطاقة الخارجة ينطوي على تغيير في المجموع. إن القانون الأول للديناميكا الحرارية موجود مضمنا في كل الحسابات الواردة في باب الحرارة في حياتنا.

1-6-2: القانون الثاني للديناميكا الحرارية

هناك العديد من الظواهر يمكن تصورها و لا يحظرها القانون الأول للديناميكا الحرارية لكن لا تزال لا تحدث. على سبيل المثال، عندما يسقط جسم من منضدة على الأرض، تتحول طاقة وضعه أولا إلى طاقة حركة، ثم، كجسم يأتي للسكون على الأرض تتحول طاقة الحركة إلى حرارة. لا يمنع القانون الأول للديناميكا الحرارية العملية العكسية، حيث ستدخل الحرارة من الأرضية إلى الجسم وتتحول إلى طاقة حركة تجعل الجسم يقفز إلى المنضدة. لا يزال لا يحدث مثل هذا الحدث. لقد أظهرت التجارب أن أنواع معينة من الأحداث لا رجعة فيها (لا انعكاسية). فالأشياء المكسورة لا تصلح نفسها. والماء المسكوب لا يجمع نفسه مرة أخرى في الوعاء. يرتبط عدم رجوع هذه الأنواع من الأحداث ارتباطا وثيقا بالسلوك الاحتمالي لأنظمة تتألف من عدد كبير من الوحدات الفرعية.

وكمثال على ذلك، اعتبر ثلاث قطع نقدية مرتبة بحيث تكون الصور لأعلى على المنضدة. سوف نعتبر

أن هذا ترتيب هو ترتيب منتظم. لنفترض أننا الآن وضعنا القطع في علبة وقومنا بهزها بحيث يكون لكل عملة فرصة متساوية للسقوط على المنضدة مع الصورة (ص) أو مع الكتابة (ك) لأعلى. يبين الجدول 1-4 الترتيبات الممكنة التي نحصل عليها للقطع النقدية كل رميه. لاحظ أن هناك ثمانية نتائج المحتملة لقذف القطع الثلاث. من هذه الاحتمالات، توجد فرصة واحد فقط تعطي الترتيب الأصلي المنتظم مع ثلاثة صور لأعلى (ص، ص، ص). ونظرا لأن احتمالات الحصول على أي ترتيب من ترتيبات العملة المدونة في الجدول 10-1 هي نفسها، فإن احتمال الحصول على ترتيب ثلاثي الصورة بعد الهز والرمي مرة واحدة هو 8/1، أو 0.125. هذا يعني انه، في المتوسط، يجب علينا أن نرمي القطع النقدية ثماني مرات قبل أن نستطيع أن نتوقع أن نرى ترتيب ثلاثة صور مرة أخرى.

كلما ارتفع عدد القطع النقدية في التجربة، يتناقص احتمال العودة إلى الترتيب المنتظم مع جميع الصور لأعلى. مع 10 قطعة نقدية في العلبة، بعد هز العلبة والرمي يكون احتمال الحصول على جميع الصور هو 0.001. مع 1000 قطعة نقدية، يكون واحتمال الحصول على جميع الصور صغير جدا لدرجة يمكن إهماله. مع هذا العدد للقطع النقدية، يمكننا أن نهز العلبة ونكرر رميها لسنوات عديدة دون أن نرى ترتيب منتظم من جديد. باختصار، ما يلي: يجب التنويه به من هذا التوضيح: عدد الترتيبات الممكنة لعملة يكون كبير، ترتيب واحدة منها فقط هو ترتيب منتظم. لذلك، على الرغم من أن أي ترتيب من الترتيبات، بما في ذلك الترتيب المنتظم، من المرجح أن يكون متساوي، فإن احتمال عودة الترتيب منتظم هو احتمال صغير. مع زيادة عدد القطع النقدية في المجموعة، يتناقص احتمال عودة ترتيب منتظم. وبعبارة أخرى، عندما نخل بترتيب منتظم، فمن المرجح أنه يصبح مضطربا. هذا النوع من السلوك هو سمة مميزة لكل الأحداث التي تنطوي على السلوك الجماعي للعديد من المكونات.

القانون الثاني للديناميكا الحرارية ما هو إلا بيان لهذا النوع من السلوك الاحتمالي المتضح من تجربتنا للعملة المعدنية. أحد نصوص القانون الثاني هو أن: اتجاه التغيير العفوي في نظام ما يكون تغير من

ترتيب باحتمال أقل إلى ترتيب باحتمال أكبر، بمعني، من الانتظام إلى الاضطراب (الفوضى). قد تبدو هذه المقولة بديهية بقدر ما هي غير بديهية، ولكن، بمجرد التعرف على التطبيق العام للقانون الثاني، نرى أن نتائجه تكون هائلة. يمكننا أن نستنتج من القانون الثاني القيود المفروضة على نقل المعلومات، ومعنى التسلسل الزمني، وحتى مصير الكون. ومع ذلك، هذه المواضيع خارج نطاق مناقشتنا.

الجدول 1-4: ترتيب العملات النقدية الثلاث.

العملة رقم 1	العملة رقم 2	العملة رقم 3
ص	ص	ص
ص	ص	ك
ص	ك	ص
ك	ص	ص
ص	ك	ك
ك	ص	ك
ك	ك	ص
ك	ك	ك

أحد النتائج الهامة المترتبة على القانون الثاني هو القيد الموضوع على تحويل الحرارة والطاقة الداخلية إلى شغل. يمكن فهم هذا القيد من خلال دراسة الفرق بين الحرارة والأشكال الأخرى الطاقة.

1-7: مقارنة بين الحرارة والأشكال الأخرى للطاقة

عرفنا من قبل أن الحرارة هي طاقة تنتقل من جسم ساخن إلى أخر بارد. لكن عندما درسنا بالتفصيل انتقال الطاقة هذا، رأينا أنها يمكن أن تعزى إلى انتقال نوع معين من الطاقة مثل طاقة حركية، أو طاقة اهتزازية، أو طاقة كهرومغناطيسية، أو أي مزيج من هذه الأنواع. لهذا السبب، قد لا يبدو واضحا لماذا يكون مفهوم الحرارة ضروري.

في الواقع، يمكن تطوير نظرية ديناميكا حرارية بدون استخدام مفهوم واضح للحرارة، ولكن حينئذ يجب علينا أن نتعامل مع كل نوع من أنواع انتقال الطاقة بشكل منفصل، وهذا سيكون امر صعب ومرهق. في كثير من الحالات، تنتقل الطاقة من أو إلى الجسم بطرق مختلفة، وغالبا ما يكون تتبع كل

من هذه الطرق غير ممكنا، وغير ضروري في العادة. بغض النظر عن كيفية دخول للطاقة إلى الجسم، فإن تأثيرها هو نفسه. إنها تزيد من الطاقة الداخلية للجسم. لذلك، يكون مفهوم الطاقة الحرارية مفيد جدا.

إن السمة الرئيسية التي تميز الحرارة عن الأشكال الأخرى للطاقة هي الطبيعة العشوائية لمظاهرها. على سبيل المثال، عندما تتدفق الحرارة عن طريق التوصيل من أحد أجزاء المادة إلى جزء آخر، يحدث التدفق خلال زيادة متتابعة في الطاقة الداخلية على طول المادة.

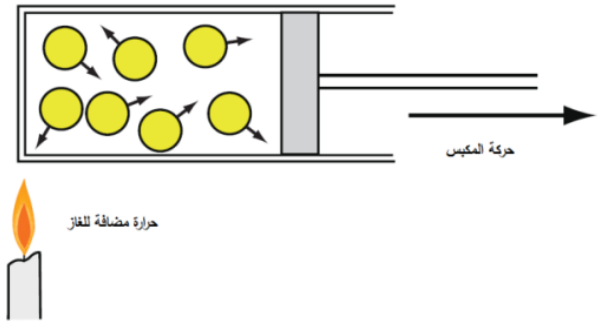
تكون هذه الطاقة الداخلية في شكل من أشكال الحركة الفوضوية العشوائية للذرات. بالمثل، عندما تنتقل الحرارة عن طريق الإشعاع، تسافر الموجات المنتشرة في اتجاهات عشوائية. ينبعث الإشعاع على نطاق واسع من الطول الموجي (اللون)، وتكون أطوار الموجة على امتداد صدر الموجة بشكل عشوائي. وعلى سبيل المقارنة، تكون الأشكال الأخرى الطاقة أكثر انتظاما. توجد الطاقة الكيميائية، على سبيل المثال، بحكم ترتيبات محددة للذرات في الجزيء. وتكون طاقة الوضع نتيجة وضع أو تكوين واضح المعالم للكائن.

بينما يمكن تحويل أحد أشكال الطاقة إلى آخر، فإن الطاقة الحرارية، بسبب طبيعتها العشوائية، لا يمكن تحويلها بالكامل إلى الأشكال الأخرى من الطاقة. سوف نستخدم سلوك الغاز لتوضيح مناقشتنا. أولا، دعونا ندرس كيف يتم تحويل الحرارة إلى شغل في الآلة الحرارية (على سبيل المثال، المحرك البخاري). اعتبر غاز في أسطوانة مع مكبس (انظر الشكل **1-12**). تدفق الحرارة الي الغاز، وهذا يزيد من الطاقة الحرة لجزيئات الغاز، وبالتالي، يرفع الطاقة الداخلية للغاز. تصطدم الجزيئات المتحركة في اتجاه المكبس وتمارس قوة عليه. وتحت تأثير هذه القوة، يتحرك المكبس. وبهذه الطريقة، يتم تحويل الحرارة إلى شغل عن طريق الطاقة الداخلية.

تسبب الحرارة المضافة للغاز تحرك الجزيئات في الأسطوانة في اتجاهات عشوائية، لكن الجزيئات التي تتحرك في اتجاه المكبس فقط يمكن أن تمارس قوة عليه. ولذلك، فإن الطاقة الحركية للجزيئات التي

تتحرك نحو مكبس فقط يمكن أن تتحول إلى شـغل. ولكي تتحول الحرارة المضـافة بالكامل إلى شـغل، فـإن كل جزيئـات الغـاز يجـب أن تتحرك في اتجـاه حركـة المكبس. في المجموعـة الكبيرة من الجزيئـات، يكون هذا من المستبعد جدا.

يمكن التعبير عن الخلاف الكائن على التحول الكامل لسعر واحد من الحرارة إلى شغل بدلالة مجموعة من القردة التي تضـرب مفاتيح آلة كاتبة بشـكل عشـوائي والتي بالصـدفة كتبت الأعمال الكاملة لشكسبير بدون خطأ. إن احتمال أن سعر واحد من الحرارة سوف يتحول بالكامل إلى شغل هو تقريبا نفس احتمال أن القرود سوف تكتب أعمال شكسبير **15** كوادريليون مرة على التوالي.



الشكل **1-12**: حركة المكبس.

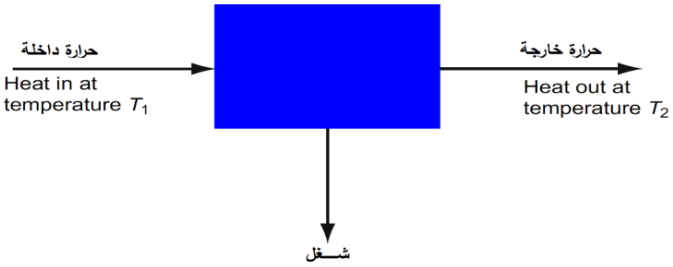
إن التمييز بين الشـغل والحرارة هو انه: في الشـغل، تكون الطاقة في حركة منتظمة، بينما في الحرارة تكون الطاقة في حركة عشـوائية. وبالرغم من أن بعض الحركة الحرارية العشـوائية يمكن ترتيبها مرة أخرى، فإن ترتيب كل الحركة يكون مسـتبعد جدا. وبما أن احتمال التحول الكامل للحرارة إلى شـغل هو احتمال صـغير جدا، فإن القانون الثاني للديناميكا الحرارية ينص بشـكل قاطع على أنه من المستحيل.

يمكن تحويل الحرارة جزئيا إلى شـغل لأنها تتدفق من منطقة ذات درجة حرارة عالية إلى منطقة أقل درجة حرارة (انظر الشـكل **1-13**). إن المعالجة الكمية للديناميكا الحرارية تبين أن أقصـى نسـبة بين الشغل والحرارة الداخلة تكون على الصورة،

$$\frac{\text{Work}}{\text{Heat input}} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \qquad \textbf{1-18}$$

هنا تقاس درجة الحرارة على المقياس المطلق.

يتضح من هذه المعادلة أن الحرارة يمكن تحويلها بالكامل إلى شغل عندما تخرج الحرارة من الخزان في درجة حرارة الصفر المطلق. على الرغم من أنه يمكن تبريد الأشياء خلال جزء صغير جدا من الصفر المطلق إلا أن الصفر المطلق لا يمكن أن الوصول إليه، ولذلك، الحرارة لا يمكن تحويلها بالكامل إلى العمل.



الشكل 1-13: تحول الحرارة إلى شغل.

1-8: الديناميكا الحرارية في الأنظمة الحية

من الواضح أن الحيوانات تحتاج إلى الغذاء لتعيش، لكن السبب في ذلك هو امر أقل وضوحا. إن فكرة أن الحيوانات تحتاج إلى الطاقة لأنها تستهلكها هي، بالمعنى الدقيق للكلمة، مقولة غير صحيحة. نحن نعلم من القانون الأول للديناميكا الحرارية أن الطاقة تكون محافظة. إن الجسم لا يستهلك الطاقة، إنه يغيرها من شكل إلى آخر. في الواقع، يمكن للقانون الأول أن يقودنا إلى الاستنتاج الخاطئ بأن الحيوانات يجب أن تكون قادرة على العمل بدون مصدر للطاقة الخارجية. أن الجسم يأخذ الطاقة الموجودة في الروابط الكيميائية لجزيئات الطعام ويحولها إلى حرارة. عندما يظل الوزن ودرجة حرارة الجسم ثابتين وعندما لا يؤدي الجسم أي شغل خارجي، تكون الطاقة الداخلة إلى الجسم مساوية بالضبط للطاقة الحرارية التي تترك الجسم. يمكننا أن نفترض أنه إذا أمكن إيقاف تدفق الحرارة للخارج، بواسطة عزل جيد، على سبيل المثال، فإن الجسم يمكن البقاء على قيد الحياة دون طعام،

وكما نعلم، هذا الافتراض خاطئ. تتضح الحاجة للطاقة من خلال دراسة عمل الجسم في ضوء القانون الثاني للديناميكا الحرارية.

الجسد هو نظام مرتب للغاية. قد يتكون جزيء بروتين واحد في الجسم من مليون من الذرات المرتبطة معا في تسلسل منتظم وتكون الخلايا أكثر تعقيدا من ذلك. إن وظائفها المتخصصة داخل الجسم تعتمد الخلايا على بنية ومكان محدد. نعلم من القانون الثاني للديناميكا الحرارية أن مثل هذا النظام يكون محكوما للغاية، ومتروكا لنفسه، ويميل إلى أن يصبح مضطربا، وبمجرد أن يصبح كذلك، فإنه يتوقف عن العمل وينهار. يجب بذل شغل على النظام بشكل مستمر لمنعه من الانهيار. على سبيل المثال، تكون الدورة الدموية في الأوردة والشرايين معرضة للاحتكاك، الأمر الذي يغير الطاقة الحركية إلى حرارة ويبطئ تدفق الدم. إذا لم يتم تطبيق قوة على الدم، فإن تدفقه يتوقف في بضع ثوان. كما يختلف تركيز المعادن داخل الخلية عنه في البيئة المحيطة، وهذا يمثل ترتيب منتظم. يكون الميل الطبيعي للتغير باتجاه المساواة مع البيئة. كما يجب بذل شغل لمنع محتويات الخلية من التسرب. وأخيرا، الخلايا التي تموت يجب استبدالها، وإذا كان الحيوان ينمو، يجب أن يصنع أنسجة جديدة. بالنسبة لهذا الاستبدال والنمو، يجب وضع بروتينات جديدة ومكونات خلية أخرى معا. هكذا، فإن عملية الحياة تتكون من بناء وصيانة هياكل منتظمة. في مواجهة الميل الطبيعي نحو الفوضى، يحتاج هذا النشاط إلى شغل. يكون الوضع مشابه إلى حد ما لقائم أو عمود مصنوع من كتل صغيرة زلقة، وغير مستوية وتميل إلى الانزلاق إلى خارج البناء. يبقى العمود واقفا فقط إذا ما تم دفع الكتل بشكل مستمر للعودة إلى مكانها.

يتم الحصول على الشغل الضروري للحفاظ على الهياكل المنتظمة في الجسم من الطاقة الكيميائية الموجودة في الغذاء. باستثناء الطاقة المستخدمة في الشغل الخارجي الذي يبذل بالعضلات، تتوفر كل الطاقة من الغذاء وتتحول في نهاية المطاف إلى حرارة عن طريق الاحتكاك والعمليات الأخرى المبددة للحرارة في الجسم. بمجرد أن تصبح درجة حرارة الجسم في المستوى المطلوب، فإن كل الحرارة المتولدة من الجسم يجب أن تغادر الجسم من خلال آليات التبريد المختلفة . يجب أن تتبدد الحرارة لأنه، على

عكس المحركات الحرارية (مثل التوربين أو المحرك البخاري)، لا يملك الجسم القدرة على الحصول على شغل من الطاقة الحرارية. يستطيع الجسم الحصول على شغل فقط من الطاقة كيميائية. حتى لو كان للجسم آليات لاستخدام الحرارة لأداء شغل، فإن كمية الشغل الذي يمكن الحصول عليها بهذه الطريقة تكون صغيرة. مرة أخرى، يضع القانون الثاني القيد. تكون فروق درجات الحرارة في الجسم صغيرة ولا تزيد عن الفرق بين درجة الحرارة لداخلية والخارجية. مع درجة الحرارة الداخلية عند ودرجة الحرارة الخارجية عند، فإن كفاءة تحويل الحرارة لشغل سيكون (من المعادلة **1-18**) في الغالب حوالي **2**% فقط.

من كل الأشكال المختلفة للطاقة، يمكن للجسم الاستفادة فقط من طاقة الربط الكيميائية للجزيئات التي تشكل الغذاء. ليس لدى الجسم آلية لتحويل الأشكال الأخرى للطاقة في شغل. يمكن للشخص أن يستلقي في الشمس إلى أجل غير مسمى ويتلقى كميات كبيرة من الطاقة المشعة، ورغم ذلك يموت من الجوع. من ناحية أخرى، تكون النباتات قادرة على الاستفادة من الطاقة المشعة. بينما تستخدم الحيوانات الطاقة الكيميائية، تستخدم النباتات الأشعة الشمسية لتوفير الطاقة للعمليات المنتظمة الضرورية للحياة.

توفر المواد العضوية المنتجة في دورة حياة النباتات الطاقة الغذائية للحيوانات العاشبة، والتي بدورها تعتبر غذاء لآكلات اللحوم التي تأكلها. بالتالي، الشمس هو المصدر الأساسي للطاقة للحياة على الأرض.

بما أن الأنظمة الحية تصنع من فوضى نظام مرتب (على سبيل المثال، عن طريق تجميع جزيئات كبيرة ومعقدة من وحدات فرعية عشوائية)، قد يبدو للوهلة الأولى أنها تنتهك القانون الثاني للديناميكا الحرارية، ولكن هذا ليس هو الحال. للتأكد من أن القانون الثاني صحيح، يجب علينا دراسة عملية كاملة من الحياة، والتي لا تشتمل فقط على وحدة حية لكن أيضا على الطاقة التي تستهلكها والنواتج الثانوية التي ترفضها. بادئ ذي بدء، تحتوي المواد الغذائية التي تستهلك بواسطة حيوان على درجة

كبيرة من الانتظام. لا تكون الذرات في جزيئات الطعام مرتبة عشـوائيا ولكن تكون منتظمة في أنماط محددة. عند تحرر الطاقة الكيميائية الموجودة في الارتباطات الجزيئية للمواد الغذائية، تتكسر الهياكل المنتظمة في الحال. تكون نواتج الفضلات أكثر عشوائية، إلى حد كبير، من الطعام المأخوذة منه. إن الطاقة الكيميائية المنتظمة تتحول بواسطة الجسم إلى طاقة حرارية عشوائية.

يمكن التعبير كميا عن كمية من الفوضى في نظام ما بواسطة مفهوم يسمى الأنتروبيا. وتشير الحسابات إلى أنه، في جميع الحالات، تكون الزيادة في الأنتروبيا (بمعني مزيد من الفوضى والاضطراب) في المناطق المحيطة الناتجة بواسطة نظام حي تكون دائما أكبر من الانخفاض في الأنتروبيا (بمعني مزيد من الترتيب والانتظام) الذي يتم الحصول عليه في النظام الحي نفسه. لذلك، مجمل العملية الحيوية تطيع القانون الثاني. هكذا، تكون الأنظمة الحية هي اضطرابات حيال التدفق نحو الفوضى. أنها تبقي نفسها منتظمة لفترة من الوقت على حساب البيئة المحيطة. وهذه مهمة صعبة تتطلب استخدام الآليات الأكثر تعقيدا الموجودة في الطبيعة. عندما تفشل هذه الآليات، كما سيكون مصيرها في نهاية المطاف، ينهار هذا الانتظام (الاستقرار)، ويموت الكائن الحي.

1-9: المعلوماتية والقانون الثاني

لقد أكدنا في وقت سابق على ان الشغل المبذول يجب أن يتم لتكوين والحفاظ على الحالة الموضعية المستهدفة في الانتظام للحياة. ننتقل الآن إلى السؤال، ما المطلوب بعد ذلك لكي يحدث مثل هذا الانتظام الموضعي؟

ربما نتمكن من الحصول على نظرة ثاقبة في هذه المسألة من التجربة اليومية البسيطة. مع مرور الزمن تصبح شقتنا فوضى. الكتب، التي كانت قد وضعت بدقة، حسب الترتيب الأبجدي، على الرف في غرفة المعيشة تتناثر الآن على الطاولة، وبعضها حتى يكون تحت السرير. الأطباق التي كانت نظيفة ومكدسة بدقة في الخزانة، الأن أصبحت قذرة مع بقايا الطعام ومطروحة على الطاولة في غرفة المعيشة. لقد قررنا التنظيف، وفي 15 دقيقة أو ما يقرب، أصبحت الشقة مرتبة مرة أخرى. الكتب مرتبة بدقة في

الرف، والأطباق نظيفة ومكدسة في المطبخ. لقد أصبحت الشقة نظيفة.

عاملين اثنين من العوامل كانا ضروريان لكي تحدث هذه العملية. أولا، كما ذكرنا من قبل، كانت الطاقة مطلوبة للقيام بشغل جمع وتكديس الكتب وتنظيف وترتيب الأطباق. ثانيا، وبنفس القدر من الأهمية، كانت المعلومات مطلوبة لتوجيه الشغل في الاتجاه المناسب، حيث يجب علينا أن نعرف أين توضع الكتب وكيفية تنظيف ورص الأطباق بالشكل المناسب. إن مفهوم المعلومات ذات أهمية مركزية هنا.

في عام 1940 م، وضع العالم الأمريكي كلود شانون صياغة كمية لكمية المعلومات المتاحة في نظام معين. تم بيان إن معادلة شانون لمحتوى المعلومات تعادل معادلة الأنتروبيا (مقياس الفوضى أو الاضطراب) ما عدا، مع إشارة سالبة. إن هذه البصيرة الرياضية تبين بشكل رسمي أنه عندما تتوفر الطاقة والمعلومات، يمكن أن تنخفض الفوضى في مكان معين بقدر كمية المعلومات المتاحة للانخراط في عملية الترتيب. وبعبارة أخرى، كما في مثال فوضي غرفة المعيشة الذي عرضناه، يمكن إنشاء النظام في نظام فوضى بالشغل الموجه بالمعلومات المناسبة. بالطبع، لا يزال القانون الثاني صالحا بمعنى ان: الأنتروبيا الكلية للكون تزداد. الشغل المطلوب لتنفيذ ترتيب، بطريقة أو بأخرى، يؤدي إلى اضطراب (فوضي) في المناطق المحيطة أكبر من الترتيب الناشئ في النظام نفسه. انه توافر المعلومات والطاقة التي تسمح للأنظمة الحية بالتكاثر، والنمو، والحفاظ على هياكلها البنائية.

تبدأ سلسلة الحياة بالنباتات التي تمتلك المعلومات في مادتها الوراثية حول كيفية الاستفادة من الطاقة الشمسية لبناء هياكل منتظمة معقدة للغاية من الجزيئات البسيطة المتاحة لها: والتي تكون في الأساس الماء وثاني أكسيد الكربون، ومجموعة متنوعة من المعادن. تكون هذه العملية، في جوهرها مشابهة لما يحدث في البشر والحيوانات الأخرى. كل المعلومات المطلوبة لوظيفة الكائن تكون متضمنة في البنية المعقدة للحمض النووي. يتكون الحمض النووي البشري من حوالي مليار الوحدات الجزيئية في تسلسل مصمم بشكل مبدع. تتم الاستفادة من الطاقة التي يتم الحصول عليها من المواد الغذائية

والتي يتم استهلاكها بواسطة الكائن الحي، بفضل المعلومات الموجودة في الحمض النووي والتي ترشد المجموعة المختلفة من البروتينات والأنزيمات اللازمة حتى يقوم الكائن الحي بوظيفته.

1-10: الحرارة والحياة

إن درجة الدفء، أو درجة الحرارة، هي واحدة من العوامل البيئية الأكثر أهمية في حياة الكائنات الحية. تعتمد معدلات عمليات التمثيل الغذائي الضرورية للحياة، مثل الانقسامات الخلوية وتفاعلات الانزيم، على درجة الحرارة، وبشكل عام تزداد المعدلات بزيادة درجة الحرارة. إن تغيير 10 درجات في درجات الحرارة قد يغير المعدل بعامل 2.

ولأن الماء السائل هو عنصر أساسي للكائنات الحية كما نعرفها، فإن عمليات التمثيل الغذائي تعمل فقط ضمن نطاق ضيق نسبيا من درجات الحرارة، من حوالي 2 درجة مئوية إلى 120 درجة مئوية. أبسط الكائنات الحية فقط هي التي يمكن أن تعمل بالقرب من النقيضين من هذا النطاق في أعماق المحيطات، يكون الضغط مرتفع وكذلك نقطة غليان الماء. هنا يمكن لبعض البكتيريا الحرارية أن تعيش بالقرب من الفتحات الحرارية الموجودة عند درجات حرارة مرتفعة بشكل كبير، تكون الانظمة الحية ذات الحجم الكبير مقيدة بمدى أضيق بكثير من درجات الحرارة.

يكون أداء معظم الأنظمة الحية والنباتات والحيوانات مقتصرا بشدة على التغيرات الموسمية في درجة الحرارة. على سبيل المثال، تتباطئ العمليات الحيوية في الزواحف في الطقس البارد لدرجة انها تتوقف أساسا على العمل، بينما في الأيام المشمسة الساخنة يجب على هذه الحيوانات أن تجد مأوى مظلل للحفاظ على درجة حرارة الجسم منخفضة.

بالنسبة لحيوان معين، عادة ما يكون هناك معدل أمثل لمختلف عمليات الأيض. لقد طورت الحيوانات من ذوات الدم الحار (الثدييات والطيور) وسائل للحفاظ على درجة حرارة الجسم الداخلية، عند مستويات ثابتة تقريبا. كنتيجة لذلك، تكون الحيوانات ذوات الدم الحار قادرة على العمل عند مستوى أمثل على نطاق واسع من درجات الحرارة الخارجية. على الرغم من أن تنظيم

درجة الحرارة هذا يتطلب نفقات إضافية من الطاقة، فإن التكيف المنجز يستحق هذه النفقات. في هذا الباب، سندرس استهلاك الطاقة، وتدفق الحرارة، والتحكم في درجة الحرارة في الحيوانات. على الرغم من أن معظم الأمثلة لدينا سوف تكون محددة على الناس، لكن بشكل عام تنطبق المبادئ على جميع الحيوانات.

1-10-1: احتياجات الناس من الطاقة

تحتاج جميع الأنظمة الحية إلى الطاقة للعمل. في الحيوانات، تستخدم هذه الطاقة لتسير الدم، والحصول على الأكسجين، وإصلاح الخلايا، وهلم جرا. نتيجة لذلك، حتى في الراحة التامة في البيئة المريحة، يحتاج الجسم للطاقة للحفاظ على وظائف حياته. على سبيل المثال، الرجل الذي يزن 70 كجم ومستلقي بهدوء يستهلك حوالي 70 كيلوسعر/الساعة (حيث 1 سعر=4.18 جول و 1000 سعر=1 كيلوسعرو1 كيلوسعر/ساعة=1.16 واط) بطبيعة الحال، تزداد نفقات الطاقة مع زيادة النشاط.

تعتمد كمية الطاقة التي يستهلكها الشخص على وزن الشخص وبنيانه. مع ذلك، قد وجد أن كمية الطاقة التي يستهلكها الشخص خلال نشاط معين مقسوما على المساحة السطحية لجسم الشخص تكون هي نفسها تقريبا بالنسبة لمعظم الناس. ولذلك، فإن الطاقة المستهلكة لمختلف الأنشطة عادة ما تقاس بوحدات الكيلوسعر/م2.ساعة. يعرف هذا المعدل بمعدل الأيض. يدون الجدول 1-5 معدلات الأيض لبعض الأنشطة البشرية.

الجدول 1-5: معدلات الأيض لنشاطات مختارة.

النشاط	معدل الايض (كيلوسعر/م2.ساعة)
النوم	35
الاستلقاء متيقظ	40
الجلوس عمودي	50
الوقوف	60
المشي (3 م/س)	140

مجهود رياضي متوسط	150
ركوب الدراجة	250
العدو	600
الارتعاش	250

للحصول على إجمالي استهلاك الطاقة في الساعة، نضرب معدل الأيض في المساحة السطحية للشخص. تعطي المعادلة التجريبية التالية تقدير جيد للمساحة.

$$\text{Area } (\text{m}^2) = 0.202 \times M^{0.425} \times H^{0.725} \qquad \textbf{14-1}$$

هنا، M هي كتلة الشخص بالكيلوجرامات، و H هو ارتفاع الشخص بالمتر. المساحة السطحية للرجل الذي يزن **70** كجم وارتفاعه **1.55** مترتكون حوالي **1.70** مترمربع. بالتالي يكون معدل الأيض أثناء الراحة لهذا الرجل هو (**40** كيلوسعر/م**2**.ساعة) **1.7** مترمربع أونحو **70** كيلوسعر/ساعة كما جاء في مثالنا السابق. يسمى معدل الأيض هذا أثناء الراحة بمعدل الأيض القاعدي (أو الأساسي).

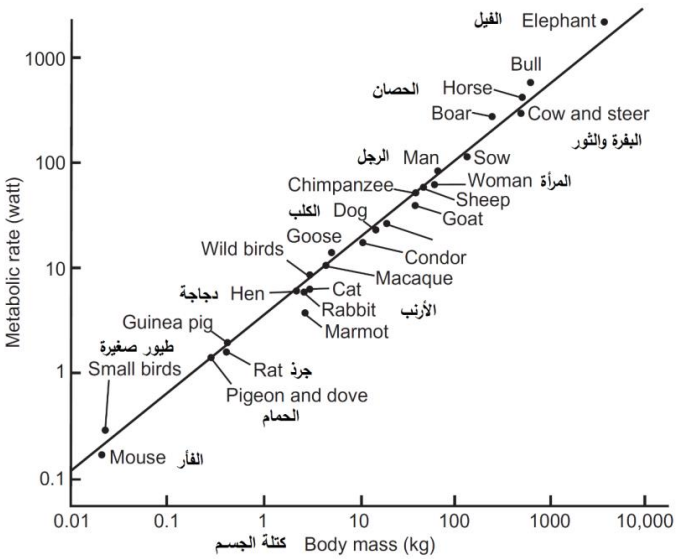
1-10-2: معدل الأيض الأساسي وحجم الجسم

تملك الحيوانات الكبيرة المزيد من الخلايا والتي تتطلب المزيد من الطاقة للحفاظ عليها. ولذلك، فإننا نتوقع أن معدل التمثيل الغذائي يزداد مع حجم الحيوان. هل يمكن التعبيرعن هذا التوقع رياضيا؟ في عام **1883**م اقترح عالم الأحياء ماكس روبنر أن الأيض الأساسي، وهو الطاقة التي يستهلكها الحيوان في الراحة، ينتهي على شكل حرارة، بالتالي من المرجح أن يكون الايض محدودا بكمية الحرارة التي يمكن للحيوان أن يبددها. باستخدام نموذج مبسط للغاية، تم اقتراح أن معدل الأيض يتناسب مع $M^{2/3}$ حيث M هو كتلة الحيوان. يستند هذا التعبير على افتراض أن الحيوان يكون كروي الشكل. ولأن الكتلة يتناسب مع الحجم فإن نصف القطر R للكرة المفترضة يتناسب مع $M^{1/3}$. لذلك فإن المساحة التي تحدد الأيض الأساسي في هذا النموذج تتناسب مع R^2 أو $M^{2/3}$.

كان هذا النموذج البسيط نقطة انطلاق جيدة في المجال الحيوي لكنه لم يتطابق على نحو كاف مع القياسات التجريبية اللاحقة. في عام **1932**م أظهر ماكس كليبر أنه لمجموعة واسعة من الأنواع

يتناسب معدل الأيض المقاس مع $M^{3/4}$. تم الحصول على هذه العلاقة من رسم مثل المبين في الشكل **15-1**. هنا يتم رسم معدل الأيض مقابل كتلة الجسم لحيوانات تتراوح في حجمها من الفأر (**0.05** كجم) إلى الفيل (5000 كجم)، بعامل مقداره 10^5 في الكتلة. على المقياس لو-لو (المقياس اللوغاريتمي) يكون الرسم احسن موائمة لخط مستقيم له ميل 0.75 منتجا "قانون" كيبلر، بمعنى ان معدل الأيض يتناسب مع $M^{3/4}$. تم تأكيد هذه العلاقة من قبل العديد من الدراسات منذ عام **1930**م.

على عكس العلاقة، الأكثر وضوحا لكن أقل تطبيقا، المشتقة بواسطة روبنر لا يوجد هناك مبدأ قابل للاشتقاق بسهولة يؤدي لقانون قياس كيبلر. تم اقتراح العديد من النماذج بتعقيدات مختلفة تعطي الأس ولكن لا أي نموذج منها مقنع بما فيه الكفاية ليتم قبوله عالميا. ولا يزال قانون قياس كيبلر موضوع للبحوث الجارية، وقد تم تكريس العدد **2005** من مجلة البيولوجيا التجريبية، الجزء **208** لهذا المجال من التحقيق.



الشكل 15-1: معدلات الأيض لثدييات وطيور، مرسومة كدالة في وزن الجسم على المقياس الوغاريتمي.

لوحظ عالميا أن الحيوانات الكبيرة تعيش أطول من الحيوانات الصغيرة. على سبيل المثال، قدر عمر

الفأريكون من سنة الى 3 سنوات في حين يكون عمر الفيل حتى 70 عاما. إن قانون الرتبة يلقي بعض الضوء على هذه الملاحظة، وإن كانت نصف كمية فقط. من الأفضل فحص مسألة العمر بدلالة معدل الأيض النوعي، والذي هو عبارة عن الطاقة المحروقة لكل وحدة كتلة. يتم الحصول على هذا المتغير بقسمة معدل الايض الأساسي على كتلة الحيوان، وهذا يعني أن معدل الأيض النوعي يتناسب مع $M^{3/4} / M = M^{-1/4}$. في هذه المرحلة تم افتراض أن إجمالي استهلاك الطاقة لكل وحدة كتلة للكائن الحي خلال فترة بقائه يكون مقدار ثابت. بمعني ان (معدل الأيض النوعي) × (العمر) = مقدار ثابت. مع هذا الافتراض، يتناسب العمر عكسيا مع معدل الأيض النوعي (أي $M^{1/4}$). كون كتلة الفيل أكبر بمعامل 10^5 من كتلة الفأرة، فمن المتوقع أن يكون عمره أطول بمعامل $\left(10^5\right)^{1/4} = 18$. هذا التقدير يعطي عمر للفيل بين 18 و54 عاما. وهو غير دقيق، مع انه في النطاق الصحيح.

1-10-3: متطلبات الطاقة و الغذاء

يتم الحصول على الطاقة الكيميائية التي تستخدمها الحيوانات من أكسدة جزيئات الطعام. على سبيل المثال، يتأكسد جزيء سكر الجلوكوز على النحو التالي:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{energy} \quad \textbf{1-19}$$

لكل جرام من السكر يتناوله الجسم، يتم تحريرها 3.81 كيلوسعر من الطاقة للاستخدام في الأيض.

تكون قيمة السعرات الحرارية لكل وحدة وزن مختلفة للأطعمة المختلفة. تبين القياسات أن، في المتوسط، تعطي والكربوهيدرات (السكريات والنشويات) والبروتينات حوالي 4 كيلوسعر/جرام؛ تولد الدهون 9 كيلوسعر/جرام، وتنتج أكسدة الكحول 7 كيلوسعر/جرام. (يسبب محتوى السعرات العالي من الكحول مشكلة بالنسبة للأشخاص الذين يشربون الكحول. يستخدم الجسم الطاقة المتحررة من أكسدة الكحول بالكامل. لذلك، فإن الناس الذين يحصلون على جزء كبير من طاقة الأيض من هذا المصدر يقل استهلاكهم للأطعمة التقليدية. ومع ذلك، وخلافا لغيره من الأطعمة، لا يحتوي الكحول على فيتامينات ومعادن وغيرها من المواد الضرورية لحسن سير العمل. ونتيجة لذلك،

غالبا ما يعاني المدمنون على شرب الكحول من أمراض ناجمة عن نقص التغذية.)

أكسـدة المواد الغذائية، التي تحرر الطاقة، لا تحدث بشـكل عفوي في درجات حرارة البيئة الطبيعية. لكي تحدث الأكسـدة في درجة حرارة الجسـم، لا بد من حافز لتعزيز التفاعل. في الأنظمة الحية تقوم جزيئات معقدة، تسمى الإنزيمات، بتوفير هذه الوظيفة.

في عملية الحصول على الطاقة من الغذاء، يتم استهلاك الأكسجين دائما. وقد وجد أنه، بغض النظر عن نوع الطعام المستخدم، يتم إنتاج **4.83** كيلوسعر من الطاقة لكل لتر مستهلك من الأوكسجين. بمعرفة هذه العلاقة، يمكن للمرء مع تقنيات بسيطة نسبيا قياس من معدل الأيض لمختلف الأنشطة.

تعتمد الاحتياجات الغذائية اليومية للشخص على أنشطته. يعرض الجدول **1-6** عينة جدول زمني مع نفقات طاقة الأيض المرتبطة للمتر المربع. على افتراض، كما كان من قبل، أن المساحة السطحية للشخص الذي له الأنشطة المبينة في الجدول **1-6** هو **1.7** متر مربع، فإن مجموع نفقات طاقته يكون **3940** كيلوسعر/يوم. إذا أمضى الشخص نصف اليوم في النوم ونصفه مسترخي في السرير، فإن نفقات الطاقة اليومية ستكون **1530** كيلوسعر فقط.

بالنسبة لمعظم الناس يتم موازنة نفقات الطاقة بتناول الطعام. على سبيل المثال، يتم استيفاء احتياجات الطاقة اليومية للشخص المبينة نشاطاته في الجدول **1-6** (مساحة السطح **1.7** متر مربع) باستهلاك **400** جرام من الكربوهيدرات، و**200** جرام من البروتين، و**171** جرام من الدهون.

الجدول **1-6**: يوم واحد من إنفاق التمثيل الغذائي (الأيض) للطاقة.

النشاط	الطاقة المستهلكة
8 ساعات نوم (**35** كيلوسعر/م^2.ساعة)	**280** (كيلوسعر/م^2)
8 ساعات العمل البدني المعتدل (**150** كيلوسعر/م^2.ساعة)	**1200** (كيلوسعر/م^2)
4 ساعات من قراءة وكتابة ومشاهدة تلفزيون (**60** كيلوسعر/م^2.ساعة)	**240** (كيلوسعر/م^2)
ساعة واحد ممارسة رياضة ثقيلة (**300** كيلوسعر/م^2.ساعة)	**300** (كيلوسعر/م^2)
3 ساعات خلع ملابس وتناول طعام (**100** كيلوسعر/م^2.ساعة)	**300** (كيلوسعر/م^2)

مجموع النفقات	2320 (كيلوسعر/م^2)

يعرض الجدول 1-7 التركيب ومحتوى الطاقة لبعض الأطعمة الشائعة. لاحظ أن مجموع أوزان البروتين، والكربوهيدرات، والدهون يكون أصغر من الوزن الكلي للطعام. في الغالب يكون الفرق بسبب محتوى الماء في الطعام. إن قيم الطاقة المدرجة في الجدول تعكس حقيقة أن محتوى السعرات الحرارية لمختلف البروتينات، والكربوهيدرات، والدهون تنحرف نوعا ما عن القيم المتوسطة الواردة في النص.

إذا تم تناول فائض من بعض المواد، مثل الماء والملح، يكون الجسم قادرعلى التخلص منه، ومع ذلك، لا يملك الجسم آلية للتخلص من الفائض في السعرات الحرارية. على مدى فترة من الزمن تستخدم الطاقة الزائدة بواسطة الجسم لتصنيع أنسجة إضافية. عندما يحدث استهلاك الغذاء الزائد في نفس وقت ممارسة تمارين ثقيلة، يمكن استخدام الطاقة لزيادة وزن العضلات. ومع ذلك، في معظم الأحيان، يتم تخزين الطاقة الزائدة في أنسجة دهنية يتم تصنيعها بواسطة الجسم. وعلى العكس، إذا كانت الطاقة المتناولة أقل من الطاقة المطلوبة، فإن الجسم يستهلك الأنسجة الخاصة به لتعويض النقص. عندما ينتهي التوريد يقوم الجسم أولا باستخدام دهونه المخزونة. لكل 9 كيلوسعر عجز في الطاقة، يستخدم حوالي 1 جرام من الدهون. عند الجوع الشديد، بمجرد استهلاك الدهون يبدأ الجسم في استهلاك البروتين الخاص به. يعطي كل جرام بروتين مستهلك حوالي 4 كيلوسعر. بطبيعة الحال، يؤدي استهلاك بروتين الجسم إلي تدهور وظائفه.

الجدول 1-7: تركيب ومحتوى الطاقة لبعض الأطعمة الشائعة.

نوع الطعام	الوزن الكلى (جم)	بروتين (جم)	كربوهيدرات (جم)	دهون (جم)	الطاقة الكلية (كيلوسعر)
لترحليب دسم	976	32	48	40	660
بيضة واحدة	50	6	0	12	75
قطعة هامبورجر	85	21	0	17	245
كوب عصيرجزر	150	1	10	0	45
بطاطا مشوية (قطعة متوسطة)	100	2	22	0	100

تفاحة	130	0	18	0	70
شريحة خبز جودار	23	2	12	0	55
كعكة دونت محلاة	33	2	17	7	135

تبين الحسابات البسيطة نسبيا أن الشخص المتوسط السليم يمكنه البقاء على قيد الحياة دون طعام مع كمية كافية من المياه لمدة تصل إلى حوالي **50** يوما. بالتأكيد، يمكن الأشخاص البدناء البقاء مده أطول. ينص "كتاب غينيس للأرقام القياسية العالمية" على أن الأسكتلندي انجوس باربيري قد صام من يونيو عام **1965**، وحتى يوليو **1966**، وقد كان يستهلك الشاي، والقهوة، والماء فقط. خلال هذه الفترة، انخفض وزن انجوس من **472** رطلا إلى **178** رطل.

بالنسبة للمرأة، تزداد متطلبات الطاقة إلى حد ما خلال الحمل بسبب نمو والتمثيل الغذائي للجنين. كما تشير الحسابات التالية، الطاقة اللازمة لنمو الجنين هي في الواقع صغيرة نوعا ما. دعونا نفترض أن زيادة وزن الجنين خلال **270** يوما من الحمل هي زيادة غير منتظمة (هذا نوع من التبسيط لأنها تزداد مع الاقتراب من نهاية الحمل.). إذا كان الجنين يزن **3** كجم عند الولادة، فانه ينمو كل يوم **11** جم. ونظرا لأن **75**٪ من النسيج يتكون من مياه ومعادن غير العضوية، فإن **2.75** جرام من زيادة الكتلة اليومية تكون نتيجة المواد غير العضوية، بروتين بالدرجة الأولى. ولذلك، فإن السعرات الحرارية الزائدة في يوم واللازمة لنمو الجنين تكون،

$$\text{Calories requaired} = \frac{2.75\,\text{g protein}}{\text{day}} \times \frac{4\,\text{Cal}}{\text{g protein}} = 11\ \text{Cal/day}$$

يجب أن نضيف استهلاك الأيض القاعدي (الأساسي) للجنين إلى هذا الرقم. عند الولادة، تكون مساحة سطح الجنين حوالي **0.13** م**2** (من المعادلة **1-14**)؛ لذا، على الأكثر، يكون استهلاك الأيض الأساسي للجنين في اليوم الواحد حوالي **0.13** × **40** × **24** = **125** كيلوسعر.

وهكذا، فإن مجموع الزيادة في متطلبات الطاقة للمرأة الحامل ليست سوى حوالي (**125** + **11**) كيلوسعر/يوم = **136** كيلوسعر/يوم. في الواقع، قد لا يكون من الضروري للمرأة الحامل أن تزيد كمية غذائها، حيث يمكن متوازنة متطلبات الطاقة للجنين عن طريق تقليل النشاط البدني أثناء

الحمل. تم فحص جوانب أخرى مختلفة لتوازن طاقة الأيض في بعض التمارين.

11-1: تنظيم درجة حرارة الجسم

يجب على الناس وغيرهم من الحيوانات ذوات الدم الحار أن يحافظوا على درجة حرارة جسمهم عند مستوى ثابت تقريبا. على سبيل المثال، درجة حرارة الجسم الداخلية الطبيعية لشخص تكون حوالي 37 درجة مئوية. والانحراف بمقدار درجة أو درجتين في أي من الاتجاهين قد يشير إلى بعض الشذوذ. إذا فشلت آليات تنظيم درجة الحرارة ترتفع درجة حرارة الجسم إلى 44 درجة أو 45 درجة مئوية، وتتضرر هياكل البروتين بشكل لا رجعة فيه. ويؤدي الهبوط في درجة حرارة الجسم إلى أقل من حوالي 28 درجات مئوية إلى توقف القلب.

يتم الإحساس بدرجة حرارة الجسم عن طريق مراكز عصبية متخصصة في الدماغ وبواسطة المستقبلات على سطح الجسم. حينئذ يتم تنشيط آليات مختلفة للتبريد أو للتدفئة في الجسم في تناغم مع درجة الحرارة. تكون كفاءة العضلات في أداء العمل الخارجي في أحسن الأحوال هي 20٪. لذلك، يتحول 80٪ على الأقل من الطاقة المستهلكة في أداء النشاط البدني إلى حرارة داخل الجسم. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الطاقة المستهلكة للحفاظ على عمليات الأيض الأساسية تتحول في نهاية المطاف إلى حرارة. إذا لم يتم التخلص من هذه الحرارة، ترتفع درجة حرارة الجسم بسرعة إلى مستوى خطير. على سبيل المثال، أثناء ممارسة نشاط بدني معتدل، قد يستهلك الرجل ذو الوزن 70 كجم 260 كيلوسعر/ساعة. من هذه الكمية، يتم تحويل 208 كيلوسعر على الأقل إلى حرارة. إذا ظلت هذه الحرارة داخل الجسم، فإن درجة حرارة الجسم ترتفع بنسبة 3 درجات مئوية/ساعة. سوف تسبب ساعتين من مثل هذا النشاط انهيار كامل للجسم. لحسن الحظ، يمتلك الجسم عددا من الطرق ذات كفاءة عالية للسيطرة على تدفق الحرارة إلى خارج الجسم، وبالتالي الحفاظ على درجة الحرارة الداخلية للجسم مستقرة.

أكثر الحرارة المتولدة بالجسم يتم إنتاجها عميقا في الجسم، وبعيدا عن السطوح. ومن أجل التخلص

منها، يجب توصـيل هذه الحرارة إلى الجلد. لكي تتدفق الحرارة من منطقة إلى أخرى، يجب أن يكون هناك فرق في درجات الحرارة بين المنطقتين. لذلك، فإن درجة حرارة الجلد يجب أن تكون أقل من درجة حرارة الجسـم الداخلية. في البيئة الدافئة، تكون درجة حرارة الجلد البشـري حوالي **35** درجة مئوية. في البيئة الباردة، قد تنخفض درجة حرارة بعض الأجزاء من الجلد إلى **27** درجة مئوية.

إن أنسجة الجسـم، دون تدفق الدم خلالها، تكون رديئة التوصـيل الحراري. يقارن توصـيلها الحراري بالتوصيل الحراري للفلين (انظر الجدول **1-2**). K_c (للأنسجة بدون دم تكون **18** كيلوسعر.سم/م**2**. سـاعة-**C**°) هي الموصـلية الحرارية البسـيطة خلال الأنسـجة غير كافية للتخلص من الحرارة الزائدة المتولدة بالجسـم. يوضـح الحسـاب التالي هذه النقطة. نفترض أن سـمك الأنسـجة بين داخل وخارج الجسم هو **3** سم وأن متوسـط المساحة التي خلالها يمكن أن يحدث التوصيل هي **1.5** م**2**. مع فرق **2** درجة مئوية في درجة الحرارة T بين داخل الجسـم والجلد، تكون كمية الحرارة المتدفقة في السـاعة، من المعادلة **1-3**، هي،

$$H = \frac{K_c A \Delta T}{L} = \frac{18 \times 1.5 \times 2}{3} = 18 \text{ Cal/hr} \qquad \textbf{1-20}$$

من أجل زيادة تدفق الحرارة بالتوصيل إلى مستوى معتدل، **150** كيلوسعر/ساعة مثلا، فإن الفرق في درجة الحرارة الداخلية للجسم والجلد يجب أن يرتفع ليكون حوالي **17** درجة مئوية.

لحسن الحظ يمتلك الجسم طريقة أخرى لنقل الحرارة. يتم نقل معظم الحرارة من داخل الجسم عن طريق الدم في الدورة الدموية. تدخل الحرارة الدم من الخلايا الداخلية عن طريق التوصـيل. في هذه الحالة، يكون انتقال الحرارة عن طريق التوصـيل سـريع نسـبيا لأن المسـافات بين الشـعيرات الدموية والخلايا المنتجة للحرارة صـغيرة. يحمل نظام الدورة الدموية الدم السـاخن إلى قرب سـطح الجلد. حينئذ، يتم انتقال الحرارة إلى السـطح الخارجي عن طريق التوصـيل. بالإضـافة إلى انتقال الحرارة من داخل الجسـم، يتحكم نظام الدورة الدموية في سـمك العزل للجسـم. عندما يكون تدفق الحرارة إلى خارج الجسم تدفق مفرط، تصبح الشـعيرات الدموية القريبة من سطح ضيقة ويتم تقليل تدفق الدم

إلى السطح بشكل كبير. ونظرا لأن الأنسجة بدون الدم تكون رديئة التوصيل للحرارة، فإن هذه الطريقة توفر طبقة عازلة للحرارة في جميع أنحاء لب الجسم الداخلي.

12-1: التحكم في درجة حرارة الجلد

كما ذكرنا من قبل، لكي تتدفق الحرارة إلى خارج الجسم، يجب أن تكون درجة حرارة الجلد أقل من درجة حرارة الجسم الداخلية. لذلك، يجب إزالة الحرارة من الجلد بمعدل يكفي لضمان الحفاظ على هذه الحالة. ونظرا لأن التوصيل الحراري للهواء منخفض جدا (202 كيلوسعر.سم/م2. ساعة-°C)، إذا تم حجز الهواء حول الجلد، على سبيل المثال، بواسطة الملابس فإن كمية الحرارة المزالة عن طريق التوصيل تكون صغيرة. يبرد سطح الجلد في المقام الأول عن طريق الحمل الحراري والإشعاع، والتبخر. ومع ذلك، إذا كان الجلد متصلا مع موصل جيد للحرارة مثل معدن، فإن كمية كبيرة من الحرارة يمكن إزالتها عن طريق التوصيل.

1-12-1 الجلد والحمل الحراري

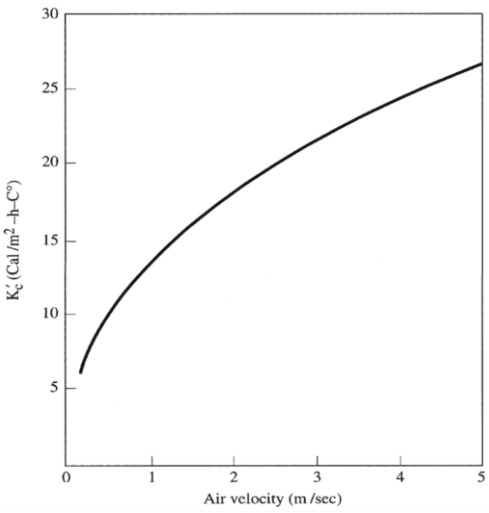
عندما يتعرض الجلد لهواء طلق أو بعض السوائل الأخرى، تتم إزالة الحرارة منه بواسطة تيارات الحمل الحراري. يتناسب معدل إزالة الحرارة مع مساحة السطح المعرض، والفرق في درجة الحرارة بين الجلد والهواء المحيط. يعطى معدل انتقال الحرارة بواسطة الحمل الحراري (انظر المعادلة 1-4) بالعلاقة،

$$H_c' = K_c' A_c \left(T_s - T_a\right) \qquad \textbf{21-1}$$

حيث A_c هو مساحة الجلد المعرض للهواء الطلق. T_s و T_a هي درجات حرارة الجلد والهواء، على التوالي؛ و K_c' هو معامل الحمل الحراري، والذي له قيمة تعتمد في المقام الأول على سرعة الرياح السائدة. يبين الشكل 1-16 قيمة K_c' كدالة في سرعة الهواء. وكما يبين الشكل، يزداد معامل الحمل الحراري في البداية بشدة مع سرعة الرياح، ومن ثم تصبح الزيادة أقل حدة .

عموما، تكون المساحة المعرضة أصغر من المساحة الإجمالية للجسم. بالنسبة لشخص عاري واقف

مع ضم الساقين والذراعين قريبين من الجسم، يتعرض حوالي **80**٪ من مساحة السطح لتيارات حمل الهواء. (يمكن تقليل المساحة المعرضة بتكوم الجسم). لاحظ أن الحرارة لا تتدفق من الجلد إلى البيئة المحيطة إلا إذا كان الهواء أكثر برودة من الجلد. في حالة العكس، يسخن الجلد فعليا بتدفق هواء الحمل الحراري.



الشكل 1-16: معامل الحمل الحراري كدالة في سرعة الهواء.

دعونا الآن نحسب كمية الحرارة المزالة من الجلد عن طريق الحمل الحراري. افترض شخص عاري له مساحة إجمالية **1.7**م**2**. عند الوقوف مستقيما، تكون المنطقة المكشوفة حول **1.36** م**2**. بفرض إن درجة حرارة الجو **25** درجة مئوية، ومتوسط درجة حرارة الجلد هو **33** درجة مئوية، فإن كمية الحرارة المزالة تكون،

$$H_c' = 1.36\ K_c' \times 8 = 10.9\, K_c' \ \text{Cal/hr}$$

في ظل الظروف الهادئة تقريبا (بدون رياح)، K_c' تكون حوالي **6** كيلوسعر/م^2-ساعة-**°C** (انظر الشكل **1-16**)، ويكون الفقد الحراري بالحمل هو هي **65.4** كيلوسعر/ساعة. أثناء العمل المعتدل، وتكون الطاقة المستهلكة لشخص بهذا الحجم حوالي **170** كيلوسعر/ساعة. ومن الواضح أن الحمل الحراري في بيئة هادئ لا يوفر التبريد الكافي. يجب أن ترتفع سرعة الرياح إلى حوالي **1.5** متر/ ثانية

لتوفير تبريد بمعدل **170** كيلوسعر/ساعة.

1-12-2: تأثير الإشعاع من الجسم

تبين المعادلة **1-6** أن تبادل الطاقة بواسطة الإشعاع H_r ينطوي على الرتبة الرابعة لدرجة الحرارة؛ بمعنى أن،

$$H_r = e\sigma\left(T_1^4 - T_2^4\right) \qquad \textbf{1-22}$$

بالرغم من أنه في البيئة نقابل منظومات حية حيث نادرا ما تتغير درجة الحرارة على المقياس المطلق بأكثر من **15**٪، لذلك يمكن استخدام التعبير الخطي لتبادل الطاقة الإشعاعي (دون خطأ كبير)، بمعنى أن،

$$H_r = K_r A_r e\left(T_s - T_r\right) \qquad \textbf{1-23}$$

حيث T_s و T_r هي درجة حرارة سطح الجلد ودرجة حرارة سطح يشع في مكان قريب، على التوالي؛ A_r هي مساحة الجسم المشاركة في الإشعاع. e هي ابتعاثيه السطح؛ K_r هو معامل الإشعاع. على نطاق واسع إلى حد ما من درجات الحرارة، K_r ، في المتوسط، يكون حوالي **6.0** كيلوسعر.سم/م^2. ساعة-°C.

تكون درجات الحرارة السطح البيئي المشع والجلد بحيث يكون الطول الموجي للإشعاع الحراري في الغالب في المنطقة تحت الحمراء من الطيف. ابتعاثيه الجلد في مدى الطول الموجي هذا تساوي الوحدة تقريبا، بغض النظر عن لون الجلد. بالنسبة للشخص الذي له $A_r = 1.5\ \mathrm{m}^2$ ، $T_r = 25\ ^{\circ}\mathrm{C}$ ، $T_s = 32\ ^{\circ}\mathrm{C}$ ، يكون فقد الحرارة بالإشعاع هو **63** كيلوسعر/ساعة

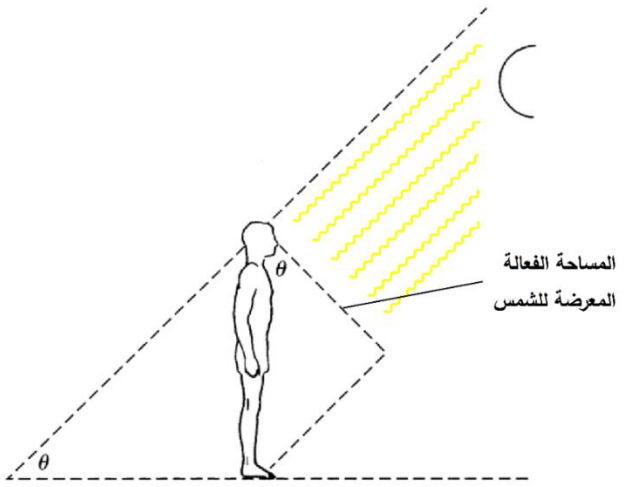
إذا كان السطح المشع أكثر دفئا من سطح الجلد، فإن الجلد يسخن بواسطة الإشعاع. ويبدأ الشخص في الشعور بعدم الراحة نتيجة للإشعاع إذا كان الفرق في درجة الحرارة بين الجلد المكشوف والبيئة المشعة يزيد عن **6** درجات مئوية. في الحالة القصوى، عندما يضاء الجلد من الشمس أو من شيء غيرها حار جدا مثل النار، فإن الجلد يسخن بشكل مكثف. وبما أن درجة حرارة المصدر هي الآن أعلى

بكثير من درجة حرارة الجلد، فإن التعبير المبسط في المعادلة 1-23 لم يعد ينطبق.

1-12-3 التسخين من الإشعاعي الشمسي

إن كثافة الطاقة الشمسية في الجزء العلوي من الغلاف الجوي تكون حوالي 1150 كيلوسعر/م^2.ساعة، ولا تصل كل هذه الطاقة على سطح الأرض، حيث ينعكس بعض منها بواسطة الجسيمات المحمولة جوا وبخار الماء. إن غطاء سحابة سميكة قد يعكس ما يصل إلى 75٪ من الإشعاع الشمسي. إن ميل محور دوران الأرض يقلل كذلك شدة الإشعاع الشمسي الذي يمكن أن يصل السطح. ونظرا لأن أشعة الشمس تأتي من اتجاه واحد فقط، في الأغلب يكون نصف الجسم فقط معرض للإشعاع الشمسي. علاوة على ذلك، تختزل المساحة العمودية على فيض الإشعاع الشمسي بمقدار جيب تمام زاوية السقوط (انظر الشكل 1-17).

$$H_r = 1150/2 \times e \times A\cos\theta \ \text{Cal/hr} \qquad \text{1-24}$$



الشكل 1-17: التسخين الإشعاعي من الشمس.

مع اقتراب الشمس من الأفق، تزداد المساحة الفعالة التي تعترض الإشعاع، لكن في نفس الوقت تقل شدة الإشعاع لأن الأشعة تمر من خلال طبقة أكثر سمكا من الهواء. مع ذلك، فإن كمية الطاقة الشمسية التي تسخن الجلد يمكن أن تكون كبيرة جدا. بفرض أن كامل كثافة الإشعاع الشمسي يصل إلى السطح، فإن كمية الحرارة H_r التي يتلقاها الجسم البشري من الأشعة الشمسية تكون،

A هنا هي مساحة الجلد للشخص و θ هي زاوية سقوط أشعة الشمس، و e هو ابتعاثية الجلد. تعتمد ابتعاثية الجلد في مدى الطول الموجي للإشعاع الشمسي على لون الجلد. البشرة الداكنة تمتص حوالي **80**٪ من الإشعاع، والبشرة الفاتحة تمتص حوالي **60**٪. من المعادلة **1-24**، يتلقى الشخص ذوي الجلد الفاتح اللون مع مساحة جلد **1.7**م^2، الإشعاع الشمسي الشديد الساقط بزاوية **60** درجة، بمعدل **294** كيلوسعر/ساعة. ينخفض التسخين الإشعاعي بحوالي **40**٪ إذا كان الشخص يرتدي ملابس ملونة خفيفة. ينخفض التسخين الإشعاعي أيضا عن طريق تغيير اتجاه الجسم بالنسبة لأشعة الشمس. تستريح الجمال في الصحراء المقفرة متجهة نحو الشمس، وذلك لتقليل مساحة الجلد المعرضة لأشعة الشمس.

1-12-4: تبريد الجلد بالتبخر

في المناخ الدافئ، لا يمكن للإشعاع والحمل الحراري أن يبرد بشكل كاف شخص يمارس حتى لو نشاط بدني معتدل. جزء كبير من التبريد يتم توفيره بواسطة تبخر العرق على سطح الجلد. في درجة حرارة الجلد الطبيعية، الحرارة الكامنة لتبخير المياه هي **0.580** كيلوسعر/جم. بالتالي، يتم إزالة حوالي **580** كيلوسعر من الحرارة لكل لتر عرق يتبخر من الجلد. يحتوي الجسم على نوعين من الغدد العرقية، الغدة الناتحة (**eccrine gland**) والغدة المفرزة (**apocrine gland**). تتوزع الغدد الناتحة فوق كامل سطح الجسم، وهي تستجيب في المقام الأول إلى النبضات العصبية التي يولدها النظام الحراري المنظم للجسم. مع زيادة الحمل الحراري على الجسم، يزداد العرق المفروز من هذه الغدد نسبيا. هناك استثناء لهذا. يتم تحفيز الغدد الناتحة في راحة اليدين وباطن القدمين بمستويات مرتفعة من الأدرينالين في الدم، والذي قد تنجم عن ضغط نفسي.

لا ترتبط الغدد المفرزة للعرق، والموجودة في الغالب في مناطق العانة، بالتحكم في درجة الحرارة. يتم تنبيه هذه الغدد بواسطة الأدرينالين في تيار الدم، وهي تفرز عرق غني بالمواد العضوية، والتي بتحللها تنتج رائحة الجسم.

إن قدرة الجسم البشري على إفراز العرق شيء لافت للنظر. لفترات وجيزة من الوقت، يمكن للشخص أن ينتج العرق بمعدل يصل إلى 4 لتر/ساعة. ومع ذلك، لا يمكن الحفاظ على مثل هذا المعدل المرتفع للتعرق. على المدى الطويل ولفترات تصل إلى 6 ساعات، يكون معدل التعرق 1 لتر/ساعة امر شائع عند أداء الأعمال الشاقة في بيئة حارة.

خلال التعرق المكثف لفترات طويلة، يجب تناول كميات كافية من المياه، وخلاف ذلك، يصاب الجسم بالجفاف. يصبح عمل الشخص محدد بشدة عندما يسبب الجفاف فقدان 10٪ من وزن الجسم. يمكن لبعض حيوانات الصحراء تحمل الجفاف أكثر من البشر. فالجمل، على سبيل المثال، قد يفقد من مخزون المياه ما يعادل 30٪ من وزن الجسم دون عواقب وخيمة.

إن العرق الذي يتبخر فقط هو ما يكون مفيدا في تبريد الجلد، بينما العرق الذي يسقط أو يجفف فلا يوفر تبريدا كبيرا. مع ذلك، لا يضمن التعرق الزائد الترطيب كامل للجلد. تعتمد كمية العرق الذي يتبخر من الجلد على درجة حرارة، ورطوبة، وسرعة الهواء المحيط. التبريد التبخيري هو الأكثر كفاءة في البيئة الجافة، والحارة، والعاصفة.

وهناك وسيلة أخرى لفقدان الحرارة بالتبخر، إنها التنفس. يكون هواء الزفير الذي يخرج من الرئتين مشبع بخار ماء من البطانة الرطبة للجهاز التنفسي.

عند المعدل العادي للتنفس البشري، تكون كمية الحرارة المزالة بهذه الطريقة صغيرة، وأقل من 9 كيلوسعر/ساعة؛ مع ذلك، بالنسبة للحيوانات ذات الفراء التي لا عرق، تكون هذه الطريقة لإزالة الحرارة مهمة جدا. هذه للحيوانات يمكن أن تزيد من فقدان الحرارة عن طريق أخذ أنفاس ضحلة قصيرة (لهث) لا تجلب أكسجين زائد إلى الرئتين ولكن تلتقط رطوبة من الجزء العلوي من الجهاز التنفسي.

بواسطة التبريد التبخيري، يمكن للشخص التعامل مع الحرارة المتولدة بواسطة نشاط معتدل حتى في البيئة المشمسة الحارة جدا. لتوضيح هذا، سوف نحسب معدل التعرق المطلوب لشخص يسير

عاريا في الشمس بمعدل 3 ميل في الساعة، مع درجة حرارة محيطة 47 درجة مئوية (116.6 درجة فهرنهايت).

مع مساحة جلد تساوي 1.7م^2، تكون الطاقة المستهلكة في السير حوالي 240 كيلوسعر/ساعة. معظم هذه الطاقة يتحول إلى حرارة وتسلم للجلد. بالإضافة إلى ذلك، يسخن الجلد عن طريق الحمل الحراري والإشعاع من البيئة والشمس. كمية الحرارة التي تسلم إلى الجلد عن طريق الحمل الحراري هي،

$$H'_c = K'_c A_c \left(T_s - T_a\right)$$

لكل سرعة ريح مقدارها متر واحد/الثانية، يكون $K'_c = 13\ \text{Cal/m}^2.\text{hr}.^{\circ}\text{C}$. تكون المساحة المعرضة A_c حوالي 1.5 متر مربع. إذا كانت درجة حرارة الجلد 36 درجة مئوية فإن،

$$H'_c = 13 \times 1.50 \times (47 - 36) = 215\ \text{Cal/hr}$$

وفقا للحسابات السابقة، يكون التسخين الإشعاعي بواسطة الشمس حوالي 294 كيلوسعر/ساعة. يكون التسخين الإشعاعي من البيئة المحيطة هو،

$$H'_c = K'_r A_r\ e\left(T_r - T_s\right) = 6 \times 1.5 \times (47 - 36) = 99\ \text{Cal/hr}$$

في هذا المثال، تكون الآلية الوحيدة المتاحة لتبريد الجسم هو تبخر العرق. الكمية الكلية للحرارة التي يجب إزالتها هي $(240 + 215 + 294 + 99)\ \text{Cal/hr} = 848\ \text{Cal/hr}$. إن تبخر حوالي 1.5 لتر/ساعة من العرق يوفر التبريد اللازم. بطبيعة الحال، إذا كان الشخص محمي بملابس خفيفة، فإن الحمل الحراري ينخفض بشكل كبير. في الواقع جسم الإنسان مجهز بشكل جيد للغاية لتحمل الحرارة. في تجارب محكومة، قد نجا أناس من درجة حرارة 125 درجة مئوية لفترة زمنية تكفي لطهي شريحة لحم.

13-1: مقاومة الجسم للبرد

في البيئة المريحة حراريا، تتم وظائف الجسم بالحد الأدنى لاستهلاك الطاقة. كلما بردت البيئة

المحيطة، يتم الوصـول إلى نقطة حيث يزداد معدل الأيض القاعدي للحفاظ على درجة حرارة الجسـم عند المسـتوى المناسـب. تسـمى درجة الحرارة التي يحدث عندها هذا بدرجة الحرارة الحرجة. هذه الحرارة هي مقياس لقدرة الحيوان على تحمل البرد.

البشر هم في الأساس حيوانات استوائية. بدون حماية، للبشر قدرة على تحمل الحرارة أفضل بكثير من قدرتهم على تحمل البرد. درجة الحرارة الحرجة للبشـر هي حوالي 30 درجة مئوية. وعلى النقيض من ذلك، تكون درجة الحرارة الحرجة للثعلب القطب الشمالي ذي الفراء الغزير هي -40 درجة مئوية.

إن الانزعـاج النـاجم عن البرد ينتج في المقـام الأول من معـدل تدفق الحرارة المتزايـد من الجلـد. يعتمـد هذا المعدل ليس فقط على درجة الحرارة ولكن أيضـا على سـرعة الرياح والرطوبة. على سـبيل المثال، عند 20 درجة مئوية، وهواء يتحرك بسـرعة 30 سـم/ثانية يزال حرارة أكثر من الهواء السـاكن عند 15 درجة مئوية. في هذه الحالة، الرياح الخفيفة بسـرعة 30 سـم/ثانية تعادل انخفاض درجة الحرارة لأكثر من 5 درجات مئوية.

يحمي الجسـم نفسـه ضـد البرد بخفض تدفق الحرارة الخارجة وزيادة توليد الحرارة. عندما تبدأ درجة حرارة الجسـم في الانخفاض، تصـبح الشـعيرات الدموية المؤدية إلى الجلد ضـيقة، الأمر الذي يحد من تدفق الدم إلى الجلد. هذا يؤدي عزل حراري سميك للجسم. في الشخص العاري، تستخدم هذه الآلية بشكل كامل عندما تنخفض درجة الحرارة الوسط المحيطة إلى حوالي 19 درجة مئوية. في هذه المرحلة، لا يمكن للعزل الطبيعي أن يزيد أكثر من ذلك.

يتم الحصـول على الحرارة الإضـافية المطلوبة للحفاظ على درجة حرارة الجسـم عن طريق زيادة عملية التمثيل الغذائي. تتحقق أحد استجابات اللا إرادية بالارتعاش. كما هو مبين في الجدول 1-5، الارتجاف يثير الأيض إلى حوالي 250 كيلوسعر/م^2.ساعة. إذا فشلت هذه الدفوع وانخفضت درجة حرارة الجلد والأنسـجة الكامنة أدناه عن 5 درجات مئوية، تحدث عضـة صـقيع وفي نهاية المطاف يحدث تجمد خطير.

إن أكبر حماية فعالة ضد البرد تتوفر بواسطة الفرو السميك، أو الريش، أو الملابس المناسبة. عند -40 درجة مئوية، بدون العزل، تفقد الحرارة في المقام الأول بالحمل الحراري والإشـــعاع. بالحمل الحراري وحده في هواء متحرك باعتدال، يكون معدل إزالة الحرارة لكل متر مربع من ســـطح الجلد حوالي 660 كيلوسعر/م^2-ساعة.

مع طبقة ســـميكة من الفرو أو العزل مماثل يكون الجلد محمي من تيارات الحمل وتنقل الحرارة إلى البيئة المحيطة عن طريق التوصـــيل فقط. تكون الموصـــلية الحرارية للمواد العـازلة مثل الفراء $K_c = 0.36\ \text{Cal.cm/m}^2\text{.hr.C}^o$ ، وبالتالي فإن الحرارة المنتقلة من الجلد عند 30 درجة مئوية إلى البيئة المحيطة (في -40 درجة مئوية) خلال 1 سم من العزل، من المعادلة 1-3، هي $25.2\ \text{Cal/m}^2\text{.hr}$.هذا أقل من معدل الأيض الأساسي لمعظم الحيوانات. على الرغم حرارة الجسم تفقد أيضا عن طريق الإشـــعاع والتبخر، تبين حســـاباتنا أن الحيوانات المعزولة بشـــكل جيد، بما في ذلك الشـــخص المدثر بالملبس، يمكن البقاء على قيد الحياة في البيئات الباردة.

وكما ذكر في وقت ســـابق، في درجات حرارة المعتدلة تكون كمية الحرارة المزالة عن طريق التنفس بمعدل طبيعي صـــغيرة. ومع ذلك، عند درجات الحرارة الباردة جدا، تكون حرارة المزالة عن طريق هذه القناة ملموســـة. بالرغم من أن الحرارة المزالة عن طريق تبخر الرطوبة من الرئتين تبقى ثابتة تقريبا، فإن كمية الحرارة اللازمة لتسخين هواء الشهيق الداخل للجسم تزداد مع انخفاض درجة حرارة هواء البيئة المحيطة. في حالة شـــخص في درجة حرارة جو المحيط -40 درجة مئوية، تكون كمية الحرارة المزالة من الجسم في عملية التنفس حوالي 14.4 كيلوســـعر/ســـاعة. بالنســـبة لحيوان معزول بشـــكل جيد، هذ الفقد في الحرارة في نهاية المطاف يحد من قدرته على تحمل البرد.

14-1: الحرارة والتربة

يعتمد الكثير من الحياة بشكل مباشر أو غير مباشر على الأنشطة البيولوجية القريبة من سطح التربة. بالإضافة إلى النباتات، هناك الديدان والحشرات التي تتحدد حياتها بالتربة (فدان واحد من التربة قد

يحتوي على 500 كيلوجرام من ديدان الأرض). التربة أيضا غنية بالكائنات الدقيقة مثل البكتيريا والعث والفطريات التي لا غنى عن أنشطتها الأيضية لخصوبة التربة. لكل هذه الأنواع من الحياة، تكون درجة الحرارة التربة ذات أهمية حيوية.

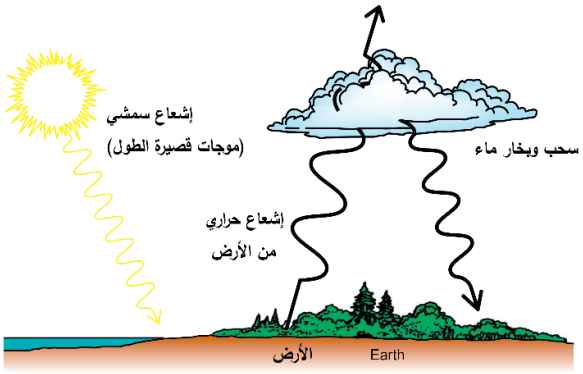
يتم تسخين التربة السطحية في المقام الأول عن طريق الإشعاع الشمسي. على الرغم من أن بعض الحرارة تصل إلى السطح من اللب المنصهر للأرض (بالتوصيل)، تكون كمية الحرارة من هذا المصدر لا تكاد تذكر بالمقارنة مع التسخين بالطاقة الشمسية. تبرد الأرض بواسطة الحمل الحراري، والإشعاع، وتبخر رطوبة التربة. في المتوسط، على طول العام، تتوازن التدفئة والتبريد. وبالتالي، على هذه الفترة من الزمن، لا يتغير متوسط درجة حرارة التربة بشكل ملحوظ. مع ذلك، على مدى الفترات الزمنية الأقصر، من الليل إلى النهار، ومن الشتاء إلى الصيف، تتغير درجة حرارة التربة السطحية إلى حد كبير. هذه التقلبات تنظم دورات الحياة في التربة.

تتحدد التغيرات في درجة حرارة التربة بشدة إشعاع الطاقة الشمسية، وتركيب ومحتوى الرطوبة في التربة، والغطاء النباتي، وظروف الغلاف الجوي مثل الغيوم، والرياح، والجسيمات المحمولة جوا. ومع ذلك، أنماط معينة تكون شائعة. أثناء اليوم عندما تكون الشمس مشرقة، تكون الحرارة المسلمة للتربة أكبر من الحرارة المزالة بواسطة آليات التبريد المختلفة. لذلك ترتفع درجة حرارة سطح التربة خلال النهار. في التربة الجافة، قد ترتفع درجة حرارة السطح بمقدار 3 أو 4 درجات مئوية/الساعة. يكون تسخين السطح شديد وخاصة في الأراضي الجافة والصحاري غير المظللة. طورت بعض الحشرات التي تعيش في هذه المناطق سيقان طويلة للحفاظ على نفسها بعيدة عن السطح الساخن.

إن الحرارة التي تدخل السطح يتم توصيلها بشكل أعمق في التربة. ومع ذلك، يحتاج هذا الأمر بعض الوقت، لكي تنتشر الحرارة خلال التربة. تشير القياسات أن التغير في درجة الحرارة على سطح ينتشر في التربة بمعدل حوالي 2 سم/الساعة. في الليل، يسود فقدان الحرارة ويبرد سطح التربة. الحرارة التي تم

تخزينها في التربة أثناء النهار الآن تنتشـر إلى السـطح وتترك التربة. ونظرا للوقت المحدود اللازم لانتشـار الحرارة خلال التربة، فإن درجة الحرارة على بعد بضـعة سـنتيمترات تحت السـطح ربما لا تزال ترتفع بينما يبرد السطح بالفعل. تستفيد بعض الحيوانات من هذا التأخر في درجة الحرارة بين سطح وداخل التربة. تحفر هذه الحيوانات في الأرض لتجنب التقلبات الكبيرة في درجة حرارة السطح.

عند درجات الحرارة العادية يكون الإشـعاع الحراري المنبعث من التربة في المنطقة تحت الحمراء من الطيف، وهو ينعكس بقوة بواسطة بخار الماء والغيوم. ونتيجة لذلك، في الأيام الملبدة بالغيوم ينعكس الإشـعاع الحراري المنبعثة من التربة إلى التربة مرة أخرى، وينخفض صـافي تدفق الحرارة من التربة، وهذا يسـمى بظاهرة الاحتباس الحراري (انظر الشـكل **1-18**). ينتج تأثير مماثل بواسـطة "غازات الاحتباس الحراري" الموجودة في الغلاف الجوي بالأخص ثاني أكسـيد الكربون (CO_2) والميثان (CH_4) والأوزون (O_3). تمتص هذه الغازات الأشعة تحت الحمراء وتبعها مرة أخرى إلى سطح الأرض وتزداد درجة حرارة كوكب الأرض.



الشكل **1-18**: تأثير البيت الزجاجي (الدفيئة أو الاحتباس الحراري).

ملخص الباب

- تتعلق درجة الحرارة بطاقة ذرات وجزيئات الجسـم بينما الحرارة هي الطاقة التي تتدفق من جسـم إلى آخر عندما يكون هناك اختلاف بين درجات حرارتهما. وعندما تتلامس الأجسـام تنتقل الحرارة من الجسـم الأعلى درجة حرارة إلى الجسـم الأقل ويسـتمر هذه حتي تتسـاوى درجات

الحرارة.

- بسبب حركتها، تظهر الجسيمات المتحركة في المادة طاقة حركية تسمى بالطاقة الداخلية كما تسمى الحركة بالحركة الحرارية. وكلما كان الجسم أكثر سخونة، كلما كانت الطاقة الداخلية له أعلى.
- وتوجد عدة مقاييس مختلفة لدرجة الحرارة. إن المقاييس الأكثر شيوعا هي المقياس السيلزيوسي (المئوي) ($^{o}\mathrm{C}$)، والفهرنهايتي ($^{o}\mathrm{F}$)، والكلفن أو المقياس المطلق (K). وبفضل مقياس درجة الحرارة، يمكن للناس أن يحددوا ما هي درجة الحرارة ويقارنوا بين درجات حرارة الأجسام المختلفة.
- طبقا للنظرية الحركية للغاز تعطى العلاقة بين الضغط P ، والحجم V ، ودرجة الحرارة T على النحو التالي: $PV = NkT$ ، حيث N هنا هو العدد الكلي لجزيئات الغاز في الإناء الذي له حجم V ، وتقاس درجة الحرارة مرة أخرى على المقياس المطلق.
- يعرف السعر الحراري (الكالوري) بأنه كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة **1** جرام من الماء درجة واحدة مئوية ($1\,^{o}\mathrm{C}$). وبشكل دقيق يعرف السعر الحراري بأنه كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة **1** جرام من الماء من **14.5** درجة مئوية إلى **15.5** درجة مئوية.
- تعرف الحرارة النوعية بانها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة **1** جرام من مادة بمقدار **1** درجة مئوية.
- تنتقل الحرارة في المادة من منطقة الى أخرى بثلاثة طرق هي: التوصيل، والحمل والاشعاع. في التوصيل يكون انتقال الحرارة عن طريق الاهتزازات الذرية، بينما يتم الحمل عن طريق انتقال جزيئات المادة من منطقة الى أخرى، والإشعاع هو موجات كهرومغناطيسية تنبعث من المادة الساخنة إلى الوسط المحيط.
- تعطى كمية الحرارة H_c المنقولة بالتوصيل في الثانية من خلال قضيب من مادة بالعلاقة $H_c = \frac{K_c A}{L}(T_1 - T_2)$ ، حيث A هي مساحة مقطع القضيب العمودية على اتجاه تدفق الحرارة،

L هو طول القضيب، و $T_1 - T_2$ هو الفرق في درجة الحرارة بين طرفي القضيب. الثابت K_c هو معامل التوصيل الحراري (التوصيلية الحرارية).

- تعطى كمية الحرارة المنقولة عن طريق الحمل الحراري في وحدة الزمن، H_c' ، بالعلاقة $H_c' = K_c' A(T_1 - T_2)$ ، حيث A هنا هي المساحة المعرضة لتيارات الحمل، و $T_1 - T_2$ هو الفرق في درجة الحرارة بين سطح المائع والمائع المحمول، و K_c' هو معامل الحمل الحراري، والذي عادة ما يكون دالة في سرعة المائع المحمول.
- في الإشعاع، يكون معدل انبعاث الطاقة المشعة H_r من وحدة المساحة للجسم عند درجة حرارة T هو، $H_r = e\sigma T^4$ حيث σ هو ثابت ستيفان- بولتزمان،
- الانتشار في الفيزياء والكيمياء هي عملية توزيع جزيئات أو ذرات أو حبيبات بشكل متساوٍ في فراغ أو في حيّز متاح أو تخللها خلال حاجز غشائي. ويتم الانتشار بانتقال الجزيئات أو الذرات من منطقة ذات تركيز عالي إلى منطقة ذات تركيز أقل حتى يتساوى تركيز الجزيئات في المنطقتين وتنشأ ظاهرة الانتشار بسبب الحركة الحرارية العشوائية لجزيئات المادة التي تصطدم مع بعضها البعض وتتباعد لتشغل جميع الحيز المتاح لها.
- في الحيوان يوفر الجسم حاجته من الأكسيجين عن طريق الجهاز التنفسي والذي يتكون من رئتين تحتوي على العديد من الحويصلات الهوائية التي تقوم باستخلاص الأكسجين من هواء الشهيق والتخلص من ثاني أكسيد الكربون في هواء الزفير. ويمكن جعل التنفس ممكنا بوسطة منشطات السطح (وهي مواد تقلل الاحتكاك بتقليل التوتر السطحي) تغطي طبقة المياه السنخية ونقلل كثيرا من التوتر سطحه لها. جزيئات منشطات السطح هذه هي خليط معقد من الدهون والبروتينات التي تنتجها خلايا خاصة في الحويصلات الهوائية والتي يمكنها أن تقلل من التوتر السطحي بنسبة تصل إلى **70** مرة (حوالي **1** داين/سم).
- الديناميكا الحرارية هو دراسة العلاقة بين الحرارة والشغل والتدفق المرتبط للطاقة. بعد عقود

طويلة من الخبرة مع الظواهر الحرارية، صـاغ العلماء اثنين من القوانين الأسـاسـية كأسـاس للديناميكا الحرارية. ينص القانون الأول للديناميكا الحرارية على أن الطاقة، (والتي تتضـمن كمية حرارة) تكون محافظة. أي أن، أحد أشـكال الطاقة يمكن تحويله إلى شـكل آخر، لكن الطاقة لا يمكن أن تفني ولا تسـتحدث. بينما ينص القانون الثاني على أن اتجاه التغيير العفوي في نظام ما يكون تغير من ترتيب باحتمال أقل إلى ترتيب باحتمال أكبر، بمعني، من الانتظام إلى الاضـطراب (الفوضى).

- يحصل الجسم على الطاقة من الطاقة الموجودة في الروابط الكيميائية لجزيئات الطعام ويحولها إلى حرارة. عندما يظل الوزن ودرجة حرارة الجسم ثابتين وعندما لا يؤدي الجسم أي شغل خارجي، تكون الطاقة الداخلة إلى الجسم مساوية بالضبط للطاقة الحرارية التي تترك الجسم.
- إن درجة الدفء، أو درجة الحرارة، هي واحدة من العوامل البيئية الأكثر أهمية في حياة الكائنات الحية. تعتمد معدلات عمليات التمثيل الغذائي الضـرورية للحياة، مثل الانقسـامات الخلوية وتفاعلات الأنزيم، على درجة الحرارة، وبشكل عام تزداد المعدلات بزيادة درجة الحرارة.
- تعتمد كمية الطاقة التي يستهلكها الشخص على وزن الشخص وبنيانه. وقد وجد أن كمية الطاقة التي يسـتهلكها الشـخص خلال نشـاط معين مقسـوما على المسـاحة السـطحية لجسـم الشـخص تكون هي نفسـها تقريبا بالنسـبة لمعظم الناس. و أظهر ماكس كليبر أنه لمجموعة واسـعة من الأنواع الحيـة يتنـاسـب معـدل الأيض المقـاس مع $M^{3/4}$ ، حيث M هي كتلـة الكائن الحي. وتعتمـد الاحتياجات الغذائية اليومية للشخص على أنشطته.
- يتم التحكم في درجة حرارة الجسم بإزالة الحرارة الفائضة في الجسم بعدة آليات من التوصيل عن طريق الدم المتدفق، والإشـعاع الحراري من سـطح الجلد والتعرق الذي يبرد الجلد عندما يتبخر. كذلك يساعد الحمل الحراري عند سطح الجسم في التخلص من بعض حرارة سطح الجلد.
- يمكن للجسـم مقاومة البرد من خلال زيادة الأيض الأسـاسـي للمحافظة على درجة حرارته ثابتة. كذلك يحمي الجسم نفسه ضد البرد بخفض تدفق الحرارة الخارجة منه وزيادة توليد الحرارة عن

طريق زيادة عملية التمثيل الغذائي.

- يتم تسخين التربة السطحية في المقام الأول عن طريق الإشعاع الشمسي. على الرغم من أن بعض الحرارة تصل إلى السطح من اللب المنصهر للأرض (بالتوصيل)، تكون كمية الحرارة من هذا المصدر لا تكاد تذكر بالمقارنة مع التسخين بالطاقة الشمسية.

اختبر معلوماتك

تخير الإجابة الصحيحة للأسئلة التالية **الإجابة**

1-في المقارنة بين درجة الحرارة وكمية الحرارة نجد أن: ( )

أ- درجة الحرارة تتعلق بطاقة ذرات وجزيئات الجسم.

ب- الحرارة هي الطاقة التي تتدفق من جسـم إلى آخر عندما يكون هناك اختلاف بين درجات حرارتهما.

ت- كلاهما متكافئتان وتعبران عن نفس الشيئ.

ث- أ و ب.

2-عند تلامس جسمين معا فإن: ( )

أ- الحرارة تنتقل من الجسم الأقل درجة حرارة إلى الأعلى.

ب- الحرارة تنتقل من الجسم الأعلى درجة حرارة إلى الأقل.

ت- تنتقل الحرارة بين الجسمين بشكل عشوائي

ث- كل ما سبق

3-تعتبر النظرية الحركية أن جسيمات (ذرات أو جزيئات) الغاز تكون: ( )

أ- في حالة سكون دائما

ب- في حالة حركة منتظمة مستمرة

ت- في حالة حركة عشوائية مستمرة

ث- أ و ب

4-تعطى العلاقة بين المقياس المئوي والفهرنهيتي بالمعادلة: ( )

أ- $T_{\text{Fahrenheit}} = 1.8T_{\text{Celsius}} + 32$

ب- $T_{\text{Fahrenheit}} = 1.8T_{\text{Celsius}} - 32$

ت- $T_{\text{Fahrenheit}} = 1.8T_{\text{Celsius}} \times 32$

5-تعرف الحرارة النوعية للمادة بأنها: ( )

أ- كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة **1** جرام من المادة

ب- كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة **1** جرام من مادة بمقدار **1** درجة مئوية

ت- كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة المادة بمقدار **1** درجة مئوية

ث- أ و ت

6-التوصيل الحراري في القضيب نطوي على: ( )

أ- حركة اهتزازية تنقل على طول القضيب من خلال التصادمات مع الذرات المجاورة

ب- حركة خطية للذرات على طول القضيب بسبب الانتشار

ت- كل ما سبق

7-تعطى كمية الحرارة H_c المنقولة بالتوصيل في الثانية من خلال قضيب من مادة بالعلاقة:

( )

أ- $H_c = \frac{A}{K_c L}(T_1 - T_2)$ ، حيث A مساحة المقطع، L هو طول القضيب،

ب- $H_c = \frac{K_c}{AL}(T_1 - T_2)$ ، حيث A مساحة المقطع، L هو طول القضيب،

ت- $H_c = \frac{K_c A}{L}(T_1 - T_2)$ ، حيث A مساحة المقطع، L هو طول القضيب،

ث- أ و ب

8-في المواد الصلبة، يحدث انتقال الحرارة : ( )

أ- عن طريق الإشعاع الحراري

ب- عن طريق التوصيل الحراري

ت- عن طريق الحمل الحراري

9-تتناسب كمية الإشعاع المنبعث بواسطة الجسيمات المشحونة المهتزة مع: ( )

أ- سرعة الاهتزاز

ب- درجة حرارة الجسيمات

ت- حجم المادة المتكونة من الجزيئات

ث- كل ما سبق

10-يعطى معدل انبعاث الطاقة المشعة H_r من وحدة المساحة للجسم عند درجة حرارة T بالعلاقة:

( )

أ- $H_r = e\sigma T^{-4}$ ، حيث σ هنا هو ثابت ستيفان- بولتزمان

ب- $H_r = e\sigma T^{4}$ ، حيث σ هنا هو ثابت ستيفان- بولتزمان

ت- $H_r = e\sigma / T^{4}$ ، حيث σ هنا هو ثابت ستيفان- بولتزمان

11-الآلية الرئيسية لإيصال الأوكسجين والمواد المغذية إلى الخلايا وإزالة الفضلات من الخلايا هي:

( )

أ- الانتشار

ب- التوصيل

ت- الحمل

ث- أ و ت

12-الغازات أقل تعبئة من السوائل، بالتالي: ( )

أ- في السوائل يكون متوسط المسار الحر أطول وزمن الانتشار أقصر

ب- في المواد الصلبة يكون متوسط المسار الحر أطول وزمن الانتشار أقصر

ت- في الغازات يكون متوسط المسار الحر أطول وزمن الانتشار أقصر

13-العديد من الأغشية الحية تكون: ( )

أ- منفذة للماء و تمرر الجزيئات الذائبة فيه.

ب- منفذة للماء ولكن لا تمرر الجزيئات الذائبة في الماء.

ت- غير منفذة للماء و لا تمرر الجزيئات الذائبة في الماء.

14-في الرئتين: ( )

أ- يتم تبادل الغاز عن طريق الانتشار بين الدم والهواء

ب- يتم تبادل الغذاء عن طريق تدفق الدم والهواء

ت- يتم تبادل المواد عن طريق التوصيل بين الدم والهواء

15-في السبات الشتوي يدخل الأكسجين المطلوب إلى جسم الضفدعة عن طريق: ( )

أ- الانتشار من المياه المحيطة بها،

ب- تنفس الرئتين من المياه المحيطة بها،

ت- الانتشار خلال الخياشيم من المياه المحيطة بها،

16-جزيئات منشطات السطح هذه هي خليط معقد من الدهون والبروتينات وظيفتها: ( )

أ- تقليل التوتر السطحي

ب- تقليل مقاومة الاحتكاك

ت- زيادة الاحتكاك

ث- أ و ب

17-علم الديناميكا الحرارية هو العلم الذي يهتم بدراسة: ( )

أ- العلاقة بين الحركة والشغل تدفق الطاقة

ب- العلاقة بين الحرارة والشغل والتدفق المرتبط للطاقة

ت- العلاقة بين الجسم وخصائص حركته

18-ينص القانون الأول للديناميكا الحرارية على أن: ( )

أ- الطاقة لا تفنى ولا تستحدث وإنما تتحول من صورة إلى أخرى

ب- الطاقة تتغير من حالة إلى أخرى ومن طاقة كامنة إلى طاقة نشطة

ت- ارتفاع الطاقة الداخلية لنظام معين يساوي كمية الطاقة الحرارية المضافة للنظام، مطروح منه الشغل المبذول من النظام إلى الوسط المحيط

ث- كل ما سبق

19-في الكائنات الحية تتوفر كل الطاقة من الغذاء وتتحول في نهاية المطاف إلى : ( )

أ- حرارة عن طريق الاحتكاك والعمليات الأخرى المبددة للحرارة في الجسم

ب- شغل يبذل في نشاطات مختلفة

ت- بناء للأنظمة الحية في الكائن

ث- كل ما سبق

20-من كل الأشكال المختلفة للطاقة، يمكن للجسم الاستفادة فقط من: ( )

أ- طاقة الربط الكيميائية للجزيئات التي تشكل الغذاء

ب- الطاقة الحرارية المكتسبة من البيئة

ت- طاقة الحركة التي تبذلها العضلات

21-يمكن التعبيركميا عن كمية من الفوضى في نظام ما بواسطة مفهوم يسمى: ( )

أ- الأنتروبيا

ب- الإنثالبي

ت- الشغل المبذول

22-معدلات عمليات التمثيل الغذائي الضرورية للحياة، مثل الانقسامات الخلوية وتفاعلات الأنزيم: ( )

أ- تعتمد على درجة الحرارة

ب- تزداد بزيادة درجة الحرارة

ت- لا تعتمد على درجة الحرارة

ث- أ و ب

23-تعتمد كمية الطاقة التي يستهلكها الشخص على: ( )

أ- نوع الطعام الذي يتناوله

ب- وزن الشخص وبنيانه

ت- عمر الشخص

ث- أ و ب

24-يعرف معدل الأيض القاعدي (أو الأساسي) بأنه: ( )

أ- معدل الأيض أثناء ممارسة الرياضة

ب- معدل الأيض أثناء الراحة

ت- معدل الأيض أثناء النهار

ث- كل ما سبق

25-يعطي إجمالي استهلاك الطاقة للشخص في الساعة: ( )

أ- بحاصل ضرب معدل الأيض في وزن للشخص.

ب- بحاصل قسمة معدل الأيض على المساحة السطحية للشخص.

ت- بحاصل ضرب معدل الأيض في المساحة السطحية للشخص.

ث- أ و ت

26-اثبت التجارب المعملية أنه في الحيوانات: ( )

أ- يتناسب معدل التمثيل الغذائي طرديا مع حجم الحيوان

ب- يتناسب معدل التمثيل الغذائي عكسيا مع حجم الحيوان

ت- يتناسب معدل التمثيل الغذائي طرديا مع $M^{3/4}$ ، حيث M هي كتلة الحيوان

27-في العادة وبشكل أساسي، تعتمد الاحتياجات الغذائية اليومية للشخص: ( )

أ- على أنشطته ب-على حالته المزاجية ت-على حالته الصحية

28-في الأنسان يتم الإحساس بدرجة حرارة الجسم عن طريق: ( )

أ- مراكز عصبية متخصصة في الدماغ وبواسطة المستقبلات على سطح الجسم

ب- مراكز عصبية متخصصة في الجلد وبواسطة المستقبلات على سطح الجسم

ت- مراكز عصبية متخصصة في العيون وبواسطة المستقبلات على سطح الجلد

29-للتخلص من الحرارة الزائد في الجسم فإن: ( )

أ- درجة حرارة الجلد يجب أن تكون مثل درجة حرارة الجسم الداخلية

ب- درجة حرارة الجلد يجب أن تكون أقل من درجة حرارة الجسم الداخلية

ت- درجة حرارة الجلد يجب أن تكون أعلى من درجة حرارة الجسم الداخلية

30-تتم إزالة الحرارة من الجلد بواسطة تيارات الحمل الحراري ولذلك وبشكا أساسي: ( )

أ- يتناسب معدل إزالة الحرارة مع مساحة السطح المعرض

ب- يتناسب معدل إزالة الحرارة مع حجم الجسم

ت- يتناسب معدل إزالة الحرارة مع وزن الجسم

31-عند جلوس شخص أمام المدفئة، إذا كان السطح المشع أكثر دفئا من سطح الجلد فإن الجلد: ( )

أ- يسخن بواسطة تيارات الحمل

ب- يسخن بواسطة الإشعاع

ت- يسخن بواسطة التوصيل الحراري

32-عند الجلوس تحت أشعة الشمس يمكن تخفيض التسخين الإشعاعي: ( )

أ- إذا كان الشخص يرتدي ملابس ملونة خفيفة

ب- اذا قام الشخص بتغيير اتجاه الجسم لتقليل وصول أشعة الشمس

ت- كل ما سبق

33-عندما تبرد البيئة المحيطة إلى نقطة معينة: ( )

أ- يزداد معدل الأيض القاعدي للحفاظ على درجة حرارة الجسم عند المستوى المناسب

ب- يقل معدل الأيض القاعدي للحفاظ المحتوى الغذائي في الجسم عند المستوى المناسب

ت- لا يتأثر معدل الأيض القاعدي بالمرة

34-في البيئة الباردة يحمي الجسم نفسه ضد البرد: ( )

أ- بخفض تدفق الحرارة الخارجة وزيادة توليد الحرارة

ب- بزيادة تدفق الحرارة الخارجة وزيادة توليد الحرارة

ت- بالاستمتاع بمشاهدة التليفزيون

35-في درجات حرارة المعتدلة تكون كمية الحرارة المزالة عن طريق التنفس بمعدل طبيعي: ( )

أ- صغيرة ب-كبيرة ت-منعدمة

36-يتم تسخين التربة السطحية في المقام الأول عن طريق: ( )

أ- بعض الحرارة التي تصل إلى السطح من اللب المنصهر للأرض بالتوصيل

ب- الإشعاع الشمسي

ت- المدفأة الكهربية

التمارين

1. تكون السمكة التي تستخدم مثانة هوائية للتحكم في الطفو أقل استقرارا من تلك التي تستخدم العظام المسامية. فسر هذه الظاهرة باستخدام معادلة الغاز (المعادلة 1-2). (تلميح: ماذا يحدث للمثانة الهوائية كلما غاصت السمكة إلى عمق أكبر؟)

2. غواص بجهاز تنفس تحت الماء يتنفس الهواء من خزان يحتوي على منظم ضغط يضبط ضغط الهواء المستنشق تلقائيا ليساوي ضغط الوسط المحيط. إذا ملأ الغواص على العمق 40 مترا تحت سطح بحيرة عميقة رئتيه بكامل سعتهما بـ 6 لترات ثم أرتفع بسرعة إلى السطح، فإلى أي حجم سوف تتوسع رئتيه؟ هل ينصح مثل هذا الصعود السريع؟

3. احسب الوقت اللازم لجزيئات لتنتشر في سائل لمسافة 10-3 سم. افترض أن متوسط سرعة الجزيئات هو 410 سم/ثانية وأن متوسط المسار الحر هو 10-8 سم. ( ) كرر الحساب للانتشار في غاز عند 1 ضغط جوي، حيث متوسط المسار الحر هو 10-5 سم.

4. افترض حزمة من جسيمات يسافر بسرعة V_D. إذا كانت مساحة مقطع الحزمة هي A وكثافة الجسيمات في الحزمة هي C ، بين أن عدد الجسيمات التي تمر بنقطة معينة كل ثانية هو $V_D \times C \times A$.

5. كم عدد الجزيئات في الثانية الواحدة يعادل استهلاك 14.5 لتر من الأوكسجين في الساعة الواحدة؟ (عدد الجزيئات لكل سنتيمتر مكعب عند درجة حرارة الصفر المئوي والضغط 760 تور هو 2.69×10^{19}.)

6. باستخدام البيانات الموجودة في النص وفي الجدول 1-3، احسب عدد مرات التنفس في الدقيقة المطلوبة لتلبية احتياجات الأكسجين لشخص يستريح. ( ) جاء في النص أن استهلاك الأكسجين لشخص

وزنه 70 كجم في حالة راحة هو 14.5 لتر/ساعة، وأن 2٪ من هذا يتوفر بانتشار الأوكسجين عن طريق الجلد. بفرض أن مساحة سطح جلد هذا الشخص هو 1.7 مترمربع، أحسب معدل الانتشار للأوكسجين خلال الجلد بوحدات اللتر/ساعة.سم^2. ( ) ما هو أقصى حجم خطي لحيوان يمكن لمتطلباته من الأكسيجين عند السكون أن تتوفر بالانتشار خلال الجلد؟ استخدم الافتراضات التالية: ( ) كثافة الأنسجة الحيوانية هي 1 جرام/سم^3. ( ) لكل وحدة حجم، تحتاج الحيوانات نفس كمية الأوكسجين. ( ) الحيوان يكون كروي الشكل.

7. احسب الضغط الزائد ΔP المطلوب لتوسيع سنخ (تجويف حويصلة) نصف قطره 0.05 ملم إلى حجمه الكامل.
8. بين أنه إذا تم تقليل حاجة حيوان من للأكسجين بمعامل 10، خلال حجم الرئة نفسها، حينئذ يمكن لنصف قطر الحويصل أن يزداد بمعامل 10.
9. اشرح كيف أن القانون الثاني للديناميكا الحرارية يحد من تحويل الحرارة إلى شغل.
10. من تجربتك الخاصة، أعطي مثال على القانون الثاني للديناميكا الحرارية.
11. صف العلاقات بين المعلومات، والقانون الثاني للديناميكا الحرارية، والأنظمة الحية.
12. بين أنه عند رسم قانون كيبلر على تدريج لوغاريتم-لوغاريتم يعطى خط مستقيم له ميل يساوي 0.75.
13. باستخدام نتائج البحث في المجلات العلمية، ناقش الوضع الحالي للبحوث والنمذجة الخاصة بقانون كيبلر.
14. صمم تجربة تقوم بقياس معدل الأيض للمشي بسرعة 5 كم/ساعة لصعود منحدر يميل بزاوية 20 درجة.
15. إلى متى يمكن لرجل أن يعيش في غرفة محكمة الإغلاق لها حجم 27م3؟ افترض أن مساحة الرجل هي 1.70م2. استخدم البيانات الواردة في النص.
16. غواصة تحمل خزان أكسجين يحتوي على أكسجين عند ضغط 100 جوي. ما هو حجم الخزان اللازم لتوفير الأكسجين الكافي لـ 50 شخصا لمدة 10 أياما؟ أفترض أن استهلاك الطاقة اليومي كما هو مبين في الجدول 1-6 ومتوسط مساحة كل شخص هي 1.70م2.
17. أحسب طول الفترة الزمنية التي يمكن للشخص البقاء على قيد الحياة دون طعام ولكن مع كمية كافية

من المياه. احصل على الحل مع الافتراضات التالية: ( ) الوزن والمساحة السطحية الأولية للشخص هي **70** كجم وهي **1.70**م**2**، على التوالي. ( ) يتم التوصل إلى حد البقاء على قيد الحياة عندما يفقد الشخص نصف وزن جسمه. ( ) في البداية يحتوي الجسم على **5** كجم من الأنسجة الدهنية. ( ) خلال الصيام ينام الشخص **8** ساعات/يوم، ويستريح بهدوء ما تبقى من الوقت. (هـ) كلما فقد الشخص وزن، تتناقص مساحة السطح له. ومع ذلك، نحن هنا نفترض أن المساحة تبقى دون تغيير.

18. افترض أن شخصا وزنه **60** كجم وارتفاعه **1.4** م يقلل من نومه بمقدار **1** ساعة/اليوم ويقضي هذا الوقت الإضافي في القراءة جالسا في وضع مستقيم. إذا لم يتغير نظام الغذاء، كم الوزن سوف يفقد في سنة واحدة؟

19. افترض أن شخص يجلس عاريا على كرسي من الألومنيوم مع مساحة **400** سم^2 من الجلد متصلة مع الألومنيوم. إذا كانت درجة حرارة الجلد هي **38** درجة مئوية، والألومنيوم محفوظ عند **25** درجة مئوية، احسب كمية الحرارة المنقولة في الساعة من الجلد. افترض أن الجسم الملامس للألمنيوم معزول بطبقة من الأنسجة الدهنية بسمك **0.5** سم $\left(K_c = 18 \text{ Cal.cm/m}^2.\text{hr.}^\circ\text{C}\right)$ وأن الموصلية الحرارية للألمنيوم كبيرة جدا. هل انتقال الحرارة هذا كبير من حيث استهلاك حرارة الأيض؟

20. أشرح بشكل كيفي الاعتماد الدالي (الوظيفي) لمعامل التوصيل الحراري K_c' على سرعة الهواء (انظر الشكل **1-16**).

21. ( ) بين أن $\left(T_s^4 - T_r^4\right) = \left(T_s^3 + T_s^2 T_r + T_s T_r^2 + T_r^3\right)\left(T_s - T_r\right)$. ( ) احسب النسبة المئوية للتغير في الحد $\left(T_s^3 + T_s^2 T_r + T_s T_r^2 + T_r^3\right)$ عند تغير درجة الحرارة الإشعاعية للبيئة **0** إلى **40** درجة مئوية. (لاحظ أن درجات الحرارة في الحسابات يجب التعبير عنها على المقياس المطلق. ومع ذلك، إذا كان التعبير يحتوي فقط على الفرق بين درجتين حرارة، إما مطلقة أو مئوية يمكن استخدام المقياس المئوي.) ( ) احسب قيمة K_r في المعادلة **1-23** في ظروف مناقشتها المذكورة في النص حيث $T_r = 25\ ^\circ\text{C}\ (298\text{K})$ ، $T_s = 32\ ^\circ\text{C}\ (305\text{ K})$ و $H_r = 63 \text{ Cal/hr}$.

22. شخص يستغرق حوالي **20** نفسا في الدقيقة مع **0.5** لتر من الهواء في كل نفس. ما كمية الحرارة التي يتم إزالتها في الساعة من الرطوبة الموجودة في الزفير إذا كان الهواء الداخل جاف وهواء نفس الزفير مشبع

بشكل كامل؟ افترض أن ضغط بخار الماء في هواء الزفير المشبع هو **24** تور. استخدام البيانات الموجودة في الفصل **1-12-4**.

23. احسب فقدان الحرارة لكل متر مربع من سطح جلد موجود في **-40** درجة مئوية في جو رياح معتدلة (حوالي **0.5** متر/ثانية، $K_c = 10\ \text{Cal/m}^2.\text{hr.}^{\circ}\text{C}$). افترض أن درجة حرارة الجلد هي **26** درجة مئوية.

24. احسب كمية الحرارة المطلوبة لكل ساعة لرفع درجة حرارة الهواء المستنشق من **-40** درجة مئوية إلى درجة حرارة الجسم (**37** درجة مئوية). بفرض أن معدل التنفس هو **600** لتر من الهواء في الساعة. (هذا هو معدل التنفس المحدد في التمرين **21**.) كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة **1** مول من الهواء (**22.4** لتر) بمقدار **1** درجة مئوية في **1** ضغط جوي هي **29.2** جول (6.98×10^{-3} Cal).

25. اشرح السبب في أن التقلبات في درجات الحرارة اليومية في التربة تكون أصغر( ) في التربة الرطبة منها في التربة الجافة، ( ) في تربة مع نمو العشب منها في تربة عارية، و ( ) عندما تكون رطوبة الهواء مرتفعة.

26. أشرح لماذا تنخفض درجة الحرارة بسرعة في الليل في الصحراء.

27. عرفت الآثار العلاجية للحرارة منذ العصور القديمة. على سبيل المثال، التدفئة الموضعية تخفف حالات آلام العضلات والمفاصل. ناقش بعض تأثيرات الحرارة على الأنسجة التي قد تفسر قيمتها العلاجية.

الباب الثاني – الموائع سر الحياة

المحتوى

2-1: الموائع الساكنة وخصائصها
2-2: مبدأ باسكال وتطبيقاته الحيوية
2-3: مبدأ ارخميدس وتطبيقاته الحيوية
2-4: التوتر السطحي وتطبيقاته الحيوية
2-6: الموائع المتحركة وخصائصها
2-6: التطبيقات الحيوية للموائع المتحركة

الأهداف

بعد استكمال دراسة هذا الباب يجب أن يكون الدارس قادراً على: -

- تعريف ودراسة الموائع الساكنة وفهم بعض خصائصها.
- فهم واستنتاج مبدأ باسكال والحركة في الاجسام الرخوة كتطبيق حيوي لمبدأ باسكال وفهم واستنتاج مبدأ ارخميدس ودراسة الطاقة اللازمة لبقاء الجسم طافيا.
- مناقشة التطبيقات الحيوية للطفو (طفو الأسماك والحيوانات المائية) واستنتاج قانون قوى التوتر السطحي ودراسة التطبيقات الحيوية له في فهم المياه الجوفية والماء وتقلص العضلات.
- تعريف منشطات السطح وفهم كيفية عملها وكيف أمكن للحشرات الاستفادة منها واثرها في دراسة الموائع المتحركة ومعرفة وخصائصها.
- دراسة معادلة برنولي وتعريف اللزوجة وفهم قانون بوازوي وخصائص التدفق المضطرب في السائل ومناقشة بعض التطبيقات الحيوية للموائع المتحركة من خلال دراسة الدورة الدموية في أجزاء الجسم.
- فهم الاضطراب في الدم والأسباب التي تزيد من وتيرته ومعرفة مرض تصلب الشرايين وعلاقته بتدفق الدم.
- الالمام بالطاقة المنتجة بواسطة القلب وقياس ضغط الدم في جسم الانسان.

1-2: الموائع الساكنة وخصائصها

1-1-2: الموائع

تعرف الموائع على إنها المواد التي تتميز بقدرتها على الانسياب وليس لها شكل ثابت ومن أمثلتها السوائل والغازات. تختلف الخصائص الفيزيائية للمواد الصلبة عن الموائع (السوائل، والغازات) بسبب اختلاف القوى التي تربط الجزيئات في كل منهم. في الحالة الصلبة تكون الجزيئات مقيدة بشكل قاسي. لذا يكون للجسم الصلب شكل وحجم محدد. أما في الحالة السائلة تكون القوى التي تربط جزيئات السائل بعضها ببعض كافية لكي تحافظ له على حجم محدد وغير كافية ان تحافظ له على شكل محدد فنرى السوائل تتشكل بشكل الوعاء الحاوي لها. في الحالة الغازية تكون القوى التي تربط الجزيئات ببعضها البعض ضعيفة لذا لا يكون للغاز لا شكل ولا الحجم محدد، لهذا يتفرد الغازات بأن لديها المقدرة على أن تملأ تماما أي وعاء يحتويها. تكون كل من الموائع والمواد الصلبة محكومة بنفس قوانين الميكانيكا، لكن بسبب قدرة الموائع على التدفق فإنها تظهر بعض الظواهر التي لا توجد في المواد الصلبة. سيلقي هذا الباب الضوء على بعض الخصائص المميزة للموائع مثل الضغط وقوة الطفو وقوة التوتر السطحي في الموائع مع أمثلة لتطبيقيات حيوية من علم الأحياء ومن علم الحيوان.

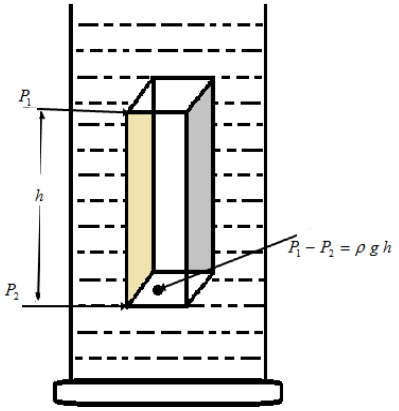
2-1-2: القوة والضغط في الموائع

تنتقل القوى في المواد الصلبة بطريقة تختلف عنها في الموائع. عندما يتم تطبيق قوة على أحد أجزاء المادة الصلبة، تنتقل هذه القوة إلى الأجزاء أخرى دون تغيير الاتجاه. في حين تنتقل القوة بشكل موحد وفي جميع الاتجاهات في حالة الموائع. سبب الاختلاف في الموائع عنها في المواد الصلبة يرجع الى قدرة المائع على التدفق الامر الذي يمكنه من نقل القوة بشكل موحد في جميع الاتجاهات. لذلك يكون الضغط عند أي نقطة في مائع ساكن هو نفسه عند جميع نقاط المائع وعلى سطح الاناء الحاوي له.

الضغط هو القوة المتوسطة المؤثرة عموديا على وحدة المساحات وعليه يمكن القول إن القوة التي يبذلها مائع وعاء على أي مساحة تؤثر في جميع أجزاء الوعاء المتصلة مع المائع. أيضا يمارس المائع قوة

دفع من أسـفل الى اعلى على أي جسـم مغمور فيه. تنشـاء هذه القوة نتيجة فرق الضـغط المؤثر على هذا الجسم. ينشأ ضغط السائل عن نقطة ما بسبب وزن عمود السائل الذي مساحة مقطعه تساوي وارتفاعه يسـاوي عمق هذه النقطة.وعليه يمكننا القول أنه الضـغط في المائع يزداد بزيادة العمق. في حالة مائع له كثافة ثابتة ρ ، يكون الفرق في الضـغط، $P_1 - P_2$ ، بين نقطتين متباعدتين بمسـافة رأسية h كما بالشكل **2-1**. هو

$$P_1 - P_2 = \rho g h \qquad \textbf{2-1}$$



الشكل **2-1** مفهوم لزيادة الضغط بزيادة العمق لنقطة في بطن السائل.

يقاس ضـغط المائع بوحدة التور(نسـبة إلى العالم إيفانجليسـتا توريشـيلى .**1608** و هو أول شـخص فهم طبيعة الضغط الجوي **1624**). واحد تور هو الضغط المبذول بواسطة عمود من الزئبق ارتفاعه **1** مم. أي ان واحد تور يسـاوي واحد المليمترزئبق، و التور. هناك وحدة أخرى شـائعة الاسـتخدام لقياس الضغط تسمى الباسكال وهو الضغط المبذول بواسطة قوة مقدارها واحد نيوتن تؤثر عموديا على وحدة المسـاحات. العلاقة بين التور وعدد من الوحدات الأخرى المسـتخدمة لقياس الضـغط تكون كما يلي،

$$1\ \text{torr} = 1\ \text{mm Hg}$$
$$= 13.5\ \text{mm water}$$
$$= 1.33\times10^{3}\ \text{dyn/cm}^2$$
$$= 1.32\times10^{-3}\ \text{atm}$$
$$= 1.93\times10^{2}\ \text{psi}$$
$$= 1.33\times10^{2}\ \text{Pa (N/m}^2\text{)}$$

2-2

2-2: مبدأ باسكال وتطبيقاته الحيوية

2-2-1: مبدأ باسكال

مبدأ باسكال وقد سمي بهذا الاسم نسبة إلى مكتشفه العالم الفيزيائي والرياضي والفيلسوف الفرنسي بليز باسكال في منتصف القرن السابع عشر من الميلادي. ومبدأ باسكال هو أحد مبادئ علم ميكانيكا الموائع والذي يقوم بدراسة انتقال الضغط في داخل المائع، ينص على أنّه "إذا سُلط ضغط إضافي على سائل ساكن محصور (غير قابل للانضغاط) فإن ذلك الضغط الإضافي سوف ينتقل بتمامه إلى كل نقطة من نقاط السائل وإلى جدران الوعاء الذي يحويه"،

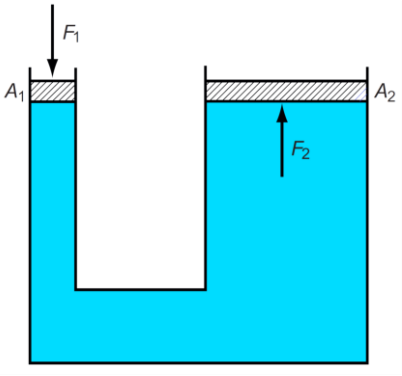
فعندما يتم تطبيق قوة F_1 على سطح سائل له مساحة A_1 ، يزداد الضغط في السائل بمقدار P (انظر الشكل **2-1**)، يكون على الصورة،

$$P = \frac{F_1}{A_1} \qquad \textbf{2-3}$$

في السائل غير القابل للانضغاط، يتم نقل الزيادة في الضغط عند أي نقطة الى جميع النقاط الأخرى في السائل. هذا ما يعرف باسم مبدأ باسكال. وبما أن الضغط في جميع أنحاء المائع يكون هو نفسه، فإن القوة F_2 المؤثرة على المساحة A_2 ، كما هو مبين في الشكل **2-2**، تكون،

$$F_2 = P\,A_2 = \frac{A_2}{A_1}F_1 \qquad \textbf{2-4}$$

النسبة $\frac{A_2}{A_1}$ تشبه الفائدة الميكانيكية للرافعة.

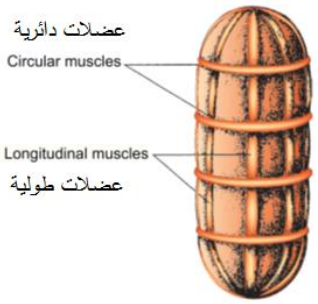


الشكل 2-2 توضيح لمبدأ بسكال.

2-2-2: التطبيقات الحيوية لمبدأ باسكال

أظهرنا في الباب الأول أن العضلات تنتج الحركة من خلال سحب عظام الهيكل العظمي. مع ذلك، هناك حيوانات رخوة (مثل شقائق البحر ودودة الأرض) التي تفتقر إلى هيكل عظمي صلب. العديد من هذه الحيوانات تستخدم مبدأ باسكال لإنتاج حركة الجسم. يطلق على الهيكل الذي يمكن بواسطته عمل ذلك الهيكل الهيدروستاتيكي.

لفهم كيف تتحرك الحيوانات الرخوة كدودة الأرض مثلا ، يمكن اعتبار الحيوان كما لو كان يتكون من أسطوانة مرنة مغلقة مملوءة بمائع. تكون الأسطوانة بمثابة هيكله الهيدروليكي. تنتج الدودة تحركاتها بواسطة عضلات طولية وعضلات دائرية تمتد على طول جدران الأسطوانة (انظر الشكل 2-3). بما أن حجم المائع في الأسطوانة يكون ثابتا، فإن تقلص العضلات الدائرية يجعل الدودة ارفع وأطول، في حين يجعل تقلص العضلات الطولية الدودة أثخن وأقصر. ولكن عندما تتقلص العضلات الطولية على جانب واحد فقط فسوف تنحني الدودة نحو هذا الجانب. وعليه فإن حركة الدودة للأمام او الخلف تنتج من التقلصات الطولية والدائرية المتتالية مع ارتباط احدى نهايتي جسم الدودة بالسطح، وعليه يمكن للدودة أن تحرك نفسها للأمام أو الخلف عن طريق تقلص العضلات الطولية والدائرية معا, ويمكنها أيضا أن تغير اتجاهها عن طريق الانكماش الطولي على جانب واحد من جوانبها.



الشكل 2-3 الهيكل الهيدروليكي الذي تبنى عليه فكرة الحركة في الحيوانات الرخوة.

يمكننا حساب القوى الهيدروستاتيكية داخل دودة تتحرك. وذلك باعتبارها أسطوانة مرنة نصف قطرها r. ولو افترضنا أن العضلات الدائرية الموجودة على محيطها تتوزع على طولها بشكل منتظم. بفرض أن المساحة الفعالة لكل وحدة طول من عضلة الدودة هي A_M. فإن القوة المتولدة نتيجة انقباض هذه العضلة الدائرية f_M، على طول كل سنتيمتر من طول الدودة، تكون،

$$f_M = S\,A_M \qquad \textbf{2-5}$$

S هنا هي القوة المنتجة في وحدة المساحة من العضلات. (لاحظ أن f_M تكون بوحدات القوة لكل وحدة طول.) تولد هذه القوة ضغط P داخل الدودة.

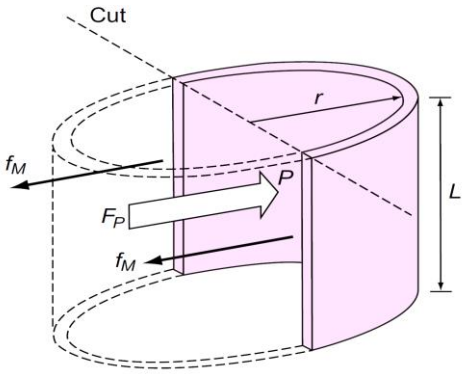
يمكن حساب مقدار الضغط P بمساعدة الشكل **2-4**، الذي يظهر مقطع من الدودة. يبلغ طول المقطع L. عندما نقطع هذا المقطع إلي شطرين بالطول، كما هو مبين في الشكل **2-4**، فإن القوة نتيجة الضغط داخل الأسطوانة من شأنه أن يدفع الشطرين للخارج كل على حده. يتم حساب هذه القوة على النحو التالي. تكون مساحة السطح A على طول قطع القسم الأوسط هي،

ونظرا لأن ضغط المائع دائما يكون عمودي على مساحة معينة، فإن القوة F_P التي تميل إلى تقسيم الأسطوانة تكون على الصورة،

$$F_P = P \times A = P \times L \times 2r \qquad \textbf{2-7}$$

P هنا هو ضغط المائع المتولد داخل الدودة نتيجة تقلص العضلات الدائرية.

$$A = L \times 2r \qquad \textbf{2-6}$$



الشكل 2-4: حساب الضغط داخل الدودة.

في حالة التوازن، تتزن القوة F_P مع قوة العضلات التي تعمل على طول حافتي القطع الوهمي. وبالتالي،

$$F_P = 2 f_M L$$

أو

$$P \times L \times 2r = 2 f_M L$$

و

$$P = \frac{f_M}{r} \qquad \textbf{2-8}$$

لجعل الحسابات محددة، نفترض أن نصف قطر الدودة r هو 0.4 سم، ومساحة العضلات الدائرية لكل سنتيمتر من طول الدودة هي $A_M = 1.5 \times 10^{-3}$ cm^2 ، و S ، أقصى قوة متولدة في وحدة المساحة من العضلات، هي 7×10^6 dyn/cm^2 . (هذه هي القيمة التي استخدمناها في السابق لعضلات الإنسان.) لذلك، فإن الضغط داخل الدودة تحت تأثير الحد الأقصى لتقلص العضلات دائرية يكون،

$$P = \frac{f_M}{r} = \frac{S A_M}{r} = \frac{7 \times 10^6 \times 1.5 \times 10^{-3}}{0.4}$$
$$= 2.63 \times 10^4 \text{ dyn/cm}^2 = 19.8 \text{ torr}$$

إن هذا الضغط هو ضغط مرتفع نسبيا، حيث يمكنه رفع عمود من الماء إلى ارتفاع 26.2 سم و القوة في الاتجاه الأمامي F_f المتولدة بهذا الضغط، والتي تطيل الدودة، هي

$$F_f = P \times 2\pi r^2 = 1.32 \times 10^4 \text{ dyn}$$

ويمكن بالمثل تحليل فعل العضلات الطولية.

3-2: مبدأ ارخميدس وتطبيقاته الحيوية

1-3-2: مبدأ ارخميدس

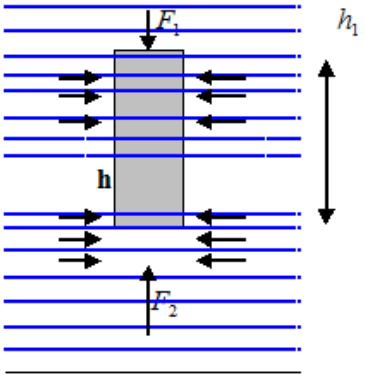
ينص مبدأ أرخميدس على أن الجسم المغمور جزئيا أوكليا في سائل يلقى دفع من أسفل إلى أعلى وهذا الدفع يساوي في المقدار وزن السائل المزاح. الآن سوف نستخدم مبدأ أرخميدس لحساب الطاقة المطلوبة لبقاء الجسم طافيا في الماء ودراسة طفو الأسماك وبعض الكائنات البحرية.

إثبات قاعدة ارشميدس نظريا يعني اثبات ان قوة دفع السائل للجسم تساوى وزن السائل المزاح $Fb = W_L$, بفرض القاء جسم أسطواني صلب في السائل شكل**5-2**، فانه يزيح اسطوانة من السائل تساوى حجمه وهذه الاسطوانة تتأثر بقوى من جميع الاتجاهات: -

(1) قوى افقية (متزنة) أى تلاشى بعضها بعضاً إذاَ محصلتها = صفر.

(2) قوى رأسية: وهذه غير متزنة إذ أن القوة المؤثرة على القاعدة السفلى للأسطوانة لأعلى أكبر من القوة المؤثرة على قاعدتها العليا لأسفل أي أن $F_2 > F_1$ وفرق هاتين القوتين يساوى قوة الدفع.

$$F_b = F_2 - F_1$$
$$Fb = A(P_2 - P_1)$$
$$Fb = A.(\rho_L g.h_2 - \rho_L g.h_1)$$
$$Fb = A\rho_L.g(h_2 - h_1)$$
$$Fb = A\rho_1.gh$$
$$A.h = V_L$$
$$Fb = \rho_L.V_L.g$$
$$\rho_L.V_L = m_l$$
$$Fb = m_L.g$$



الشكل 2-5: القوة المؤثرة في الجسم المغمور في مائع.

2-3-2: الطاقة المطلوبة للبقاء طافيا

تلعب الكثافة ρ في الحيوانات المائية دورا هاما في غوص الحيوان في الماء أو طفوه. عندما تكون كثافته الحيوان أكبر من كثافة الماء، يتوجب عليه حينئذ أن يبذل شغل حتى لا يغرق.

بفرض حيوان له الحجم V وكثافة ρ سوف نقوم بحساب القدرة P المطلوبة لتعويم جزء f من حجمه المغمورة. بما أن الجزء f من جسم الحيوان يكون مغمور، فإن الحيوان يطفو لأعلى بقوة F_B تعطى بالعلاقة،

$$F_B = g\, f\, V\, \rho_w \qquad \text{2-9}$$

حيث ρ_w هي كثافة الماء. في حين أن القوة دفع المائع للحيوان F_D والتي تساوي وزن الماء المزاح تكون هي الفرق بين وزنه $g\, V\, \rho$ وقوة الطفو. بمعنى،

$$F_D = g\, V\, \rho - g\, f\, V\, \rho_w = g\, V(\rho - f\, \rho_w) \qquad \text{2-10}$$

ولكي يحافظ الحيوان على نفسه عائما، يجب عليه أن يولد قوة لأعلى تساوي F_D . هذه القوة يمكن أن تتولد عن طريق دفع الأطراف إلى أسفل ضد الماء. هذه الحركة تسرع الماء إلى الأسفل وتولد قوة رد الفعل لأعلى والتي تساعد الحيوان على الطفو.

إذا كانت مساحة الأطراف المتحركة هي A والسرعة النهائية للماء المعجل هي v ، فإن كتلة الماء

المعجل في وحدة الزمن في حركة القدم تعطى بالعلاقة

$$m = Av\rho_w \qquad \textbf{2-11}$$

وبما أن الماء يكون ساكنا في البداية، فإن كمية الزخم المنقولة إلى الماء كل ثانية تكون mv . (حيث أن m هنا هي الكتلة المعجلة في الثانية الواحدة).

Momentum given to the water per second = mv

هذا هو معدل التغير في زخم الماء. يتم تطبيق القوة المولدة لهذا التغيير في الزخم على المياه من خلال الأطراف المتحركة، وقوة رد الفعل لأعلى F_R ، والتي تساند وزن السباح، تساوي في المقدار F_D وتعطى بالعلاقة،

$$F_R = F_D = g\,V(\rho - f\,\rho_w) = mv \qquad \textbf{2-12}$$

بالتعويض بالمعادلة 2-**11** عن m نحصل على،

$$\rho_w A v^2 = g\,V(\rho - f\,\rho_w)$$

أو

$$v = \sqrt{\frac{g\,V(\rho - f\,\rho_w)}{A\rho_w}} \qquad \textbf{2-13}$$

يذهب الشغل المبذول بواسطة الأطراف إلى طاقة حركية للمياه المعجلة. تكون الطاقة الحركية المعطاة للماء كل ثانية هي نصف حاصل ضرب الكتلة المعجلة كل ثانية ومربع السرعة النهائية للماء، و هذه الطاقة الحركية المنقولة إلى الماء كل ثانية هي الطاقة المتولدة من الأطراف. بمعنى أن،

$$KE/\sec = \text{Power genrated by the limbs}, \quad P = \frac{1}{2}mv^2$$

بالتعويض بالمعادلات عن و v نحصل على:

$$P = \frac{1}{2}\sqrt{\left[W\left(1-\left(f\,\rho_w/\rho\right)\right)\right]^3 \Big/ A\rho_w}$$

W هنا هو وزن الحيوان ($W = gV\rho$).

في التمرين **2** تم بيان أن امرأة بوزن **50** كجم تنفق حوالي $7.8W$ للحفاظ على إبقاء أنفها فوق الماء. لاحظ أنه في حساباتنا، قد أهملنا الطاقة الحركية للأطراف المتحركة. في المعادلة **2-14** تم افتراض أن كثافة الكائن أكبر من كثافة الماء. تم فحص الحالة العكسية في التمرين **3**.

2-3-3: التطبيقات الحيوية للطفو

تحتوي أجسام بعض الأسماك والحيوانات المائية الأخرى على عظام مسامية أو قربة (مثانة) سباحة مليئة بالهواء تقلل متوسط كثافتها والسماح لها بالعوم في الماء دون إنفاق طاقة كما يوضحه الشكل **2-6**. على سبيل المثال، يحتوي جسم الحبار على عظام مسامية كثافتها **0.62** جم/سم^3، ولبقية جسمها كثافة تساوي **1.062** جم/سم^3. يمكننا تعيين نسبة حجم الجسم X المحتلة بالعظام المسامية التي تجعل من متوسط كثافة السمكة هي نفس كثافة مياه البحر (**1.026** جم/سم^3) باستخدام المعادلة التالية:

$$1.026 = \frac{0.62\,X - (100 - X)1.067}{100} \qquad \textbf{2-15}$$

X في هذه الحالة تساوي **9.2**%.

يعيش سمك الحبار في البحر على عمق حوالي **150** متر. عند هذا العمق، يكون الضغط هو **15** ضغط جوي. تملأ الفراغات في العظام المسامية بغاز عند ضغط حوالي **1** ضغط جوي. لذلك، يجب أن تكون العظام المسامية قادرة على تحمل ضغط **14** ضغط جوي. وقد أظهرت التجارب أن العظام يمكن في الواقع تتحمل حتى **24** ضغط جوي.

في الأسماك التي تمتلك مثانة (قربة سباحة) شكل **2-6**، يأتي الانخفاض في الكثافة من الغاز في القربة. وبما أن كثافة الغاز لا يكاد تذكر بالمقارنة مع كثافة الأنسجة، يكون حجم قربة السباحة اللازمة لتقليل كثافة الأسماك أصغر من حجم العظام المسامية. على سبيل المثال، لتحقيق تخفيض الكثافة المحسوبة في المثال السابق، يكون حجم القربة حوالي **4**٪ فقط من إجمالي حجم السمكة.

الشكل 2-6 يوضح شكل قربة السباحة في الأسماك.

يمكن للحيوانات المائية التي تمتلك عظام مسامية أو قربة سباحة أن تغير كثافتها. يغير سمك الحبار كثافته عن طريق حقن مائع أو سحبه من العظام المسامية الخاصة به، بينما تغير الأسماك التي تملك قربة السباحة كثافتها عن طريق تغيير كمية الغاز في القربة.

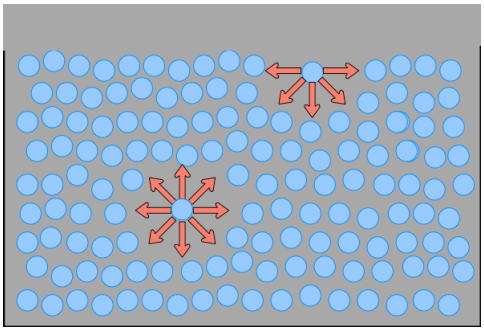
2-4: التوتر السطحي وتطبيقاته الحيوية

2-4-1: التوتر السطحي

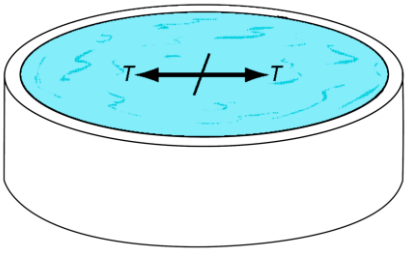
تمارس الجزيئات التي تشكل السائل قوى تجاذب على بعضها البعض. يكون الجزيء الموجود داخل السائل محاطا بعدد متساوي من الجزيئات التي بالجوار في جميع الاتجاهات. لذلك، تكون محصلة القوى بين الجزيئات التي تؤثر على الجزيء الموجود في الداخل هي الصفر. مع ذلك، يكون الوضع مختلف، بالقرب من سطح السائل. ولأنه لا توجد جزيئات فوق السطح، فإن الجزيء هنا يكون مسحوب في الغالب في اتجاه واحد، نحو الداخل من السطح. يؤدي هذا إلى أن ينكمش سطح السائل ويتصرف نوعا ما مثل غشاء مشدود. هذا الميل للانكماش يولد توتر (شد) سطحي يقاوم الزيادة في السطح الحر للسائل كما يتضح من الشكل 2-7.

يمكن بيان أن التوتر السطحي هو القوة المؤثرة مماسيا للسطح، عمودية على خط طوله الوحدة على السطح (الشكل 2-8). يكون التوتر السطحي T للماء عند 25 درجة مئوية هو 22.8 داين/سم. تكون القوة الإجمالية F_T التي ينتجها التوتر السطحي مماسيا لسطح سائل له طول حدود L هي،

$$F_T = T\,L \qquad 2\text{-}16$$



الشكل 2-7 يوضح مقارنة القوى والروابط بين جزيئات السطح والعمق في السائل.



الشكل 2-8 التوتر السطحي.

عند وضع سائل في وعاء، فإن جزيئات السطح القريبة من الجدار تنجذب إلى الجدار. تسمى هذه القوة الجاذبة بقوة الالتصاق. مع ذلك، في الوقت نفسه، تخضع هذه الجزيئات أيضا لقوة تماسك جذابة مبذولة بواسطة السائل، وهذه القوة تسحب الجزيئات في الاتجاه المعاكس. إذا كان القوة اللاصقة أكبر من قوة التماسك، يبلل السائل جدار الوعاء، وينحني سطح السائل لأعلى بالقرب من الجدار (انظر الشكل 2-9أ)..

إذا كان العكس هو الصحيح، فإن سطح السائل ينحني لأسفل (انظر الشكل 2-9ب). الزاوية θ في الشكل 2-9 هو الزاوية بين الجدار مماس سطح السائل عند نقطة التماس مع الجدار (تسمى θ بزاوية التلامس أو الاتصال،). في حالة سائل معين وسطح معين تكون θ مقدار ثابت ومحدد بشكل جيد. فعلى سبيل المثال، تكون زاوية التلامس بين الزجاج والماء هي 25 درجة.

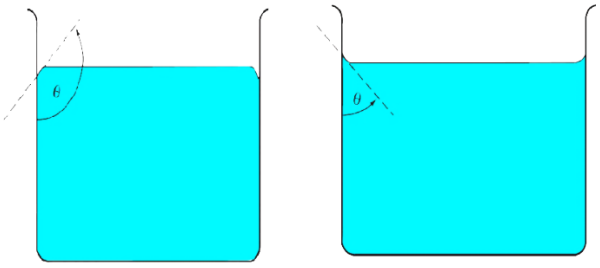
عندما تكون قوة الالتصاق أكبر من قوة التماسك، يرتفع السائل في أنبوب ضيق إلى ارتفاع محدد h (انظر الشكل 2-10أ)، يمكن حسابه من الاعتبارات التالية. يكون الوزن W لعمود السائل المدعم

هو،

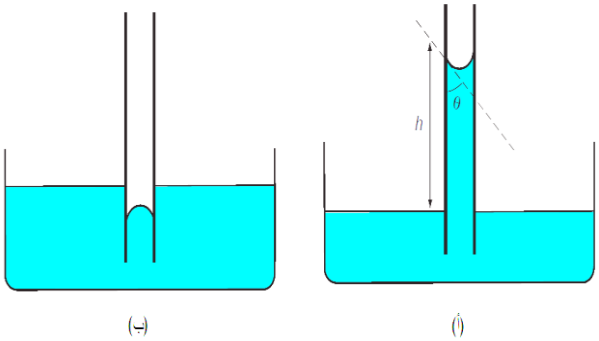
$$W = \pi R^2 h\rho g \qquad \textbf{2-18}$$

حيث R هو نصف قطر العمود و ρ هي كثافة السائل. يكون الحد الأقصى للقوة F_m بسبب التوتر السطحي على طول محيط السائل هو

$$F_m = 2\pi RT \qquad \textbf{2-18}$$



الشكل 2-9 : زاوية التلامس عندما (أ) يبلل السائل الجدار، و (ب) لا يبلل السائل الجدار.



الشكل 2-10: (أ) رفع شعرية، (ب) انخفاض شعرية.

المركبة الرأسية لأعلى لهذه القوة تعادل وزن عمود السائل (انظر الشكل 2-10أ)، بمعنى أن،

$$2\pi RT\cos\theta = \pi R^2 h\rho g \qquad \textbf{2-19}$$

لذلك، يكون ارتفاع العمود هو،

$$h = \frac{2T\cos\theta}{R\rho g} \qquad \textbf{20-2}$$

إذا كان الالتصاق أصغر من التماسك، تكون الزاوية θ أكبر من **90** درجة. في هذه الحالة، ينخفض

ارتفاع السائل في الأنبوب (الشكل 2-10ب). لا تزال المعادلة 2-20 صالحة وتعطي عدد سالب للارتفاع. تسمى هذه التأثيرات بالفعل الشعري.

سمة أخرى للتوتر السطحي هي ميل السائل لعمل شكل كروي. لوحظ هذا الميل بشكل أكثر وضوحا في السائل الخارج الإناء. هذا السائل غير الخاضع للسيطرة يتشكل على هيئة كرة وهذا ما يمكن ملاحظته في شكل قطرات المطر. يكون الضغط داخل قطرة السائل الكروية أعلى من الضغط في الخارج. يكون الضغط الزائد ΔP في كرة سائل لها نصف قطر R هو،

$$\Delta P = \frac{2T}{R} \qquad \text{2-21}$$

هذا هو أيضا تعبير الضغط الزائد داخل فقاعة هواء في سائل. بعبارة أخرى، لعمل فقاعة غاز بنصف قطر R في سائل له توتر سطحي T ، يجب أن يكون ضغط الغاز المحقون في السائل أكبر من ضغط السائل المحيط بمقدار ΔP على النحو الوارد في المعادلة 2-21.

وعموما فإن آثار التوتر السطحي واضحة في العديد من المجالات ذات الصلة بعلوم الحياة.

2-4-2: التطبيقات الحيوية للتوتر السطحي

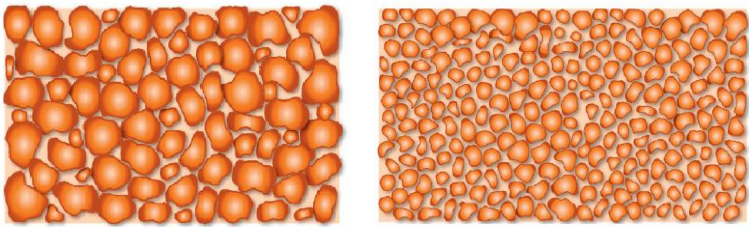
أولا: المياه الجوفية

معظم التربة تكون مسامية مع فراغات ضيقة بين الجزيئات الصغيرة. هذه الفراغات تكون بمثابة أنابيب شعيرية وبشكل جزئي تحكم حركة المياه خلال التربة. عندما يدخل الماء في التربة، فإنه يخترق الفراغات بين الجزيئات الصغيرة ويلصقها معا. إذا لم تلتصق المياه مع الجزيئات، فإنها تجري بسرعة من خلال التربة حتى تقابل صخور صلبة. عندئذ تكون الحياة النباتية مقيدة بشدة. وبسبب الالتصاق والفعل الشعري الناتج عن ذلك، يتم الاحتفاظ بجزء كبير من الماء الذي يدخل التربة. ولكي يسحب النبات هذه المياه، يجب أن تطبق الجذور ضغط سلبي (أو شفط) على التربة الرطبة. قد يكون الضغط السلبي المطلوب عالي جدا. فعلى سبيل المثال، إذا كان نصف قطر الشعرية الفعال للتربة هو

10^{-3} سم، فإن الضغط اللازم لسحب الماء يكون 1.46×10^{5} dyn/cm^{2} أو **0.144** ضغط جوي. ويسمى الضغط المطلوب لسحب الماء من التربة بتوتر رطوبة التربة (SMT). يعتمد توتر رطوبة التربة على حجم حبيبات التربة ومحتوى الرطوبة بها، وتركيب مادة التربة. يعتبر توتر رطوبة التربة (SMT, soil moisture tension) معيار مهم في تحديد نوعية التربة. كلما زاد الـ SMT، تزداد صعوبة سحب الجذور للمياه اللازمة لنمو النبات.

يمكن فهم اعتماد توتر رطوبة التربة على حجم الحبيبات من الاعتبارات التالية. تزداد الفراغات بين جزيئات التربة مع زيادة حجم الحبيبات. وبما أن الفعل الشعري يتناسب عكسيا مع قطر الشعرية، فأن التربة ذات الحبيبات الناعمة تمسك الماء بشكل أفضل من التربة المماثلة ذات الحبيبات الأكبر (انظر الشكل 2-11).

عندما تمتلئ كل مسام التربة بالمياه، يكون توتر رطوبة السطح عند أدنى قيمة له. وبعبارة أخرى، في ظل هذه الظروف يكون ضغط الشفط المطلوب التي تنتجه جذور النباتات لسحب الماء من التربة هو أقل ما يمكن. مع ذلك، لا تكون التربة المشبعة أفضل وسط لنمو النبات. فالجذور تحتاج بعض الهواء، الذي يكون غائبا عندما تتشبع التربة تماما بالمياه. ومع تناقص كمية المياه في التربة يزداد توتر رطوبتها (SMT). على سبيل المثال، في التربة الطمية (الطفلية)، ومع محتوى رطوبة **20**٪ يكون الـ SMT حوالي **0.19** ضغط جوي. عندما تنخفض نسبة الرطوبة إلى **12**٪، يزداد الـ SMT إلى **0.26** ضغط جوي.



(أ) (ب)

الشكل 2-11: تمسك التربة الناعمة (أ) الماء بأحكام اكثر من التربة ذات الحبيبات الخشنة (ب).

يمكن تفسير ارتفاع الـ SMT مع انخفاض نسبة الرطوبة جزئيا بواسطة تأثيرين أثنين. مع فقد التربة للرطوبة، تميل المياه المتبقية إلى الارتباط في الشعيرات الأضيق. بالتالي يصبح سحب المياه أكثر صعوبة. بالإضافة إلى ذلك، مع تناقص نسبة الرطوبة، تصبح أجزاء من الماء معزولة، وتميل إلى تشكيل قطرات. قد يكون حجم هذه القطرات صغيرة جدا. على سبيل المثال، إذا انخفض نصف قطر القطرة إلى 10^{-5} سم، يكون الضغط المطلوب لسحب المياه خارج القطرة حوالي **14.5** ضغط جوي.

يعتمد فعل الأنابيب الشعرية أيضا على قوة الالتصاق، والذي بدوره يعتمد على تركيب مواد سطح الشعرية. على سبيل المثال، في ظل ظروف مماثلة لحجم الحبيبات ونسبة الرطوبة، قد تكون قيمة SMT في التربة الطينة عشرة أضعافه في التربة الطمية. هناك حد للضغط الذي يمكن أن تنتجه الجذور لسحب الماء من التربة. إذا زادت قيمة الـ SMT فوق **15** ضغط جوي، لا يمكن للقمح، على سبيل المثال، الحصول على ما يكفي من المياه لينمو. في المناخات الحارة والجافة حيث يتطلب الغطاء النباتي المزيد من المياه، قد تذبل النباتات حتى مع SMT يساوي **2** ضغط جوي. إن قدرة النبات على البقاء على قيد الحياة لا تعتمد كثيرا على المحتوى المائي مثل اعتمادها على توتر رطوبة التربة. قد يزدهر النبات في الطمية ويذبل في تربة طينية مع ضعف نسبة الرطوبة.

ثانيا: تنقل الحشرة على الماء

حوالي **3**٪ من كل الحشرات تكون مائية إلى حد ما. وبطريقة أو أخرى ترتبط حياتها بالماء. يتكيف العديد من هذه الحشرات للاستفادة من التوتر السطحي للماء في التنقل. إن التوتر السطحي للماء يجعل من الممكن لبعض الحشرات الوقوف على الماء والبقاء جافة. دعونا الآن نقدر الحد الأقصى لوزن حشرة يمكن أن تكون مدعومة بواسطة التوتر السطحي.

عندما تهبط الحشرة على المياه، ينضغط السطح تحت سيقان الحشرة كما هو مبين في الشكل **2-12**. مع ذلك يجب ألا تتبلل ساقين الحشرة بالماء. إن الطلاء بمادة شبيهة بالشمع يمكن أن يوفر الخاصية الضرورية للتنافر مع الماء. يتم تدعيم وزن الحشرة W بواسطة المركبة الرأسية لأعلى للتوتر السطحي.

بمعنى أن،

$$W = LT\sin\theta \qquad \text{2-22}$$

حيث L هو المحيط المشترك لجميع سيقان الحشرة المتصلة مع الماء.

للقيام بعمليات حسابية كمية، يجب أن نقدم بعض الافتراضات. نفترض أن الحشرة تكون في شكل مكعب له أبعاد الجانب l. حينئذ يكون وزن حشرة لها كثافة ρ هو،

$$W = l^3 \rho g \qquad \text{2-23}$$

ونفترض أيضا أن محيط من الساقين المتصل مع الماء يساوي تقريبا طول ضلع المكعب. وهذا يعني انه من المعادلة **2-23** أن،

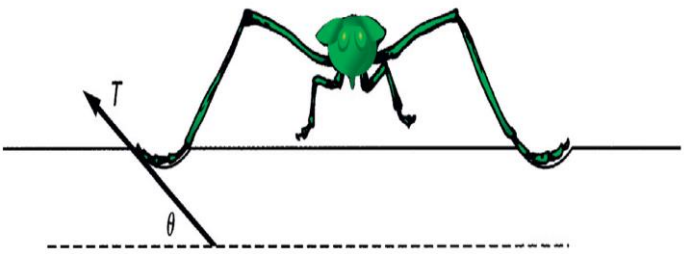
$$L = l = \left(\frac{W}{\rho g}\right)^{1/3} \qquad \text{2-24}$$

تحدث أكبر قوة داعمة مقدمة بواسطة التوتر السطحي عند الزاوية $\theta = 90^{o}$ (انظر الشكل **2-12**). (عند هذه النقطة تكون الحشرة على وشك الغرق.) يتم الحصول على أقصى W_m يمكن أن يدعم بواسطة التوتر السطحي من المعادلة **2-22**. أي أن،

$$W_m = LT = \left(\frac{W_m}{\rho g}\right)^{1/3} T$$

أو

$$W_m^{2/3} = \frac{T}{(\rho g)^{1/3}} \qquad \text{2-25}$$



الشكل **2-12**: حشرة تقف على الماء.

إذا كانت كثافة الحشرة هي **1** جرام/سم**3**، حينئذ، مع توتر سطحي يساوي $T = 72.8 \ \text{dyn/cm}^2$ ، يكون اقصى وزن هو،

$$W_m^{2/3} = \frac{72.8}{(980)^{1/3}} \quad \rightarrow \quad W_m = 19.7 \ dyn$$

لذا تكون كتلة الحشرة حوالي **2** × **10**$^{-2}$ جرام، ويكون الحجم الخطي المقابل لمثل هذه حشرة حوالي **3** ملم.

يمكننا القول أن الشخص الذي وزنه **20** كجم يضطر إلى الوقوف على منصة محيطها **10** كيلومترا مدعومة فقط على التوتر السطحي. (هذه المنصة تكون عبارة عن قرص قطره يكون حوالي **3.2** كم).

وقد أظهرت الأبحاث التي أجريت أخيرا أن سيقان بعض الحشرات (حشرة ستردير المياه على سبيل المثال) تكون مغطاة بشعر دقيق جدا في نطاق حجم الميكرون أو أقل، والتي تزيد من الحد الأقصى للوزن المدعوم بتوتر سطحي بمقدار رتبة واحدة.

ثالثا: تقلص العضلات

يظهر فحص العضلات الهيكلية أنها تتكون من ألياف عضلية أصغر، والتي بدورها تتكون من وحدات أصغر تسمى الليفات العضلية (**myofibrils**). علاوة على ذلك، يكشف الفحص باستخدام المجهر الإلكتروني أن الليفة العضلية تتألف من نوعين من الخيوط، واحد مصنوع من الميوسين (**myosin**)، وهو عبارة عن **160** أنجستروم (**1** أنجستروم=**10**$^{-8}$سم) في القطر، والآخر مصنوع من الأكتين (**actin**)، وله قطر حوالي **50** أنجستروم. تكون كل وحدة ميوسين-أكتين حوالي **1** مم في الطول. تصطف الخيوط في نمط منتظم مع مسافات بينية بحيث يمكنها أن تنزلق على بعضها البعض، كما هو مبين في الشكل **2**-**13**.

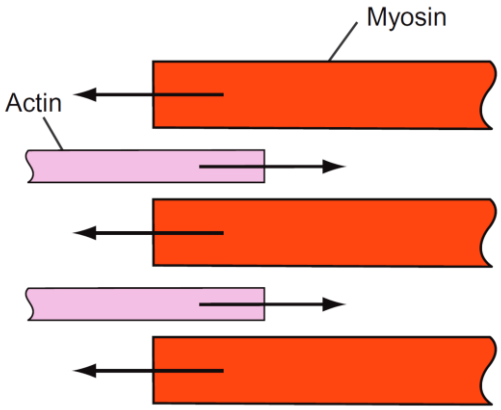
يبدأ تقلص العضلات بنبضة عصبية كهربية تؤدي إلى تحرير أيونات كالسيوم (Ca^{2+}) في هيكل الميوسين-أكتين. أيونات الكالسيوم بدورها تنتج تغييرات بنيوية تؤدي إلى انزلاق الخيوط على بعضها

البعض، وتقصير هيكل الميوسين-أكتين، ويؤدي التأثير الجماعي لهذه العملية الى تقلص العضلة.

من الواضح أن وجود قوة على طول خيوط الميوسين-أكتين هي التي تعمل على توليد مثل حركة التقلص هذه. مازالت الطبيعة الفيزيائية لهذه القوة غير مفهومة تماما. وقد اقترحا جامو ويكاس أن هذه القوة قد تعود إلى ظاهرة التوتر السطحي، الموجودة، ليس فقط في السوائل ولكن أيضا في المواد الشبيهة بالهلام مثل خلايا الأنسجة. من ثم تكون حركة الخيوط مماثلة لحركة الشعرية للسوائل. هنا تكون الحركة نتيجة التجاذب بين أسطح هذين النوعين من الخيوط. يمكن قدح جذب السطح بتحرير أيونات الكالسيوم. الآن، دعونا نقدر القوة لكل سنتيمتر مربع من الأنسجة العضلية التي قد تتولد بواسطة التوتر السطحي المقترح في هذا النموذج.

إذا كان القطر المتوسط للخيط هو D ، فإن عدد الخيوط N لكل سم^2 من العضلة بالتقريب يكون،

$$N = \frac{1}{\frac{\pi}{4} \times D^2} \qquad \textbf{2-26}$$



الشكل **2-13**: مخطط يبين مفهوم تقلص العضلات.

من المعادلة **2-16**، تكون اقصى قوة جذب F_f متولد بالتوتر السطحي على كل ليف هي،

$$F_f = \pi D T \qquad \textbf{2-27}$$

وتكون اقصى قوة كلية F_m نتيجة لكل الألياف الموجودة في وحدة المساحة من العضلة هي،

$$F_m = N F_f = \frac{4T}{D} \qquad \textbf{2-28}$$

ويكون متوسط القطر D للألياف العضلية حوالي **100** أنجستروم (**10^{-6}** سم)، ولذلك، فإن أقصى قوة تقلص يمكن أن تنتج عن التوتر السطحي لكل سنتيمتر مربع من مساحة العضلة هي،

$$F_m = T \times 4 \times 10^6 \ \text{dyn/cm}^2$$

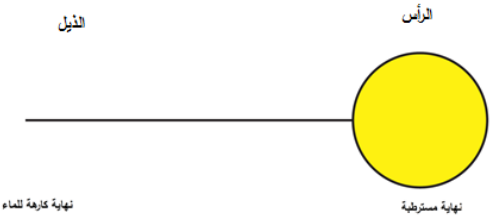
هكذا فإن توتر سطح مقداره 1.75 dyn/cm يمكن أن يولد قوة مقاسة للعضلة مقدارها $7 \times 10^6 \ \text{dyn/cm}^2$. ولأن هذه القيمة للتوتر السطحي أقل بكثير من التوتر السطحي الذي نصادفه بشكل شائع، يمكننا أن نستنتج أن التوتر السطحي يمكن أن يكون مصدرا لتقلص العضلات. ومع ذلك، لا ينبغي أن تؤخذ هذه الآلية المقترحة على محمل الجد، حيث أن العمليات الفعلية في تقلص العضلة أكثر تعقيدا من هذا بكثير، ولا يمكن أن تختزل في نموذج التوتر السطحي البسيط.

2-4-3: منشطات السطح

منشطات السطح هي جزيئات تقلل التوتر السطحي للسوائل المذابه فيها. (الكلمة هي اختصار عامل فاعل أو منشط للسطح، (**surface acting agents**).) أغلب جزيئات منشطات السطح شيوعا تملك نهاية واحدة (تسمى الرأس) قابلة للذوبان في الماء (مسترطبه أو محبة للماء ، **hydrophilic**) ونهاية أخرى (تسمى الذيل) غير قابلة للذوبان في الماء (كاره للماء، **hydrophobic**) (انظر الشكل **2-14**). (يتم تمثيل منشطات السطح برسم تخطيطي يتألف من خط يمثل الذيل وهو جزء عضوي كاره للماء (ومحب للدهن)، ودائرة تمثل الرأس وهو زمرة محبة للماء أي انه زمرة أيونية أو قطبية مثل شاردة الكربوكسيلات. تحتوي الزمرة الكارهة للماء عادة على سلسلة هيدروكربونية مع مركبات ألكيلية و/أو أريلية. وظيفة الزمرة الكارهة للماء أن تنبذ من الأوساط المائية التي توضع فيها) كما تشير الكلمة، تنجذب النهاية المسترطبه الى الماء بقوة في حين يكون للنهاية الكارهة للماء جاذبية قليلة جدا مع الماء لكنها تنجذب وتكون قابلة للذوبان بسهولة في السوائل الزيتية. تم العثور على العديد من الأنواع المختلفة من جزيئات منشطات السطح في الطبيعة أو كمنتجات للتصنيع

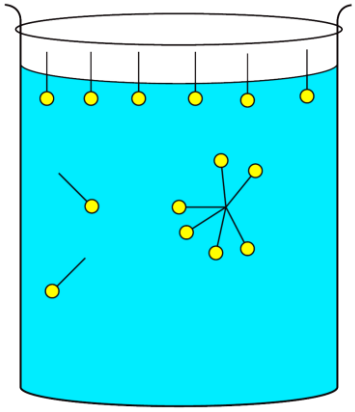
المختبري.

عند وضع جزيئات منشطات السطح في الماء، فإنها تصطف على السطح بحيث تكون نهاياتها الكارهة للماء منبوذة إلى خارج الماء كما هو مبين في الشكل 2-15.



الشكل 2-14: مخطط توضيحي لجزيء منشط السطح يتكون من رأس محب للماء وذيل كاره للماء.

إن مثل هذا الاصطفاف يعطل بنية سطح الماء، ويحد من التوتر السطحي، ويمكن لتركيز قليل من جزيئات المنشط أن يقلل التوتر السطحي للماء من 23 داين/سم إلى 30 داين/سم. في السوائل الزيتية، يتم اصطفاف جزيئات المنشط على السطح بحيث تكون النهاية المسترطبة مرصوصة في اتجاه خارج السائل. في هذه الحالة يتم تقليل التوتر السطحي للنفط.



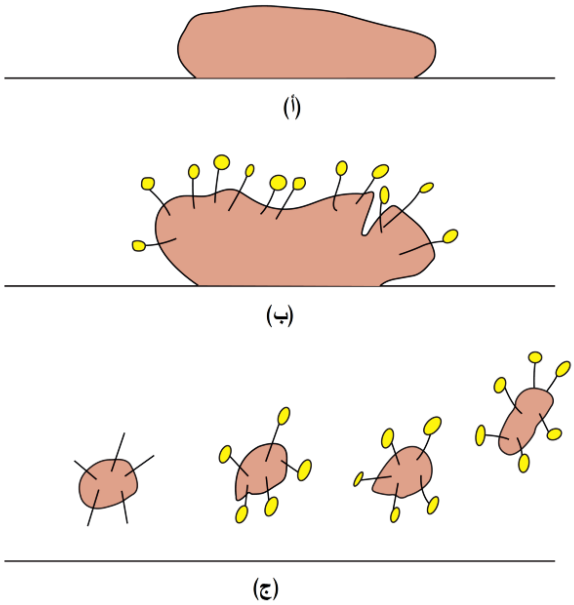
الشكل 2-15: طبقة سطحية لجزيئات منشط سطح.

الاستخدام الأكثر شيوعا لمنشطات السطح هو في صناعة الصابون والمنظفات للتخلص من المواد الزيتية. هنا تذوب النهاية الكارهة للماء لجزيء المنشط في السطح الزيتي بينما تبقى النهاية المحبة للماء معرضة للمياه المحيطية كما هو مبين في الشكل 2-16. تقلل الجزيئات المصطفة للمنشط من التوتر

السطحي للزيت، ونتيجة لذلك، يتكسر الزيت إلى قطرات صغيرة محاطة بنهايات المنشط المحبة للماء. تذوب قطرات الزيت الصغيرة (بمعنى تُعلق أو تُحل) في الماء ويمكن الآن أن التخلص منها بالغسيل.

تستخدم منشطات السطح على نطاق واسع في الكيمياء الحيوية التجريبية. في أنواع معينة من التجارب، على سبيل المثال، يجب إذابة البروتينات التي تكون كارهة للماء مثل البروتينات الغشائية والبروتينات الدهنية في الماء. هنا يتم استخدام منشطات السطح لإذابة البروتينات في عملية مماثلة لتلك الموضحة في الشكل **2-16**. تذوب النهايات الكارهة للماء لجزيئات المنشط في سطح البروتين، بينما تحيط النهايات المحبة للماء بالبروتين وتذيبه في الماء المحيط.

لا تقف بعض الحشرات مثل المايكروفيليا (**Microvelia**) على الماء فقط ولكن أيضا تستفيد من التوتر السطحي في الدفع. أنها تفرز مادة من بطونها تقلل من التوتر السطحي خلفها، ونتيجة لذلك تندفع في الاتجاه إلى الأمام. هنا يكون التأثير مشابه لقطع غشاء مطاط مشدود الذي عندما يتمزق الغشاء يتحرك كل قسم منه مبتعدا عن مكان التمزق. يمكن ببساطة البرهنة على هذا التأثير، والذي يعرف باسم الدفع مارانجوني (**Marangoni propulsion**)، عن طريق طلاء أحد نهايات خلة أسنان بالصابون، ووضعها في الماء. سوف يقلل الفعل الصابوني كمنشط للسطح من التوتر السطحي وراء النهاية المطلية مما يؤدى إلى تحريك وتعجيل خلة الاسنان بعيدا عن الصابون المذاب.



الشكل 2-16: عمل المنظفات. (أ) قطرة زيت على بقعة رطبة. (ب) النهاية الكارهة للماء لجزيء منشط سطح تدخل بقعة الزيت. (ج) تتكسر بقعة الزيت إلى أقسام أصغر تحيط بها النهايات المحبة للماء.

أظهرت التجارب أن المنشط السطحي المفروز بواسطة الحشرات يقلل من التوتر السطحي للماء من 23 داين/سم إلى حوالي 50 داين/سم، كما تبين القياسات أنه خلال الدفع المارانجوني، يمكن للمايكروفيليا تحقيق سرعات تصل الى 12 سم/ثانية.

2-5: الموائع المتحركة وخصائصها

ترتبط دراسة السوائل المتحركة ارتباطا وثيقا بعلم الأحياء والطب. في الواقع، أحد أهم العاملين في هذا المجال هو الطبيب الفرنسي أل. م. بوازوي (1869-1299م)، الذي كانت دراسته للموائع المتحركة بسبب اهتمامه بتدفق الدم عبر الجسم. في هذا الباب، سوف نستعرض بإيجاز المبادئ التي تحكم تدفق الموائع ومن ثم فحص تدفق الدم في الدورة الدموية.

2-5-1: التدفق ومعادلة برنولي

إذا ما أهملنا فقد الاحتكاك، فإن تدفق المائع غير القابل للانضغاط يكون محكوما بمعادلة برنولي،

التي تعطي العلاقة بين السـرعة، والضـغط، والارتفاع في خط التدفق. تنص معادلة برنولي على أنه في أي نقطة في قناة المائع المتدفق تكون العلاقة التالية صحيحة:

$$P + \rho g h + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{Constant} \qquad \textbf{2-29}$$

P هنا هو الضـغط في المائع، h هو الارتفاع، ρ هي كثافة، و v هي السـرعة في أي نقطة في قناة التدفق. الحد الأول في المعادلة هو عبارة عن طاقة الوضع لوحدة الحجم من المائع بسبب الضغط في السائل. (لاحظ أن وحدة الضغط، والتي هي داين/سم**2**، تعادل الأرج/ سم**3**، التي هي الطاقة لوحدة الحجم.) الحد الثاني هو طاقة الوضع الجذبية لوحدة الحجم، والحد الثالث هو طاقة الحركة لوحدة الحجم.

تنبثق معادلة برنولي من قانون حفاظ الطاقة. وبما أن الحدود الثلاثة في المعادلة تمثل مجموع الطاقة في المائع، فإنه في غياب الاحتكاك يجب أن يظل مجموعها ثابت بغض النظر عن كيفية تغير التدفق.

سـنقوم بتوضـيح اسـتخدام معادلة برنولي بمثال بسـيط. افترض مائع يتدفق خلال أنبوب يتكون من جزأين بمسـاحات مقطع A_1 و A_2 على التوالي (انظر الشـكل **2-17**). يعطى حجم المائع المتدفق في الثانية الواحدة عند أي نقطة في الأنبوب بحاصل ضرب سرعة المائع ومساحة مقطع الأنبوب، $A \times v$. إذا كان المائع غير قابل للانضغاط، فإنه في وحدة الزمن يكون حجم المائع الخارج من الأنبوب يجب أن يسـاوي الحجم المتدفق خلاله. ولذلك، فإن معدلات التدفق في القطاعات **1** و**2** تكون متسـاوية؛ أي أن،

$$A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2 \qquad \text{or} \qquad v_2 = \frac{A_1}{A_2} \times v_1 \qquad \textbf{2-30}$$

الشكل 2-17: تدفق مائع في أنبوب يتكون من جزئيين بمساحات مقطع مختلفة.

في حالتنا A_1 أكبر من A_2 لذلك نستنتج أن سرعة السائل في الجزء **2** تكون أكبر منها في الجزء **1**.

تنص معادلة برنولي على أن مجموع الحدود في المعادلة **2-29** عند أي نقطة في التدفق يساوي نفس الثابت. بالتالي فإن العلاقة بين المتغيرات P ، ρ ، h ، و v عند النقاط **1** و**2** تكون

$$P_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 \qquad \textbf{2-31}$$

حيث يشير المدلول السفلي للمتغيرات إلى النقطتين **1,2** في التدفق. ونظرا لأنه في حالتنا هذه يكون المقطعين على نفس الارتفاع ($h_1 = h_2$)، يمكن كتابة المعادلة **2-30** على الصورة،

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 \qquad \textbf{2-32}$$

وبما أن $v_2 = (A_1 / A_2)v_1$ ، فإن الضغط في المقطع **2** يكون،

$$P_2 = P_1 - \frac{1}{2}\rho v_1^2 \left[\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right] \qquad \textbf{2-33}$$

تبين هذه العلاقة أنه مع تزايد سرعة التدفق في جزء **2**، يتناقص الضغط في هذا الجزء.

2-5-2: اللزوجة وقانون بوازوي

يعتبر التدفق عديم الاحتكاك تدفق مثالي. في السائل الحقيقي، تتجاذب الجزيئات نحو بعضها البعض، وبالتالي، تقابل الحركة النسبية بين جزيئات المائع بقوة احتكاك، وهو ما يسمى الاحتكاك اللزج. يتناسب الاحتكاك اللزج مع سرعة تدفق ومعامل لزوجة سائل معين. وكنتيجة للاحتكاك اللزج، فإن سرعة السائل المتدفق خلال أنبوب تختلف على طول مقطع الأنبوب. تكون السرعة أعلى ما يكون عند المركز وتتناقص نحو الجدران. عند جدران الأنبوب، يكون السائل ساكن. يسمى مثل هذا التدفق تدفق صفائحي (رقائقي). يبين الشكل **2-18** شكل تغير سرعة التدفق الصفائحي في أنبوب. تتناسب أطوال الأسهم مع السرعة على طول قطر الأنبوب.

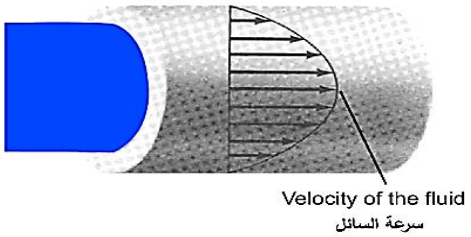
عند أخذ اللزوجة في الاعتبار، يمكن بيان أن معدل التدفق الصفائحي، Q ، خلال أنبوب أسطواني له نصف قطر R وطول L يعطى بقانون بوازوي على الصورة،

$$Q = \frac{\pi R^4 (P_1 - P_2)}{8\eta L} \ \text{cm}^3/\text{sec} \qquad \textbf{2-34}$$

حيث $P_1 - P_2$ هو الفرق بين ضغوط السائل عند طرفي الأسطوانة و η هو معامل اللزوجة مقاس بوحدات الداين (ثانية/سم2)، وهو ما يسمى بواز. يدون الجدول **2-1** معاملات اللزوجة لبعض السوائل. بشكل عام، اللزوجة هي دالة في درجة الحرارة وتزداد عندما يصبح السائل أكثربرودة.

هناك فرق أساسي بين تدفق السوائل عديم الاحتكاك وتدفق السائل اللزج. يتدفق السائل العديم الاحتكاك بشكل ثابت بدون تطبيق قوة خارجية. تكون هذه الحقيقة واضحة من معادلة برنولي، التي تبين أنه عندما يكون الارتفاع وسرعة السائل ثابتين، لا يكون هناك هبوط للضغط على طول مسار التدفق. ولكن تنص معادلة بوازوي للتدفق اللزج على أن هبوط الضغط يصاحب دائما تدفق اللزج للسائل. بإعادة ترتيب المعادلة **2-34**، يمكننا التعبيرعن هبوط الضغط على النحو،

$$P_1 - P_2 = \frac{Q 8\eta L}{\pi R^4} \qquad \textbf{2-35}$$



الشكل 2-18: التدفق الصفائحي. تدل أطوال الأسهم على سرعة المائع.

الجدول 2-1 معاملات اللزوجة لبعض الموائع المختارة.

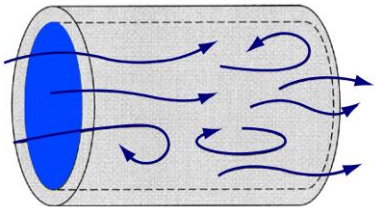
المائع	درجة الحرارة ^{o}C	معامل اللزوجة (بواز)
الماء	20	0.01
الجليسرين	20	8.3
الزئبق	20	0.0155
الهواء	20	0.00018
الدم	32	0.04

التعبير $P_1 - P_2$ هو انخفاض الضغط الذي يصاحب معدل التدفق Q على طول الطول L من الأنبوب. حاصل ضرب هبوط الضغط ومساحة مقطع الأنبوب هو القوة المطلوبة للتغلب على قوى الاحتكاك التي تميل إلى إعاقة التدفق في جزء الأنبوب. لاحظ أنه عند معدل تدفق معين يتناقص هبوط الضغط المطلوب للتغلب على فقد الاحتكاك مع الرتبة الرابعة لنصف قطر الأنبوب. وهكذا، على الرغم من أن كل السوائل تخضع للاحتكاك، إذا كانت مساحة التدفق كبيرة، فإن فقد الاحتكاك وهبوط الضغط المصاحب يكون صغيرا، ويمكن إهماله. في هذه الحالات، يمكن استخدام معادلة برنولي مع خطأ صغير.

2-5-3: التدفق المضطرب

إذا تم زيادة سرعة السائل الماضي إلى ما بعد نقطة حرجة، يتعطل التدفق الصفائحي السلس المبين في الشكل **2-18**. يصبح التدفق مضطربا مع وجود تيارات دوامية تعطل التدفق الصفائحي (انظر الشكل **2-19**). في الأنبوب الأسطواني وتعطى السرعة الحرجة للتدفق (v_c) التي فوقها يصبح التدفق مضطرب، بالعلاقة،

$$v_c = \frac{\Re \eta}{\rho D} \qquad \textbf{2-36}$$



الشكل **2-19**: التدفق المضطرب للمائع.

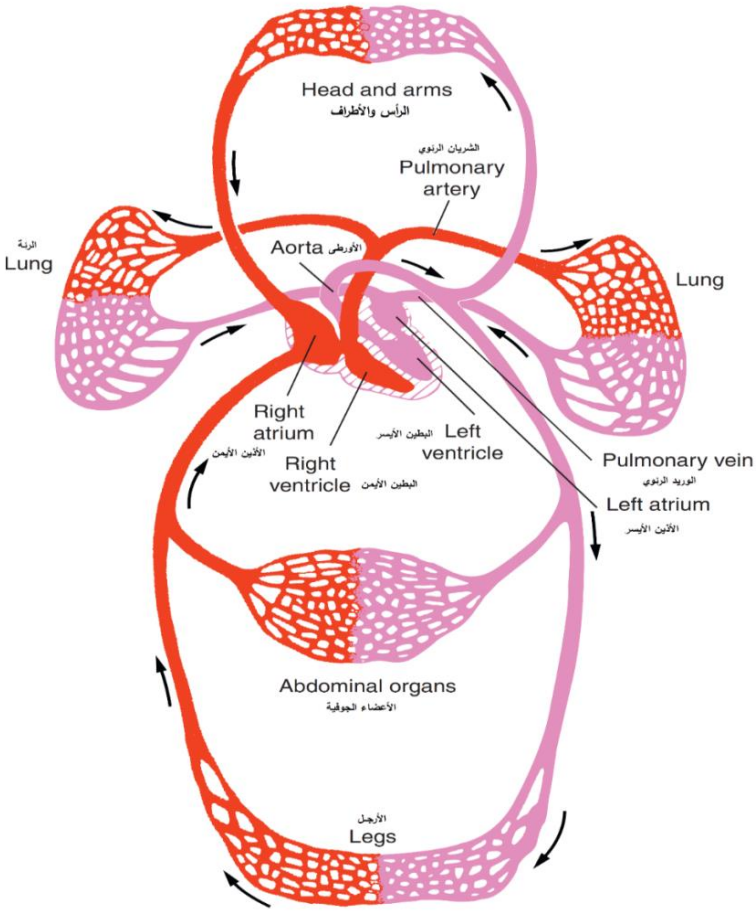
هنا D هو قطر الأسطوانة، ρ هي كثافة السائل، و η هي معامل اللزوجة. الرمز $\Re$ هو عدد رينولد، والذي لمعظم السوائل يكون له قيمة بين **2000** و **3000**. وتكون قوى الاحتكاك في التدفق المضطرب أكبر مما هي عليه في التدفق الصفائحي. لذلك، مع التحول للتدفق المضطرب، يصبح دفع السائل خلال الأنبوبة أكثر صعوبة.

2-6: التطبيقات الحيوية للموائع المتحركة

أولا: الدورة الدموية

غالبا ما يقارن دوران الدم عبر الجسم بنظام شبكة الأشغال الصحية (السباكة) مع القلب كمضخة والأوردة والشرايين والشعيرات الدموية كأنابيب يتدفق خلالها الدم. هذا التشبيه غير صحيح بشكل تام، فالدم ليس سائل بسيط. إنه يحتوي على خلايا تعقد التدفق، وخصوصا عندما تصبح الممرات ضيقة. علاوة على ذلك، لا تكون الأوردة والشرايين أنابيب صلبة ولكنها مرنة وتغير شكلها في استجابة للقوى التي يطبقها السائل. مع ذلك، من الممكن تحليل الدورة الدموية بدرجة معقولة من الدقة باستخدام المفاهيم المطورة للسوائل البسيطة المتدفقة في أنابيب صلبة.

يبين الشكل 2-20 رسم للدورة الدموية للإنسان. الدم في الدورة الدموية يجلب الأوكسجين والمغذيات، ومختلف المواد الحيوية الأخرى إلى الخلايا ويزيل الفضلات الأيضية من الخلايا. يضخ الدم خلال الدورة الدموية من القلب، ويترك القلب عن طريق أوعية تسمى الشرايين، ويعود إليه عن طريق الأوردة.



الشكل 2-20: رسم تخطيطي يبين المسارات المختلفة في الدورة الدموية.

يتكون قلب الثدييات من اثنتين من المضخات المستقلة، تتكون كل منهما من غرفتين هما الأذين والبطين. يتم التحكم في مداخل ومخارج هذه الغرف بواسطة صمامات مرتبة بحيث تحافظ على تدفق الدم في الاتجاه الصحيح. يدخل الدم القادم من جميع أجزاء الجسم ما عدا الرئتين إلى الأذين الأيمن، والذي ينقبض ويدفع الدم إلى البطين الأيمن. حينئذ ينقبض البطين ويدفع الدم خلال الشريان الرئوي إلى الرئتين. وأثناء مروره خلال الرئتين، يطلق الدم ثاني أكسيد الكربون ويمتص الأكسجين. ثم يتدفق الدم إلى الأذين الأيسر عن طريق الوريد الرئوي. يؤدي انقباض الأذين الأيسر إلى دفع الدم إلى البطين الأيسر، والذي مع انقباضه يدفع الدم الغني بالأكسجين خلال الشريان الأورطي

إلى الشرايين التي تؤدي إلى جميع أجزاء الجسم ما عدا الرئتين. هكذا، يضخ الجانب الأيمن من القلب الدم إلى الرئتين، ويضخ الجانب الأيسر الدم إلى باقي الجسم.

الشريان الكبير، يسمى الشريان الأورطي، وهو يحمل الدم المؤكسج بعيدا عن الغرفة اليسرى من القلب، ويوزعه في شرايين صغيرة تؤدي إلى الأجزاء المختلفة من الجسم. هذه الشرايين الصغيرة تتفرع إلى شرايين أصغر فأصغر، وأصغر فرع فيها يسمى شُرَيّن (تصغير شُريان). كما سنشرح لاحقا، وتلعب الشُرَيّنات دورا هاما في تنظيم تدفق الدم إلى مناطق معينة في الجسم. تتفرع الشُرَيّنات لاحقا إلى شعيرات دموية ضيقة والتي غالبا ما تكون واسعة بما يكفي بالكاد للسماح بمرور خلايا الدم المفردة.

وهكذا تنتشر الشعيرات الدموية بغزارة من خلال الأنسجة بالشكل الذي معه تكون جميع خلايا الجسم قريبة من الحالة الشعرية. ويحدث تبادل الغازات، والمغذيات، ونواتج الفضلات بين الدم والأنسجة المحيطة به عن طريق الانتشار من خلال جدران الشعيرات الدموية الرقيقة (انظر الباب الاول). وتتحد الشعيرات الدموية مكونة أوردة صغيرة تسمى وريّدات، والتي بدورها تندمج معا في أوردة أكبر فأكبر تقوم بتوصيل الدم المستنفذ من الأكسجين مرة أخرى إلى الأذين الأيمن من القلب.

ثانيا: ضغط الدم

يتم تشغيل انقباض حجرات القلب بواسطة نبضات كهربائية يتم تطبيقها في وقت واحد على كل من نصفي القلب الأيسر والأيمن. أولا عند انقباض الأذينين، يدفع الدم إلى البطينين، ثم يؤدي انقباض البطينين إلى دفع الدم إلى خارج القلب. وبسبب فعل الضخ للقلب يدخل الدم إلى الشرايين في تدفقات أو نبضات. يسمى أقصى ضغط يمارس على الدم في ذروة النبضة ضغط الدم الانقباضي، في حين يطلق على أدنى ضغط للدم بين النبضات الضغط الانبساطي. في الشخص الشاب السليم يكون الضغط الانقباضي حوالي **120** تور (ملم زئبق) بينما يكون الضغط الانبساطي حوالي **80** تور ويتم التعبير عن ذلك في العادة بالرقم **80/120**. بالتالي فإن متوسط ضغط الدم النابض عند مستوى القلب هو **100** تور.

مع تدفق الدم خلال الدورة الدموية، تتبدد الطاقة الأولية التي تعطى بواسطة فعل الضخ للقلب، بآليتين للفقدان: الفقد المصاحب لتمدد وانكماش جدران الشرايين والاحتكاك اللزج المصاحب لتدفق الدم. وبسبب فقد هذه الطاقة، تهدأ التقلبات الأولية للضغط مع ابتعاد الدم المتدفق عن القلب، وينخفض الضغط المتوسط. ومع الوقت يصل الدم في الشعيرات الدموية، ويتدفق على نحو سلس ويصبح ضغط الدم حوالي **30** تور فقط. لا يزال يهبط الضغط إلى قيمة أقل في الأوردة ويكون بالكاد قريب من الصفر قبل عودته إلى القلب. في هذه المرحلة النهائية من التدفق، تساعد حركة الدم خلال الأوردة عن طريق تقلص في العضلات التي تضغط الدم نحو القلب. ومما يؤكد أنه تدفق آحادي الاتجاه وجود الصمامات الأحادية الاتجاه في الأوردة.

تملك الشرايين الرئيسية في الجسم نصف قطر كبير نسبيا، حيث يكون نصف قطر الشريان الأورطي، على سبيل المثال، حوالي **1** سم. وبالتالي يكون هبوط الضغط على طول الشرايين صغيرا. ويمكننا تقدير هبوط الضغط هذا باستخدام قانون بوازوي (المعادلة **2**-35). مع ذلك، لكي نحل هذه المعادلة، يجب علينا معرفة معدل تدفق الدم. يعتمد معدل تدفق الدم Q خلال الجسم على مستوى النشاط البدني. في الراحة، يكون معدل التدفق حوالي **5** لترات/دقيقة وخلال النشاط المكثف قد يرتفع معدل التدفق إلى حوالي **25** لتر/دقيقة. يبين التمرين **1** أنه في ذروة التدفق يكون هبوط الضغط لكل سنتيمتر طول من الشريان الأورطي هو **42.5** داين/سم**2** (3.19×10^{-2} torr)، وهو لا يكاد يذكر بالمقارنة مع ضغط الدم الكلي.

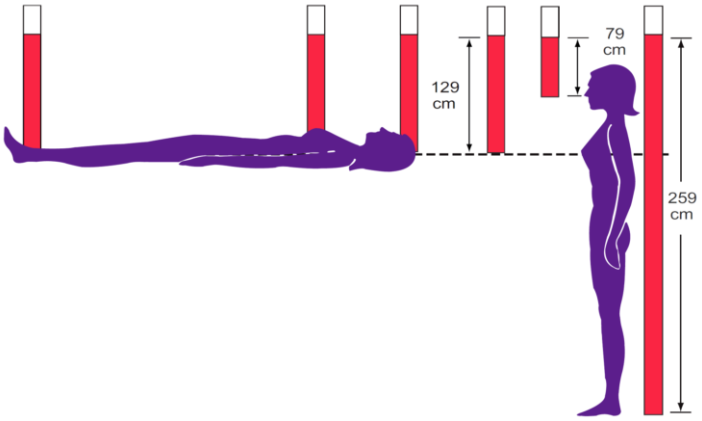
بطبيعة الحال، مع تفرع الشريان الأورطي، وتناقص حجم (قطر) الشرايين، تزداد مقاومة التدفق. وعلى الرغم من أن تدفق الدم في الشرايين الأضيق ينخفض أيضا، فإن الهبوط في الضغط لم يعد يذكر (انظر التمرين **2**). يكون متوسط الضغط عند مدخل الشرايين حوالي **90** تور. لا يمثل هذا الانخفاض سوى **10**٪ من متوسط الضغط عند القلب. يكون التدفق خلال الشرايين مصاحب بهبوط في الضغط أكبر من ذلك بكثير، حوالي **60** تور. ونتيجة لذلك، فإن الضغط في الشعيرات

الدموية يكون **30** تور تقريبا.

بما أن هبوط الضغط في الشرايين الرئيسية يكون صغيرا، يكون متوسط الضغط الشرياني ثابتا تقريبا في جميع أنحاء الجسم عندما يكون الجسم في وضع أفقي، يمكن لضغط الدم الشرياني، والذي يكون في المتوسط **100** تور، أن يحمل عمود من الدم ارتفاعه **129** سم (انظر المعادلة **2-1**). هذا يعني أنه إذا تم إدخال أنبوب صغير في الشريان فإن الدم سيرتفع فيه إلى ارتفاع **129** سم (انظر الشكل **2- 21**).

إذا كان الشخص يقف منتصبا، لا يكون ضغط الدم في الشرايين موحد في أجزاء الجسم المختلفة. يجب أن يؤخذ وزن الدم في الاعتبار عند حساب الضغط في الأماكن المختلفة. على سبيل المثال، يكون متوسط الضغط في الشريان الموجود في الرأس، **50** سم فوق القلب (انظر التمرين **4**( )) هو $P_{head} = P_{head} - \rho gh = 61$ torr . وفي القدمين، **130** سم تحت القلب، يكون ضغط الدم هو **200** تور (انظر التمرين **4**(ب)).

لنظام الأوعية الدموية في القلب آليات مختلفة للتحكم في التدفق والتي يمكن أن تعوض عن التغيرات الكبيرة في الضغط الشرياني التي تصاحب التغيرات في أماكن الجسم. لكن، قد يستغرق هذا بضع ثوان لكي يستطيع النظام أن يقوم بذلك. لذلك، قد يشعر الشخص بدوار لحظي عندما يقفز واقفا من وضعية الرقود. يرجع ذلك إلى الانخفاض المفاجئ في ضغط الدم في شرايين الدماغ، مما يؤدي إلى انخفاض مؤقت في تدفق الدم إلى المخ.



الشكل 2-21: ضغط الدم في شخص مستلقي وشخص واقف منتصب.

إن نفس العوامل الهيدروستاتيكية تعمل أيضا في الأوردة، وهنا قد يكون تأثيرها أكثر شدة مما هو عليه في الشرايين. يكون ضغط الدم في الأوردة أقل مما هو عليه في الشرايين. عندما يقف الشخص بلا حراك، يكون ضغط الدم كافي بالكاد لدفع الدم من القدمين إلى القلب. لذلك عندما يجلس شخص أو يقف دون تحريك عضلات، يتجمع الدم في أوردة الساقين. وهذا يزيد من الضغط في الشعيرات الدموية ويمكن أن يسبب تورم مؤقت في الساقين.

مع بعض الاستثناءات، يكون ضغط الدم من معظم الحيوانات في نفس النطاق كما هو في البشر. على سبيل المثال، يكون ضغط الدم الانقباضي لكل من الخنزير، أو القط، أو الكلب نحو **120** تور. أما الزرافة مع رأسها المرتفع فوق القلب تكون استثناءا، ويكون ضغط دمها في العادة أعلى بكثير، **160/240** تور.

ثالثا: التحكم في تدفق الدم

يتم تنظيم عمل ضخ القلب (بمعني، ضغط الدم، وحجم التدفق ومعدل ضربات القلب) بواسطة مجموعة متنوعة من الهرمونات، والتي تكون في كثير من الأحيان عبارة عن جزيئات من البروتينات، التي يتم إنتاجها بواسطة الأعضاء والأنسجة في أنحاء الجسم المختلفة. يتم فرز الهرمونات في مجرى الدم وتحمل الرسائل من أحد أجزاء الجسم إلى جزء آخر. إن الهرمونات التي تؤثر على القلب يتم

إنتاجها كاستجابة للمؤثرات مثل الحاجة إلى المزيد من الأكسجين، والتغيرات في درجة حرارة الجسم، وأنواع مختلفة من الضغط النفسي.

يتم التحكم في تدفق الدم إلى أجزاء معينة من الجسم عن طريق الشرايين الصغيرة (الشرينات). هذه الأوعية الصغيرة التي تتلقى الدم من الشرايين لها متوسط قطره حوالي **0.1** ملم. تحتوي جدران الشرينات على ألياف عضلية ملساء تنقبض عند تحفيزها بواسطة نبضات عصبية وهرمونات. إن تقلص الشرينات في احدى مناطق الجسم يقلل من تدفق الدم إلى تلك المنطقة وتحويلها إلى منطقة أخرى. بما أن نصف قطر الشرينات يكون صغيرا، فإن الانقباض يكون وسيلة فعالة للتحكم في تدفق الدم. تبين معادلة بوازوي أنه عندما يبقى هبوط الضغط ثابتا، فإن تناقص نصف القطر بنسبة **20**٪ يقلل من تدفق الدم بأكثر من الضعف.

تم تحديد حالة إجهاد القلب الناجمة عن التوتر والتي تسمى توتر اعتلال عضلة القلب نتيجة الإجهاد (متلازمة القلب المكسور). تم التعرف علي هذا الحالة بشكل واضح في الآونة الأخيرة فقط بواسطة الطب الغربي. تحدث هذه المتلازمة في أغلب الأحيان بعد صدمة عاطفية شديدة مفاجئة مثل حالة وفاة في العائلة، أو تجربة عاطفية عنيفة، أو غضب شديد. تكون الأعراض مشابهة للنوبة القلبية الحادة بالرغم من أن الشرايين التاجية تكون طبيعية وأنسجة القلب لا تكون معطوبة. تم الاقتراح أن الحالة تبدأ بالإفراز المفرط لهرمونات مرتبطة بالتوتر وتسمى الكاتيكولامينات. (الكاتيكولامينات، **chatecholamines** ، هي هرمونات الهروب والقتال، يتم إفرازها بواسطة الغدد الكظرية، كرد فعل للتوتر والضغط النفسي، وسبب تسميتها بالكاتيكولامينات هو احتوائها على مجموعة الكاتيكول. أشهر الكاتيكولامينات في جسم الإنسان هي الأدرينالين والنورإبينفرين والدوبامين، وجميعها مشتقات من الأحماض الأمينية فينيل ألانين والتيروسين.)

رابعا: علم طاقة تدفق الدم

بالنسبة لشخص في حالة السكون، يكون معدل تدفق الدم حوالي **5** لترات/الدقيقة. وهذا يعني أن

متوسط سرعة الدم خلال الشريان الأورطي هو **26.5** سم/الثانية. مع ذلك، فإن الدم في الشريان الأورطي لا يتدفق بشكل مستمر بل يتحرك في دفقات. خلال فترة التدفق، تكون سرعة الدم ثلاث مرات تقريبا أعلى من متوسط القيمة الكلية المحسوبة في التمرين **6**. لذلك، تكون طاقة الحركة لكل سنتيمتر مكعب من الدم المتدفق هي،

$$KE = \frac{1}{2}\rho v^2 = \frac{1}{2}(1.05)\times(79.5)^2 = 3330\ \text{erg/cm}^3$$

ذكرنا سابقا أنه يتم قياس كثافة الطاقة (الطاقة لوحدة الحجم) والضغط بواسطة نفس الوحدة (أي **1** أرج/سم**3**=**1** داين/ سم**2**)؛ بالتالي، يمكن مقارنتهما مع بعضهما البعض. طاقة الحركة **3330** أرج/ سم**3** تعادل الضغط مقداره **2.50** تور. وهذا الضغط يكون صغير مقارنة مع ضغط الدم في الشريان الأورطي (والذي في المتوسط يكون **100** تور). طاقة الحركة في الشرايين الصغيرة تكون حتى أقل من ذلك، فمع تفرع الشرايين، تزداد من المساحة الإجمالية، وبالتالي تقل سرعة التدفق. على سبيل المثال، عندما يكون المعدل الكلي للتدفق **5** لتر/الدقيقة، تكون سرعة الدم في الشعيرات الدموية ما هي إلا حوالي **0. 33** ملم/الثانية.

تصبح طاقة حركة الدم أكثر أهمية مع زيادة معدل تدفق الدم. فعلى سبيل المثال، إذا أثناء ممارسة النشاط البدني يزداد معدل التدفق إلى **25** لتر/الدقيقة، وتكون طاقة حركة الدم هي **83300** أرج/ سم**3**، وهو ما يعادل ضغط **62.5** تور. لم تعد هذه الطاقة ضئيلة ولا يمكن إهمالها مقارنة بضغط الدم المقاس في حالة السكون. في الشرايين السليمة، لا تشكل السرعة المتزايدة لتدفق الدم أثناء ممارسة النشاط البدني أي مشكلة. خلال النشاط المكثف، يرتفع ضغط الدم لتعويض الهبوط في الضغط.

خامسا: الاضطراب في الدم

تبين المعادلة **2-36** أنه إذا تتجاوز سرعة السائل قيمة حرجة معينة، فإن التدفق يصبح مضطربا. خلال معظم نظام الدورة الدموية يكون تدفق الدم صفائحي. فقط في الشريان الأورطي قد يصبح

التدفق أحيانا مضطربا. بفرض أن عدد رينولد يساوي **2000**، فإن السرعة الحرجة لظهور اضطراب في الشريان الأورطي بقطر **2** سم، من المعادلة **2-36**، تكون،

$$V_C = \frac{\Re \eta}{\rho D} = \frac{2000 \times 0.04}{1.05 \times 2} = 38\,\text{cm/sec}$$

في حالة جسم في سكون، تكون سرعة التدفق في الشريان الأورطي أقل من هذه القيمة. لكن مع ارتفاع مستوى النشاط البدني، قد يتجاوز التدفق في الشريان الأورطي المعدل الحرج ويصبح التدفق مضطربا. ومع ذلك، لا يزال التدفق في الأجزاء الأخرى من الجسم صفائحي ما لم تكون الممرات منقبضة بشكل غير طبيعي.

يكون التدفق الصفائحي هادئ، بينما يصدر التدفق المضطرب ضوضاء بسبب الاهتزازات من مختلف الأنسجة المحيطة، والتي تشير إلى خلل في الدورة الدموية. تسمى هذه الضوضاء باللغط. يمكن الكشف عنه بسماعة الطبيب ويمكن أن تساعد في تشخيص اضطرابات الدورة الدموية.

سادسا: تصلب الشرايين وتدفق الدم

مرض تصلب الشرايين هو الأكثر شيوعا بين أمراض القلب والأوعية الدموية. في الولايات المتحدة، يقدر من يموتون سنويا نتيجة لهذا المرض بنحو **200،000** شخص. في مرض تصلب الشرايين، تصبح جداران الشرايين سميكة، وبالتالي تضييق الشرايين بمترسبات تسمى صفائح أو لويحات (البلاك، **plaques**). قد تؤثر هذه الحالة بشكل خطير على سير عمل الدورة الدموية. إن تضييق بمقدار **50**٪ من مساحة الشرايين يعتبر درجة معتدلة. بينما الضيق بنسبة من ستين إلى **20**% يعتبر درجة شديدة، ويعتبر الضيق فوق الـ **80**٪ درجة حرجة. إن أحد المشاكل الناجمة عن ضيق الشرايين تتضح في معادلة برنولي. أن تدفق الدم عبر منطقة المنقبضة يتسارع. على سبيل المثال، عند تضييق نصف قطر الشريان بعامل **3**، تقل مساحة المقطع العرضي للشريان بمعامل **9**، وهذا يؤدي إلى زيادة سرعة التدفق إلى تسعة أضعاف. في الانقباض، تزداد طاقة الحركة بمقدار **92** أو **81** مرة. تكون زيادة طاقة الحركة على حساب ضغط الدم؛ بمعني، من أجل الحفاظ على معدل التدفق بسرعة أعلى، يتم

تحويل طاقة الوضع بسبب الضغط إلى طاقة حركية. ونتيجة لذلك، فإن ضغط الدم في المنطقة الضيقة يهبط. على سبيل المثال، إذا كان في الشريان السليم (بدون عوائق، ضيق أو تورم) تكون سرعة التدفق 50 سم/ثانية، حينئذ في المنطقة الضيقة، حيث تقل المساحة بمعامل 9، تكون السرعة هي 450 سم/ثانية. في المقابل، ينخفض الضغط بنحو 80 تور. وبسبب انخفاض الضغط داخل الشريان، فإن الضغط الخارجي عمليا قد يغلق الشريان ويمنع تدفق الدم. عندما يحدث هذا الانسداد في الشريان التاجي، الذي يغذي عضلة القلب بالدم، فإن عمل القلب يتوقف.

يعتبر التضيق فوق 80٪ تضيق حرج لأنه في هذه المرحلة يصبح تدفق الدم مضطربا في العادة مع استهلاك أكبر للطاقة المصاحبة منها في حالة التدفق الصفائحي. ونتيجة لذلك، فإن الهبوط في الضغط في الوضع المعروض سابقا، يكون أكبر حتى من المحسوب باستخدام معادلة برنولي. علاوة على ذلك، يمكن للتدفق المضطرب أن يضر بنظام الدورة الدموية لأن أجزاء من التدفق تكون موجهة نحو جدار الشريان بدلا من أن تكون موازية لها، كما هو الحال في التدفق الصفائحي. إن تدفق الدم الذي يؤثر على جداران الشرايين قد يخلع بعض اللويحات المترسبة (البلاك) من مكانه على الجدار وانجرافها مع الدم قد يسبب انسداد لأجزاء أضيق من الشريان. عندما يحدث مثل هذا الانسداد في الشريان يتوقف تدفق الدم إلى جزء من المخ مسببا سكتة دماغية إقفاريه (نتيجة نقص تروية الدم للمخ).

توجد مشكلة أخرى مرتبطة بترسب لويحات الشرايين. للشريان مرونة محددة؛ وبالتالي، فإنه يظهر بعض خصائص شبه-الزنبرك. على وجه التحديد، قياسا بالزنبرك، للشريان تردد طبيعي الذي عنده يمكن وضعه بسهولة في حركة تذبذبية. (انظر الباب الخامس، المعادلة 5-6). التردد الطبيعي للشريان السليم يكون في حدود 1-2 كيلوهرتز. يمكن لترسب البلاك أن يسبب زيادة في كتلة جدار الشرايين وانخفاض في مرونته. ونتيجة لذلك، ينخفض التردد الطبيعي للشريان بشكل كبير، وغالبا ما يصل إلى بضع مئات من الهيرتز. يحتوي تدفق الدم النابض على مركبات تردد في حدود 450 هيرتز. الآن، يمكن

للشريان المغطى بالبلاك مع تردده الطبيعي المنخفض أن يوضع في حركة تذبذبية رنانة، والتي قد تطرد الترسبات أو يسبب مزيدا من الضرر لجدران الشريان.

2-6-1: الطاقة المنتجة بواسطة القلب

تتوفر الطاقة في الدم المتدفق بفعل ضخ القلب. الآن سوف نحسب الطاقة المتولدة من القلب للحفاظ على تدفق الدم في الدورة الدموية.

الطاقة P_H التي ينتجها القلب هي حاصل ضرب معدل التدفق Q والطاقة E لكل وحدة حجم من الدم. بمعنى،

$$P_H = Q\left(\frac{\text{cm}^3}{\text{sec}}\right)\times E\left(\frac{\text{erg}}{\text{cm}^2}\right) = Q\times E \text{ erg/sec} \qquad \textbf{2-37}$$

في حالة السكون، عندما يكون معدل تدفق الدم **5** لتر/الدقيقة، أو **4. 83** سم^3/ الثانية، تكون طاقة حركة تدفق الدم خلال الشريان الأورطي هي **33. 3** × **10**^{3} أرج/سم^3. (انظر الفصل السابق.) الطاقة المقابلة لضغط الانقباضي مقداره **120** تور هي **160** × **10**^{3} أرج/سم**3**. الطاقة الإجمالية تكون **63. 1** × **10**^{5} أرج / سم^3 - مجموع طاقة الحركة والطاقة بسبب ضغط السائل. لذلك، فإن الطاقة P التي ينتجها البطين الأيسر للقلب هي

$$P = 83.4\times 1.63\times 10^5 = 1.35\times 10^7 \text{ erg/sec} = 1.35 \text{ W}$$

ومن خلال النشاط البدني الشديد عندما يزداد معدل التدفق إلى **25** لتر/الدقيقة، تزداد ذروة خرج طاقة البطين الأيسر إلى **10.1** واط.

يكون معدل التدفق خلال البطين الأيمن الذي يضخ الدم خلال الرئتين، هو نفس التدفق خلال البطين الأيسر. ومع ذلك، هنا يكون ضغط الدم هو سدس الضغط في الشريان الأورطي فقط. لذلك، ويكون خرج الطاقة من البطين الأيمن تقريبا **0.25** واط في السكون و**4.5** واط أثناء ممارسة النشاط البدني الشديد. وهكذا، فإن الناتج الإجمالي لذروة الطاقة تكون بين **1.9** واط و**14.6** واط، اعتمادا على شدة النشاط البدني. في حين أن ضغط الدم الانقباضي في الواقع يرتفع مع زيادة تدفق الدم، في

هذه الحسابات افترضنا أنه يظل عند **120** تور.

2-6-2: قياس ضغط الدم

إن ضغط الدم الشرياني هو مؤشر مهم لصحة الشخص. يشير كل من ضغط الدم العالي بشكل غير طبيعي والمنخفض بشكل غير طبيعي إلى بعض الاضطرابات في الجسم التي تحتاج إلى عناية طبية. إن ضغط الدم المرتفع، والذي قد يكون ناجما عن ضيق في الدورة الدموية، يعني بكل تأكيد أن القلب يعمل أكثر من المعتاد، وأنه قد يتعرض للخطر بفعل الحمل الزائد. يمكن قياس ضغط الدم بشكل مباشر عن طريق إدخال أنبوب زجاجي بشكل رأسي في أحد الشرايين ومراقبة الارتفاع الذي يرتفع إليه الدم (انظر الشكل 2-21). في الواقع، كانت هذه هي الطريقة التي بواسطتها تم قياس ضغط الدم لأول مرة في عام **1233**م بواسطة القس ستيفن هيلز، الذي قام بتوصيل أنبوب زجاجي رأسي طويل إلى شريان حصان. على الرغم من أن التعديلات المتطورة لهذه التقنية فهي لا تزال تستخدم في حالات خاصة، ومن الواضح أن هذه الطريقة غير مرضية للفحوصات السريرية الروتينية. إن القياسات الروتينية لضغط الدم تؤدى الآن بشكل أكثر شيوعا بطريقة القطع أو المنع.

على الرغم من أن هذه الطريقة ليست دقيقة مثل القياسات المباشرة، إلا أنها بسيطة وكافية في معظم الحالات. في هذه التقنية، يتم وضع وثاق يحتوي على بالون قابل للنفخ بإحكام حول الجزء العلوي من الذراع. يتم نفخ البالون بواسطة انتفاخ مطاطي(منفاخ) ، ويتم مراقبة الضغط في البالون بواسطة مقياس ضغط. يكون الضغط الأولي في البالون أكبر من الضغط الانقباضي، وبالتالي يكون تدفق الدم خلال الشريان منقطع. ثم يسمح المراقب بتخفيض الضغط في البالون ببطء عن طريق الإفراج عن بعض من الهواء. ومع انخفاض الضغط، يستمع المراقب إلى تدفق الدم من الوثاق بواسطة سماعة طبيب موضوعة على الشريان. لا يسمع أي صوت حتى يتناقص الضغط في البالون إلى الضغط الانقباضي. بالكاد أسفل هذه النقطة يبدأ الدم في التدفق خلال الشريان. مع ذلك، نظرا لأن الشريان لا يزال مقيد جزئيا، يكون التدفق مضطربا ويكون مصاحب بصوت مميز(عبارة عن

تشويش أو ضوضاء). الضغط المسجل في بداية الصوت يكون هو ضغط الدم الانقباضي. ومع هبوط الضغط في البالون أكثر من ذلك، الشريان يتسع الشريان إلى حجمه الطبيعي، ويصبح التدفق صفائحي، ويختفي التشويش. يتم أخذ الضغط الذي يبدأ عنده تلاشي الصوت على انه الضغط الانبساطي.

في القياسات السريرية، يجب النظر في اختلاف ضغط الدم على طول الجسم. يتم أخذ قياس ضغط الدم القطع بواسطة وثاق موضوع على الذراع عند مستوى القلب تقريبا.

ملخص الباب

- الموائع هي المواد التي تتميز بقدرتها على الانسياب وليس لها شكل ثابت من أمثلتها السوائل والغازات. تختلف الخصائص الفيزيائية للموائع عنها للمواد الصلبة .
- في الحالة السائلة تكون القوى التي تربط جزيئات السائل بعضها ببعض كافية لكي تحافظ له على حجم محدد وغير كافية أن تحافظ له على شكل محدد فنرى السوائل تتشكل بشكل الوعاء الحاوي لها.
- في الحالة الغازية تكون القوى التي تربط الجزيئات ببعضها البعض ضعيفة لذا لا يكون للغاز لا شكل ولا الحجم محدد، لهذا يتفرد الغازات بأن لديها المقدرة على أن تملأ تماما أي وعاء يحتويها.
- في الموائع تنتقل القوة بشكل موحد وفي جميع الاتجاهات، لذلك يكون الضغط عند أي نقطة في مائع ساكن هو نفسه عند جميع نقاط المائع وعلى سطح الإناء الحاوي له.
- الضغط هو القوة المتوسطة المؤثرة عموديا على وحدة المساحات ويقاس ضغط المائع بوحدة التور. واحد تور هو الضغط المبذول بواسطة عمود من الزئبق ارتفاعه **1** مم. أي أن واحد تور يساوي واحد المليمتر زئبق.
- ينص مبدأ باسكال على أنّه "إذا سُلط ضغط إضافي على سائل ساكن محصور (غير قابل للانضغاط) .
- تعتمد الحيوانات الرخوة والدود التي تفتقر إلى هيكل عظمي صلب على فكرة الهيكل

الهيدروستاتيكي في حركتها .

- ينص مبدأ أرخميدس على أن الجسم المغمور جزئيا أو كليا في سائل يلقى دفع من أسفل إلى أعلى وهذا الدفع يساوي في المقدار وزن السائل المزاح.
- تلعب الكثافة في الحيوانات المائية دورا هاما في غوص الحيوان في الماء أو طفوه. عندما تكون كثافته الحيوان أكبر من كثافة الماء، يتوجب عليه حينئذ أن يبذل شـغل حتى لا يغرق والعظام المسامية في جسم المحار وقربة السباحة في الأسماك تعتبر نماذج واضحة كتطبيقات حيوية للطفو.
- تمارس الجزيئات السائل قوى تجاذب على بعضها البعض، حيث يكون الجزيء الموجود داخل السائل محاطا بعدد متساوي من الجزيئات التي بالجوار في جميع الاتجاهات على عكس الجزيئ الموجود على السطح، لذلك، تكون محصلة القوى بين الجزيئات التي تؤثر على الجزيء الموجود في الداخل هي الصفر. قوة التوتر السطحي تجعل سطح السائل يبدو كغشاء مشدود مرن.
- عندما تكون قوة الالتصاق أكبر من قوة التماسك، يرتفع السائل في الأنابيب الضيقة.
- التوتر السـطحي يجعل هناك ميل للسـائل لعمل شـكل كروي وهناك العديد من التطبيقات الحيوية للتوتر السـطحيمث(المياه الجوفية - تنقل الحشـرات على الماء – تقلص العضـلات – ومنشطات السطح).
- تنص معادلة برنولي على أنه في أي نقطة في قناة المائع المتدفق تكون العلاقة التالية صحيحة $P + \rho gh + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{constant}$.
- يتناسب الاحتكاك اللزج مع سرعة تدفق السائل ومعامل لزوجته.
- عند زيادة سرعة السائل الماضي إلى ما بعد نقطة حرجة، يتعطل التدفق الصفائحي السلس يصبح التدفق مضطربا.
- هناك العديد من التطبيقات الحيوية للموائع المتحركة مثل حركة الدم أثناء الدورة الدموية- ضغط الدم –التحكم في ضغط الدم عن طريق الهرمونات، يتم تنظيم عمل ضخ القلب (بمعني،

ضغط الدم، وحجم التدفق ومعدل ضربات القلب) بواسطة مجموعة متنوعة من الهرمونات.

اختبر معلوماتك

تخير الإجابة الصحيحة للأسئلة التالية — الاجابة

1. الموائع هي المواد التي تتميز بقدرتها على الانسياب وليس لها: ( )

أ) شكل ثابت ب) حجم ثابت ج) (أ&ب) د)خلاف ذلك

2. تكون جزيئات المادة الصلبة مقيدة بشكل قاسي لذا يكون للجسم الصلب: ( )

أ) شكل محدد ب) حجم محدد ج) (أ&ب) د)خلاف ذلك

3. القوى التي تربط بين جزيئات السائل وبعضها البعض تكفي لكي تحافظ على يكون له: ( )

أ) شكل محدد ب) حجم محدد ج) (أ&ب) د)خلاف ذلك

4. القوى التي تربط بين جزيئات الغاز وبعضها البعض تكون ضعيفة لذا يكون له: ( )

أ) شكل محدد ب)حجم محدد ج) (أ&ب) د)خلاف ذلك

5. عندما يتم تطبيق قوة على أحد أجزاء المادة الصلبة فإنها تنتقل في: ( )

أ) عكس الاتجاه ب) نفس الاتجاه ج) عمودية د) خلاف ذلك

6. عندما يتم تطبيق قوة على أحد أجزاء المادة السائلة فإنها تنتقل في: ( )

أ) عكس الاتجاه ب) نفس الاتجاه ج) عمودية د) جميع الاتجاهات

7. يتساوى الضغط عند جميع نقاط المائع وعلى سطح الاناء الحاوي له شريطة ان يكون: ( )

أ) متحرك ب) ساكن ج) لزج د) خلاف ذلك

8. الضغط هو القوة المتوسطة المؤثرة على وحدة المساحات: ( )

أ) افقيا ب) عموديا ج) موازي للسطح د) خلاف ذلك

9. عند نقطة ما في بطن السائل فإن وزن عمود السائل الذي مساحة مقطعه تساوي وارتفاعه يساوي عمق هذه النقطة يسمى بالضغط: ( )

أ) الكلي ب) الجزئي ج) الجوي د) عند هذه النقطة

10. التور هو وحدة قياس الضغط وهو يكافئ: ( )

أ) $1\,mmHg$ ب) $1.33\times10^{2}\ Pa$ ج) $1.32\times10^{-3}\ atm$ د) كل ما سبق

11. إذا سُلط ضغط إضافي على سائل ساكن محصور (غير قابل للانضغاط) فإنه سوف ينتقل بتمامه إلى: ( )

أ) كل نقاط السائل ب) جدار الوعاء الحاوي ج) (أ&ب)

د) خلاف ذلك

12. تستخدم الحيوانات الرخوة (مثل شقائق البحر ودودة الأرض) لإنتاج حركة جسمها مبدأ علمي هو: ( )

أ) برنولي ب) باسكال ج) (أ&ب) د)خلاف ذلك

13. في الحيوانات الرخوة نعتبر الحيوان أسطوانة مغلقة مملوءة بمائع فيما يسمى بالهيكل: ( )

أ) الهيدروليكي ب) الرخو ج) (أ&ب) د)خلاف ذلك

14. تلعب العضلات الطولية والعضلات الدائرية الممتدة على طول جدران الأسطوانة في الحيوانات الرخوة دورا مهما في: ( )

أ) الطفو ب) النمو ج) (أ&ب) د)الحركة

15. حجم المائع داخل جدران أسطوانة الحيوانات الرخوة يكون باستمرار: ( )

أ) يزداد ب) يقل ج) (أ أو ب) د)ثابت

16. في الحيوانات الرخوة تقلص العضلات الدائرية يجعل الدودة: ( )

أ) ارفع ب) اطول ج) (أ&ب) د)خلاف ذلك

17. في الحيوانات الرخوة تقلص العضلات الطولية يجعل الدودة: ( )

أ) اثخن واقصر ب) ارفع اطول ج) (أ & ب) د)خلاف ذلك

18. في الحيوانات الرخوة عندما تتقلص العضلات الطولية على جانب واحد فقط فسوف تنحني نحو الجانب: ( )

أ) نفسه ب) المضاد ج) (أ & ب) د)خلاف ذلك

19. يمكن للدودة أن تحرك نفسها للأمام أو الخلف عن طريق تقلص العضلات: ( )

أ) الطولية ب) الدائرية ج) (أ&ب) د)خلاف ذلك

20. في الدودة تكون القوة f_M المتولدة على طول كل سنتيمتر من طول الدودة تعطى من: ( )

أ) $f_M = S\,A_M$ ب) $f_M = S / A_M$ ج) (أ&ب) د)خلاف ذلك

21. الجسم المغمور جزئيا أو كليا في سائل يلقى دفع من أسفل إلى أعلى وهذا الدفع يرتبط في المقدار مع وزن السائل المزاح بعلاقة: ( )

أ) الثلث ب) الضعف ج) المساواة د) خلاف ذلك

22. القوى الأفقية التي يتعرض لها عمود السائل المغمور في مائع ساكن تساوي: ( )

أ) وزن السائل المزاح ب) الضعف ج) صفر د) خلاف ذلك

23. عندما تكون كثافته الحيوان أكبر من كثافة الماء، و حتى لا يغرق يتوجب عليه أن: ( )

أ) يبذل شغل ب) لا يبذل شغل ج) يبذل ضغط د) خلاف ذلك

24. تعطى قوة الطفو لحيوان بحري من العلاقة: ( )

أ) $F_B = P f V \rho_w$ ب) $F_B = g f V \rho_w$ ج) $F_B = g f V^3 \rho_w$ د) خلاف ذلك

25. تطفو الحيوانات البحرية عن طريق دفع أطرافها بقوة إلى: ( )

أ) اسفل ب) أعلى ج) (أ&ب) د) خلاف ذلك

26. تحتوي أجسام بعض الأسماك والحيوانات المائية الأخرى على عظام مسامية أو قربة (مثانة) سباحة مليئة بالهواء بغرض: ( )

أ) زيادة كثافتها ب) زيادة حجمها ج) (أ&ب) د) خلاف ذلك

27. يعيش سمك الحبار في البحر على عمق حوالي **150** متر. عند. لذلك، يجب أن تكون العظام المسامية قادرة على تحمل ضغط يساوي: ( )

أ) **7** ضغط جوي ب) ضعف أ ج) ضعف ب د) خلاف ذلك

28. عن طريق حقن مائع أو سحبه من العظام المسامية لسمك البحار يمكنه تغيير: ( )

أ) ضغطه ب) حجمه ج) كثافته د) خلاف ذلك

29. تكون محصلة القوى بين الجزيئات التي تؤثر على الجزيء الموجود في الداخل سائل متأثرة بكونه محاطا بعدد متساوي من الجزيئات في جميع الاتجاهات لهذا تكون محصلة هذه القوة تساوي: ( )

أ) الضعف ب) النصف ج) صفر د) خلاف ذلك

30. ينكمش سطح السائل ويتصرف نوعا ما كغشاء مشدود. هذا الميل للانكماش يولد قوى تقاوم الزيادة في السطح الحر للسائل تسمى قوة: ( )

أ) التوتر السطحي ب) الضغط ج) الطفو د) خلاف ذلك

31. قوة التوتر السطحي تؤثر في السطح بشكل: ( )

أ) افقي ب) مماسي ج) عمودي د) (أ&ب)

32. عند وضع سائل في وعاء، فإن جزيئات السطح القريبة من الجدار تنجذب إلى الجدار بقوة جاذبة تسمى بقوة: ( )

أ) التوتر السطحي ب) الضغط ج) بقوة الالتصاق د) (أ&ب)

33. إذا كان قوة الالتصاق أكبر من قوة التماسك، فإنا السائل يبلل جدار الوعاء، ويكون انحناء سطح السائل بالقرب من الجدار: ( )

أ) متجها لأسفل ب) لا يذكر ج) متجها على د) (ب&د)

34. عندما تكون قوة الالتصاق السائل أصغر من قوة التماسك تكون الزاوية أكبر من: ( )

أ) 45 درجة ب) 90 ج) (أ&ب) د)غير ذلك

35. تأخذ قطرات المطر شكل قريب من الشكل الكروي بسبب قوى: ( )

أ) الضغط ب) المرونة ج) (أ&ب) د) التوتر السطحي

36. في فقاعة الصابون يرتبط الضغط داخل الفقاعة بالضغط خارجها بالعلاقة الاتية: ( )

أ) داخل اقل ب) متساويان ج) داخل أكبر د) خلاف ذلك

37. حركة المياه لأعلى خلال التربة الفراغات الضيقة في التربة المسامية يفسرها ظاهرة: ( )

أ) التوتر السطحي ب) الانابيب الشعرية ج) المرونة د) خلاف ذلك

38. لكي تنتقل المياه العالقة بالتربة الى النبات لابد ان تمارس جذور النبات على التربة: ( )

أ) ضغط سلبي ب) شفط ج) (أ&ب) د) خلاف ذلك

39. تمارس جذور النبات على التربة ضغط سلبي عالي يسمى بتوتر رطوبة التربة يعتمد على: ( )

أ) حجم حبيبات التربة ب) محتوى الرطوبة بها ج) وتركيب مادة التربة

د) كل ما سبق

40. يعتبر توتر رطوبة التربة (SMT) معيار مهم في تحديد نوعية التربة. كلما زاد الـــ SMT، فإن صعوبة سحب الجذور للمياه اللازمة لنمو النبات: ( )

أ) تزداد ب) تقل ج) تتساوى د) خلاف ذلك

41. التربة ذات الحبيبات الناعمة تمسك الماء بشكل أفضل من التربة المماثلة ذات الحبيبات الأكبر بسبب ظاهرة: ( )

أ) الانكسار ب) الانابيب الشعرية ج) المرونة د) خلاف ذلك

42. عندما تمتلئ كل مسام التربة بالمياه، يكون توتر رطوبة السطح عند قيمة: ( )

أ) عالية ب) متوسطة ج) متدنية د)خلاف ذلك

43. عندما تمتلئ كل مسام التربة بالمياه، يكون توتر رطوبة السطح عند قيمة: ( )

أ) عالية ب) متوسطة ج) متدنية د)خلاف ذلك

44. تحتاج الجذور النباتات بعض الهواء اولي يؤثر في توتر رطوبة السطح بـ:- ( )

أ) الزيادة ب) التساوي ج) النقص د) خلاف ذلك

45. في ظروف متماثلة لحجم الحبيبات ونسبة الرطوبة، قد تكون قيمة SMT في التربة الطينة الى التربة الطمييية هي: ( )

أ) 5ضعف ب)15ضعف ج) 10 ضعف د) خلاف ذلك

46. اقصى وزن W_m بالداين لحشرة كثافتها 1 جرام/سم^3 تتحرك على مائع توتره سطحي $T = 72.8\ \mathrm{dyn/cm^2}$، هو: ( )

أ) 17.7 ب) 19.7 ج) 19.9 د) خلاف ذلك

47. الليفة العضلية تتألف من نوعين من الخيوط: ( )

أ) الميوسين بقطر $160\,\mathrm{A^o}$ ب) الأكتين بقطر $50\,\mathrm{A^o}$ ج)(أ&ب) د) خلاف ذلك

48. تتحرر أيونات الكالسيوم في العضلة بنبضة كهربائية في هيكل الميوسين-أكتين وتؤدي إلى انزلاق الخيوط على بعضها البعض، وتقصير هيكل الميوسين-أكتين، ويؤدي التأثير الجماعي لهذه العملية الى: ( )

أ) تقلص العضلة. ب) تمدد العضلة. ج) (أ&ب) د) خلاف ذلك

49. الجزيئات التي تقلل التوتر السطحي للسوائل المذابة فيها تسمى: ( )

أ) الجزيئات الحرة ب) الجزيئات المرنة ج) منشطات السطح د) خلاف ذلك

50. أغلب جزيئات منشطات السطح شيوعا تملك نهاية واحدة (تسمى الرأس) وتكون: ( )

أ) تذوب في الماء ب) مسترطبه ج) محبة للماء د) كل ما سبق

51. اصطفاف جزيئات منشطات السطح على سطع الماء: ( )

أ) يعطل بنيته ب) يحد من التوتر السطحي ج) (أ&ب) د)كل ما سبق

52. يتم استخدام منشطات السطح للإذابة في الماء لكل من البروتينات: ( )

أ) الدهنية ب) الغشائية ج) (أ&ب) د)كل ما سبق

53. أظهرت التجارب أن المنشط السطحي المفروز بواسطة الحشرات يقلل من التوتر السطحي للماء بمقدار: ( )

أ) 23 داين/سم ب) (50-23) داين/سم ج) (أ&ب) د)كل ما سبق

54. تنص معادلة برنولي على أنه في أي نقطة في قناة المائع المتدفق تكون العلاقة التالية صحيحة: ( )

أ) $P + \rho g h + \frac{1}{2}\rho v^2 = \mathrm{C}$ ب) $P + \rho g h - \frac{1}{2}\rho v^2 = \mathrm{C}$

ج) $P + \rho g h \pm \frac{1}{2}\rho v^2 = \mathrm{C}$ د) خلاف ذلك

55. معادلة برنولي توضح أن تدفق المائع الساكن يرتبط بـ: ( )

أ) سرعته ب) ضغطه ج) (أ&ب) د)ارتفاع خط تدفقه

56. الاحتكاك اللزج لسائل معين يتناسب مع: ( )

أ) سرعة التدفق ب) ومعامل لزوجة ج) (أ&ب) د)خلاف ذلك

57. عندما تكون السرعة أعلى ما يكون عند المركز وتتناقص نحو الجدران حتى تسكن عند جدران الأنبوب يسمى مثل هذا التدفق بـ: ( )

أ) تدفق صفائحي ب) تدفق رقائقي ج) (أ&ب) د)خلاف ذلك

58. في السوائل إذا كانت مساحة التدفق كبيرة، فإن فقد الاحتكاك وهبوط الضغط المصاحب يكون: ( )

أ) صغيريمكن اهماله ب) كبير ج) متوسط د) خلاف ذلك

59. سرعة السائل المتدفق إذا زادت عن نقطة حرجة فإنه: ( )

أ) يتعطل التدفق الصفائحي ب) يصبح التدفق مضطربا ج)(أ&ب)
د)خلاف ذلك

60. السرعة الحرجة للتدفق (v_c) التي فوقها يصبح التدفق مضطرب تعطى بالعلاقة: ( )

أ) $\rho D/\Re\eta$ ب) $\nu\rho D\times\Re\eta$ ج) $\Re\eta/\rho D$ د)خلاف ذلك

61. عند التحول من التدفق الصفائحي الى المضطرب، يصبح دفع السائل خلال الأنبوبة: ( )

أ) صغيريمكن اهماله ب) كبير ج) متوسط د) أكثر صعوبة.

62. يسمى أقصى ضغط يمارس على الدم في ذروة النبضة بضغط الدم: ( )

أ) الانقباضي ب) الانبساطي ج) المضطرب د) المسيطر

63. يطلق على أدنى ضغط يمارس على بـ: ( )

أ) الانقباضي ب) الانبساطي ج) المضطرب د) المسيطر

64. في الشخص السليم تكون نسبة الضغط الانقباضي الى الانبساطي هي: ( )

أ) $\frac{180}{125}$ ب) $\frac{80}{120}$ ج) $\frac{122}{80}$ د) $\frac{120}{80}$

65. متوسط ضغط الدم النابض بالتور عند مستوى القلب هو: ( )

أ) $\frac{180}{120}$ ب) $\frac{180}{125}$ ج) **120** د) **100**

66. أنه في ذروة التدفق يكون هبوط الضغط لكل سنتيمتر طول من الشريان الأورطي هو **42.5** داين/سم**2** (3.19×10^{-2} torr)، وهو بالمقارنة مع ضغط الدم الكلي. ( )

أ) كبير ب) متوسط ج) كبير جدا د) صغير جدا

67. يمكن لضغط الدم الشرياني، والذي يكون في المتوسط 100 تور، أن يحمل عمود من الدم ارتفاعه: ( )

أ) 100 cm ب) 110 cm ج) 129 cm د) 150 cm

68. يتم تنظيم عمل ضخ القلب بواسطة هرمونات تكون غالبا عبارة عن جزيئات من البروتينات، التي يتم إنتاجها بواسطة الأعضاء والأنسجة في أنحاء الجسم المختلفة. ( )

أ) الاعضاء ب) الانسجة ج) (أ&ب) د) خلاف ذلك

69. يقوم الدم بحمل رسائل أحد أجزاء الجسم الى جزء اخر عن طريق: ( )

أ) الضغط ب) التوتر السطحي ج) الهرمونات د) جميع ما سبق

70. الهرمونات التي تؤثر على القلب يتم إنتاجها كاستجابة للمؤثرات المختلفة مثل: ( )

أ) الحاجة إلى المزيد من الأكسجين ب) حرارة الجسم

ج) الضغط النفسي د) جميع ما سبق

71. توتر اعتلال عضلة القلب نتيجة الإجهاد تسمى متلازمة القلب المكسور وهي تحدث عندما يتعرض المصاب الى: ( )

أ) صدمة عاطفية شديدة ب) تجربة عاطفية عنيفة

ج) غضب شديد د) جميع ما سبق

72. أشهر الكاتيكولامينات في جسم الإنسان تكون مشتقات من الأحماض الأمينية فينيل ألانين والتيروسين وهي: ( )

أ) الأدرينالين ب) النورإبينفرين ج) الدوبامين د) جميع ما سبق

73. تسمى هرمونات الهروب والقتال والتي يتم إفرازها بواسطة الغدد الكظرية، كرد فعل للتوتر والضغط النفسي بـ: ( )

أ) الأدرينالين فقط ب) النورإبينفرين فقط

ج) الكاتيكولامينات فقط د) جميع ما سبق

74. النسبة لشخص في حالة السكون، يكون معدل تدفق الدم حوالي **5** لترات/الدقيقة. وهذا يعني أن متوسط سرعة الدم بوحدة سم/الثانية خلال الشريان الأورطي تقريبا يساوي: ( )

أ) **36.5** ب) **26.5** ج) **66.5** د) جميع ما سبق

75. يكون التدفق الصفائحي هادئ، بينما يصدر التدفق المضطرب ضوضاء بسبب الاهتزازات من مختلف الأنسجة المحيطة، والتي تشير إلى خلل في الدورة الدموية. تسمى بـ: ( )

أ) المزعجة ب) الهدير ج) (أ&ب) د) اللغط

76. قدرة النبات على البقاء على قيد الحياة لا تعتمد كثيرا على المحتوى المائي مثل اعتمادها على: ( )

أ) التوتر السطحي ب) توتر رطوبة التربة ج) الضغط د) خلاف ذلك

77-بفعل قوة التوتر السطحي يمكن لبعض الحشرات ان تتعامل مع الماء بـ: ( )

أ) الوقوف ب) الحركة ج) عدم البلل د) جميع ما سبق

التمارين

1- أثبت المعادلات **2-11** و**2-14**.

2- بفرض انه مع أنف موجودة فوق سطح الماء يكون حوالي **95**٪ من الجسم مغمور، أحسب القوة المبذولة بواسطة امرأة وزنها **50** كجم لتطأ المياه بقدمها في هذا الموضع. أفترض أن متوسط كثافة الجسم البشري تقريبا مثل كثافة المياه ($\rho = \rho_w = 1\ \mathrm{g/cm^3}$) وأن مساحة الأطراف A التي تؤثر على المياه هي $600\ \mathrm{cm^2}$ تقريبا.

3- في المعادلة **2-14**، تم افتراض أن كثافة الحيوان أكبر من كثافة المائع الذي يغمره. إذا ما تم عكس الوضع، فإن الحيوان المغمور يميل إلى الارتفاع إلى السطح، وأنه يجب أن ينفق طاقة للحفاظ على نفسه تحت السطح. كيف يمكن تعديل المعادلة **2-14** لتعبر عن هذه الحالة؟

4- أشتق العلاقة المبينة في المعادلة **2-15**.

5- أحسب الضغط عند عمق **150** متر تحت سطح البحر. كثافة مياه البحر هي **1.026** جرام/سم^3.

6- احسب حجم مثانة السباحة كنسبة مئوية من الحجم الكلي للسمكة التي تقلل متوسط كثافة السمكة من **1.062** جرام/سم^3 إلى **1.026** جرام/سم^3.

7- يتم الحصول على كثافة حيوان بسهولة عن طريق وزنه أولا في الهواء ثم غمره في السائل. بفرض أن الوزن في الهواء في السائل هما W_1 و W_2 على التوالي. إذا كانت كثافة السائل هي ρ_1 ، فإن متوسط كثافة الحيوان ρ_2 تكون على الصورة،

$$\rho_2 = \rho_1 \left(W_1 \Big/ (W_1 - W_2) \right)$$

استنتج هذه العلاقة.

8- بدءا بالمعادلة **2-20**، بين أن الضغط P المطلوب لسحب مياه من شعرية نصف قطرها R وزاوية تلامس θ هو

$$P = \frac{2T\cos\theta}{R}$$

مع زاوية تلامس $\theta = 0^{o}$ ، عين الضغط المطلوب لسحب الماء من شعرية نصف قطرها 10^{-3}cm .

أفترض أن التوتر السطحي هو $T = 172.8$ dyn/cm .

9-عند وضع جزء من تربة خشنة الحبيبات بجانب تربة دقيقة الحبيبات من نفس المادة، فإن المياه سوف تتسرب من التربة الخشنة إلى التربة الدقيقة الحبيبات. اشرح سبب لذلك.

10-صمم أداة لقياس الـ **SMT**. (يمكنك أن تجد وصفا لمثل هذا الجهاز في المرجع **[4-2]**.)

11-احسب محيط المنصة اللازمة لدعم شخص وزنه **20** كجم بواسطة التوتر السطحي فقط.

12- ( ) احسب الحد الأقصى لتسارع (عجلة) الحشرة التي يمكن أن يتولد بتخفيض التوتر السطحي كما هو موضح في النص. افترض أن البعد الخطي للحشرة هو 3×10^{-1}cm وكتلتها هي 3×10^{-2} g . علاوة على ذلك، افترض أن فرق التوتر السطحي بين الماء النظيف والماء المضاف إليه منشط سطح غيرت يوفر قوة لتسريع الحشرة. استخدم قيم التوتر السطحي الواردة في النص. ( ) احسب سرعة الحشرة على افتراض أن تحرر منشط السطح يستمر لـ **0.5** ثانية.

13-احسب هبوط الضغط لكل سنتيمتر طول من شريان أورطي عندما يكون معدل تدفق الدم هو **25** لتر/الدقيقة. نصف قطر الشريان الأورطي هو حوالي **1** سم، ومعامل لزوجة الدم هو **4** × **10**-**2** بواز.

14-احسب الهبوط في ضغط الدم على امتداد **30** سم من طول شريان نصف قطره **0.5** سم. افترض أن الشريان يحمل دم يتدفق بمعدل **8** لتر/الدقيقة.

15ما هو ارتفاع عمود الدم الذي يمكن لضغط شرياني مقداره **100** تور أن يدعمه؟ (مع العلم أن كثافة الدم هي **1.05** جم/سم**3**).

16-( ) احسب ضغط الدم الشرياني في رأس شخص قائم. افترض أن الرأس يرتفع **50** سم فوق القلب. (كثافة الدم هي **1.05** جم/سم**3**.) ( ) احسب متوسط ضغط الدم الشرياني في الساقين لشخص واقف عند **130** سم أسفل القلب.

17-( ) بين انه إذا ظل هبوط الضغط ثابتا فإن تقلص نصف قطر شرين من 0.1 الى 0.08 ملم يقلل تدفق الدم بأكثر من العامل 2. ( ) احسب انخفاض نصف القطر اللازم لتقليل تدفق الدم بنسبة 90٪.

18-احسب متوسط سرعة تدفق الدم في شريان أورطي نصف قطره 1 سم اذا كان معدل التدفق هو 5 لتر/الدقيقة.

19-عندما يكون معدل تدفق الدم في الشريان الأورطي 5 لتر/الدقيقة تكون سرعة الدم في الشعيرات الدموية حوالي 0.33 ملم/ثانية. إذا كان متوسط قطر الشعرية هو 0.008 ملم، احسب عدد من الشعيرات الدموية في الدورة الدموية.

20-احسب الانخفاض في ضغط دم يتدفق خلال شريان نصف قطره تقلص (ضاق) بعامل 3. افترض أن متوسط سرعة التدفق في المنطقة الضيقة هو 50 سم/ثانية.

21-باستخدام المعلومات الواردة في النص، احسب الطاقة المتولدة بواسطة البطين الأيسر أثناء ممارسة نشاط بدني مكثف عندما يكون معدل التدفق هو 25 لتر/الدقيقة.

22-مستخدما المعلومات الواردة في النص، احسب الطاقة المولدة من البطين الأيمن أثناء ( ) حالة استرخاء حيث يكون تدفق الدم هو 5 لتر/دقيقة، و ( ) حالة نشاط مكثف حيث يكون تدفق الدم هو 25 لتر/الدقيقة.

23-خلال كل نبضة قلب، يتم ضخ الدم من القلب إلى الشريان الأورطي والشريان الرئوي. بما أن الدم يتسارع (يعجل) خلال هذا الجزء من نبضات القلب، تمارس قوة في الاتجاه المعاكس على بقية الجسم. إذا تم وضع الشخص على ميزان حساس (أو أي جهاز آخر لقياس القوة)، يمكن قياس قوة رد الفعل هذه. تسمى الأداة التي تعمل وفق هذا المبدأ مخطط القلب الدفعي. ناقش المعلومات التي يمكن الحصول عليها من قياسات مخطط القلب الدفعي وعين مقدار القوة المقاسة بواسطة هذه الأداة.

الباب الثالث -ميكانيكا الجسم البشري والاحتكاك

المحتوى

3-1 الاتزان

3-2: الاتزان للجسم البشري

3-3: استقرار الجسم البشري تحت تأثير قوة خارجية

3-4: العضلات الهيكلية

3-5: الروافع

3-6: حركة مفصل الكوع

3-7: حركة مفصل الورك

3-8: حركة الشخص الاعرج

3-9: حركة الجذع

3-10: الوقوف على رؤوس أصابع القدم واحدة

3-11: السمات الديناميكية لوضع الجسم

3-12: الاحتكاك

3-13 الوقوف علي سطح منحدر

3-14: الاحتكاك في مفصل الورك

3-15: زعنفة ظهر سمك السلور

الأهداف

بعد استكمال دراسة هذا الباب يجب أن يكون الدارس قادراً على: -

- شرح مفهوم الاتزان.
- مناقشة اتزان واستقرار الجسم البشري.
- التعرف على الروافع وعلاقتها بالجسم البشري.
- حساب قوة بعض العضلات الهيكلية في مختلف الأوضاع.
- شرح مفهوم الاحتكاك وتطبيقاته في الجسم البشري.
- مناقشة وضع الاشياء على سطح مائل واستنتاج القوانين التي تحكمها.

مقدمة

الميكانيكا هو فرع الفيزياء المعني بتأثير القوى على حركة الأجسام. الميكانيكا هو أول فروع الفيزياء المطبقة بنجاح كامل على نظم حية، في المقام الأول، لفهم المبادئ التي تحكم حركة الحيوانات. إن المفاهيم الحالية للميكانيكا قد صاغها إسحاق نيوتن، الذي كان عمله الرئيسي في الميكانيكا هو مبادئ الرياضيات، والذي تم نشرة عام 1687م. مع ذلك، فإن دراسة الميكانيكا قد بدأت قبل ذلك بكثير. يمكن أعزاء علم الميكانيكا إلى الفلاسفة اليونانيين في القرن الرابع قبل الميلاد. لقد كان اليونانيين القدماء، الذين كانوا مهتمين بكل من العلم والتربية البدنية، كانوا أيضا أول من طبق المبادئ الفيزيائية على حركات الحيوان. كتب أرسطو أن "الحيوان الذي يتحرك يصنع تغير مكانه بالضغط على ما هو تحته. . .. يعدو العداؤون بشكل أسرع إذا ما جعلوا أذرعتهم تتأرجح بحرية لأنه في امتداد الأذرع يوجد نوع من الميل على الأيدي والمعصم." على الرغم من أن بعض المفاهيم المقترحة بواسطة الفلاسفة اليونانيين كانت خاطئة، إلا أن بحثهم عن مبادئ عامة في الطبيعة أشر بداية مفهوم التفكير العلمي.

بعد تدهور الحضارة اليونانية، والملاحقة لكافة الأعمال العلمية دخلت فترة من الهدوء استمرت حتى عصر النهضة الذي أظهر انتعاش في العديد من الأنشطة بما في ذلك العلم. خلال هذه الفترة من الانتعاش وضع ليوناردو دافنشي (1452 – 1519م) ملاحظات مفصلة حول حركات الحيوان ومهام العضلات. منذ عهد دافنشي ساهم مئات الأفراد في فهمنا لحركة الحيوان من حيث المبادئ الميكانيكية. إن دراساتهم قد دعمت بتقنيات التحليل المحسنة وتطوير الآلات مثل كاميرا التصوير والمؤقتات الإلكترونية. اليوم تعتبر دراسة حركة الجسم البشري جزء من تخصصات علم الحركة الذي يدرس حركة الجسم البشري أساسا كما هو مطبق الأنشطة الرياضية، والميكانيكا الحيوية، وهو مجال أوسع لا يعني بحركة العضلات فحسب، بل يهتم أيضا بالسلوك الفيزيائي للعظام وأجهزة مثل الرئتين والقلب. إن تطوير أجهزة تعويضية مثل الأطراف الاصطناعية والقلوب الميكانيكية هو مجال نشط لبحوث الميكانيكية الحيوية.

إن الميكانيكا كأي موضـوع أخر في العلم، يبدأ بعدد من المفاهيم الأسـاسـية ثم يقدم القواعد التي بها تترابط مع بعضها البعض. يلخص الملحق ( ) المفاهيم الأساسية في الميكانيكا، ويقدم استعراضا بدلا من أجراء معالجة للموضـوع. سـنبدأ الأن مناقشـة الميكانيكا بدراسـة القوى السـاكنة التي تؤثر على جسم الأنسان. أولا، سنناقش الاستقرار والتوازن في الجسم البشرى، ومن ثم لسوف نحسب القوى التي تبذلها عضلات الهيكل في أجزاء الجسم المختلفة.

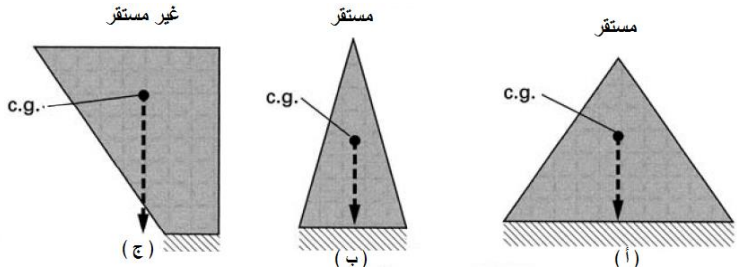
1-3 الاتزان

تمارس الأرض قوة جذب على كتلة الجسـم، وفي الواقع، يجذب كل عنصـر صـغير من كتلة الجسـم بواسـطة الأرض. مجموع هذه القوى هو الوزن الكلي للجسـم. يمكن اعتبار هذا الوزن قوة تؤثر من خلال نقطة واحدة تسـمى مركز الكتلة أو مركز الجاذبية (c.g.). وكما ورد في الملحق ( )، يكون الجسـم في حالة اتزان سـاكن إذا كان مجموع كل من القوى والعزوم المؤثرة على الجسم يساوي صفر. إذا كان الجسـم غير مدعوم، فإن قوة الجاذبية تسـرعه، ولا يكون الجسـم متوازنا. لكي يكون الجسـم في توازن مستقر، يجب دعمه بشكل ملائم.

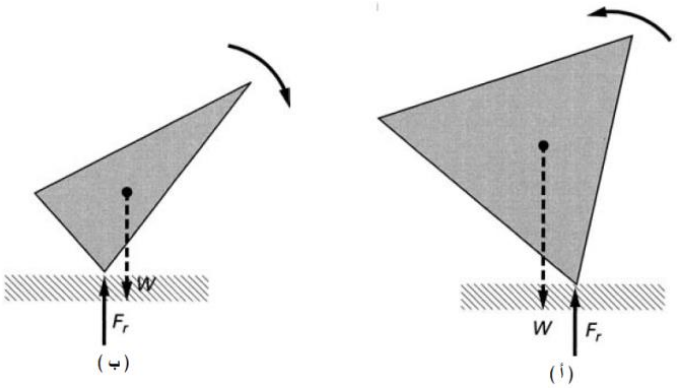
إن موقع مركز الكتلة بالنسبة للقاعدة الداعمة تعين ما إذا كان الجسم مستقرا أم لا. يكون الجسم في توازن مسـتقر تحت تأثير قوة الجاذبية إذا كان مركز كتلته مباشـرة فوق القاعدة الداعمة له (الشـكل 3-1). في هذه الحالة، فان قوة رد الفعل عند قاعدة الدعم تلاشـي قوة الجاذبية والعزم الذي تولده. إذا كان مركز الكتلة خارج القاعدة، فإن العزم المتولد بالوزن يميل إلى الإطاحة بالجسـم (الشـكل 3-1 ج).

كلما كانت القاعدة الموضـوع عليها الجسـم أوسـع كلما كان الجسـم أكثر اسـتقرارا، بمعني، يكون أكثر صعوبة للإطاحة به. اذا تم استبدل الجسم ذي القاعدة العريضة في الشكل 3-1( ) بالجسم المبين في الشـكل 3-2( )، فإن العزم المتولد بوزنه يميل إلى إعادته إلى وضـعه الأصـلي (F_r المبينة هي قوة رد الفعل الذى يمارسـها السـطح على الجسـم). نفس كمية الإزاحة الزاوية للجسـم ذي القاعدة-الضـيقة

تولد العزم الذي سـيطيح بالجسـم (الشـكل 3-2( )). تبين الاعتبارات المماثلة ان الجسـم يكون أكثر استقرارا إذا كان مركز الثقل أقرب إلى قاعدته.



الشكل 3-1: استقرار الأجسام.

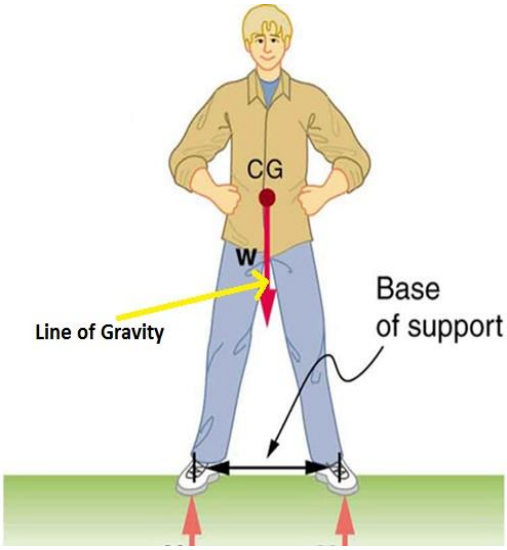


الشكل 3-2: (أ) العزم المتولد بالوزن سيعيد الجسم إلى وضعه الأصلي. (ب) العزم المتولد بالوزن سيطيح بالجسم.

3-2: الاتزان للجسم البشري

يكون مركز ثقل (c.g.) الشـخص القائم مع أذرع إلى الجانب عند حوالي 56% من الارتفاع المقاس للشخص من أخمص القدمين (الشـكل 3-3). يزاح مركز الثقل مع تحرك الشـخص. إن عمل التوازن يتطلب الحفاظ على مركز الثقل اعلى من القدم، ويسـقط الشـخص عندما يزاح مركز ثقله إلى ما بعد (أسفل) موضع القدم.

عند حمل عبء بشكل غير متساو، يميل الجسم إلى تعويض عدم التساوي عن طريق ثني ومد الأطراف من أجل نقل مركز الثقل ليتكئ على القدمين.



الشكل 3-3: مركز الثقل لجسم الأنسان (CG).

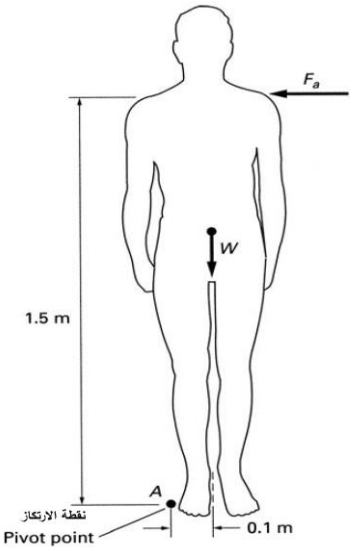
على سبيل المثال، عندما يكون يحمل الشخص وزن في ذراع واحدة، تتأرجح الذراع الأخرى بعيدا عن الجسم وينحني الجذع بعيدا عن الحمل (الشكل 3-4). تحدث هذه النزعة من الجسم للتعويض عن توزيع الوزن غير المتساو الذي غالبا ما يسبب مشاكل للأشخاص الذين فقدوا ذراعا، حيث يمكن أن يؤدي الانحناء التعويضي المستمر للجذع إلى تشوه دائم في العمود الفقري. من المستحسن غالبا أن يرتدي مبتوري الأطراف ذراع صناعية، حتى ولو كانوا لا يمكنهم استخدامها، وذلك لاستعادة توزيع الوزن المتوازن.

3-3: استقرار الجسم البشري تحت تأثير قوة خارجية

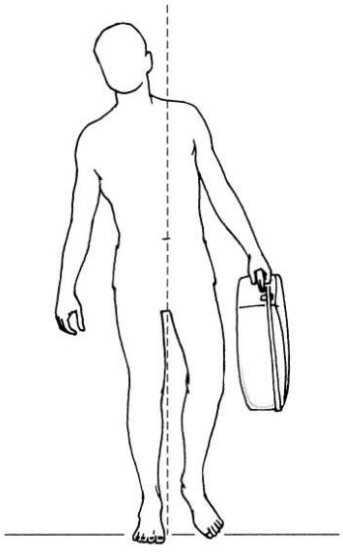
بطبيعة الحال من الممكن أن يخضع جسم الأنسان لقوى أخرى غير القوة التي تجذبه لأسفل نتيجة لوزنه. دعونا نحسب مقدار القوة المطبقة على الكتف التي من شأنها تطيح بشخص يقف غير مبال ولا يقاوم. يبين الشكل 3-5 الأبعاد المفترضة للشخص. في غياب القوة، يكون الشخص في حالة توازن مستقر بسبب أن مركزه كتلة يكون فوق قدميه، والتي تعتبر بمثابة قاعدة الدعم. تميل القوة المطبقة (F_a) إلى إسقاط الجسم. عندما يطيح الشخص، وسوف يفعل ذلك من خلال التمحور حول نقطة

A على افتراض أنه لا ينزلق. يكون عزم الدوران (T_a) في اتجاه عكس عقارب الساعة حول هذه النقطة التي تنتجه القوة المطبقة هو

$$T_a = F_a \times 1.5 \text{ m} \qquad \textbf{3-1}$$



الشكل 3-5: قوة مطبقة على شخص قائم.



الشكل 3-4: شخص يحمل وزن.

يكون عزم دوران الإرجاع العكسي T_w نتيجة وزن الشخص هو

$$T_w = W \times 0.1 \text{ m} \qquad \textbf{3-2}$$

بفرض أن كتلة الشخص هي 70 kg ، فإن وزنه W يكون

$$W = mg = 70 \times 9.8 = 686 \text{ newton (N)} \qquad \textbf{3-3}$$

(هنا g هو تسارع (عجلة) الجاذبية، والتي لها القيمة 9.8 m/sec^2 . بالتالي فإن عزم دوران الإرجاع المتولد بالوزن هو 68.6 N.m . يكون الشخص على وشك السقوط عندما تتساوى مقادير هذين العزمين، بمعنى $T_a = T_w$ أو

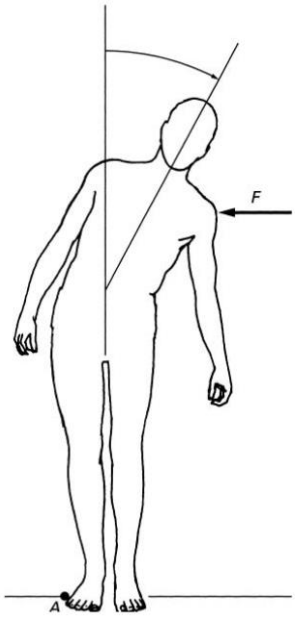
$$F_a \times 1.5 \text{ m} = 68.6 \text{ N.m} \qquad \textbf{3-4}$$

بالتالي، تكون القوة المطلوبة للإطاحة بشخص واقف مستقيم هي،

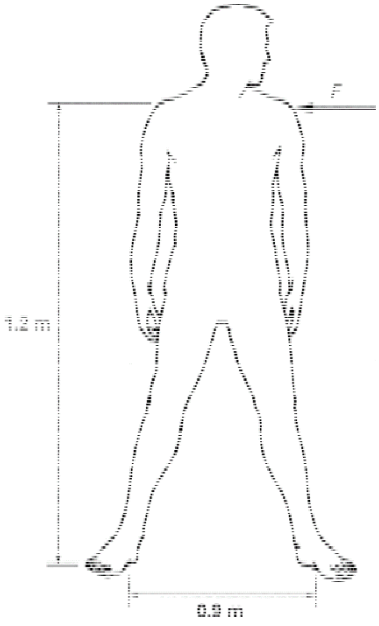
$$F_a = \frac{68.6}{1.5} = 45.7 \quad \text{N} \ (10.3\,\text{lb}) \qquad \textbf{3-5}$$

في الواقع، يمكن للشخص أن يصمد أمام قوة جانبية أكبر بكثير دون أن يفقد توازنه وذلك عن طريق ثني الجذع في الاتجاه المعاكس للقوة المطبقة (الشكل **3-6**). هذا يزيح مركز الثقل بعيدا عن النقطة المحورية **A**، الأمر الذي يزيد عزم دوران الإرجاع الناتج من وزن الجسم.

أيضا يزداد الاستقرار في مواجهة قوة الإطاحة أيضا من خلال نشر (تباعد) الساقين، كما هو مبين في الشكل **3-7** وسيتم مناقشة هذا في التمرين **1**.



الشكل 3-6: تعويض قوة الدفع الجانبي.



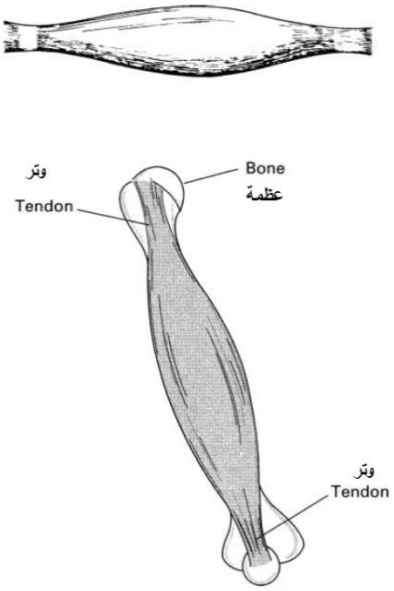
الشكل 3-7: يزداد الاستقرار بتباعد الساقين.

3-4: العضلات الهيكلية

العضلات الهيكلية، التي تولد الحركات الهيكلية، تتكون من عدة آلاف من الألياف المتوازية الملفوفة في غلاف مرن يضيق عند كل من طرفي الأوتار (الشكل **3-8**). تنمو الأوتار، التي تتكون من أنسجة قوية، في العظام وتربط العضلات مع العظام. يتم تثبيت معظم العضلات بوتر واحد. مع ذلك تنتهي بعض العضلات بوترين أو ثلاثة أوتار. تسمى هذه العضلات، بالعضلة ذات الرأسين وبالعضلة ثلاثية

الرؤوس، على التوالي. يتصل كل طرف من طرفي العضلة إلى عظمة مختلفة. بشكل عام، يكون تحرك العظمتين المرتبطتين بالعضلة بشكل حر بالنسبة لبعضهما البعض عند المفاصل حيث تلامس إحداهما الأخرى.

ولقد لوحظ هذا الاتصال للعضلات مع العظام بواسطة ليوناردو دافينشي، الذي كتب، "تبدأ العضلات دائما وتنتهي في العظام التي تمس بعضها البعض، ولا تبدأ أبدا وتنتهي في نفس العظمة. . .. "وقال أيضا: " وظيفة العضلات هي السحب وعدم الدفع إلا في حالة العضو التناسلي واللسان".



الشكل **3-8**: رسم للعضلة.

إن ملاحظة دافنشي حول سحب العضلات هي صحيحة. عندما تتلقى الألياف في العضلة حافزا كهربيا من النهايات العصبية التي تتعلق بها، فأنها تتقلص. وهذا بدوره يؤدي إلى تقصير العضلة وبالتالي قوة سحب مقابلة على العظمتين اللتين ترتبط بهما العضلة.

هناك تفاوت كبير في قوة الجذب التي يمكن أن تطبق على عضلة ما. تتعين قوة الانقباض في أي حين بعدد الألياف الفردية التي تنقبض داخل العضلات. عندما يتلقى ليف منفرد حافزا كهربيا، فإنه يميل إلى أن يتقلص إلى أقصى قدر ممكن. عند الحاجة إلى قوة جذب أقوى، يتم تحفيز عدد أكبر من الألياف

لتتقلص.

أظهرت التجارب أن أقصى قوة يمكن أن تمارسها العضل تتناسب مع المقطع العرضي لها. ومن القياسات، تشير التقديرات إلى أن العضلة يمكن أن تمارس قوة حوالي $7\times10^6\ \text{dyn/cm}^2$ من مساحتها ($7\times10^6\ \text{dyn/cm}^2 = 7\times10^5\ \text{Pa} = 102\ \text{lb/in}^2$)

لحساب القوى التي تبذلها العضلات، يمكن تحليل المفاصل المختلفة في الجسم بشكل ملائم بدلالة الروافع. مثل هذا التمثيل يعني بعض الافتراضات التبسيطية. سوف نفترض أن الأوتار تتصل بالعظام في نقط معرفة جيدا وأن المفاصل هي بمثابة احتكاك.

غالبا ما يكون التبسيط ضروريا لحساب سلوك الأنظمة في العالم الحقيقي. نادرا ما تكون كل خصائص النظام معروفة، وحتى عندما تكون معروفة، فإن اعتبار كل التفاصيل هو أمر ليس ضروري في العادة. غالبا ما تستند الحسابات على نموذج، الذي يفترض أن يكون تمثيل جيد للوضع الحقيقي.

الباب الرابع – فيزياء الحركة في الكائنات الحية

المحتوى

4-1: الحركة الانتقالية وخصائصها
4-2: الحركة في الهواء
4-3: الطاقة المستهلكة في النشاط البدني
4-4: الحركة الزاوية
4-5: البندول
4-6: دراسة حركة المشي
4-7: البندول الفيزيائي
4-8: دراسة فيزياء المشي والجري
4-9: حمل أثقال

الأهداف

بعد استكمال دراسة هذا الباب يجب أن يكون الدارس قادراً على:-

- **فهم فيزياء الحركة الانتقالية والحركة الدورانية واستنتاج القوانين التي تحكمها و المقارنة بين كل من الحركة الانتقالية و الحركة الدورانية**
- **حساب اقصى ارتفاع يصل اليه القافز من الوضع منحني**
- **مناقشة تأثير الجاذبية على القفز الرأسي ومناقشة عملية الوثب العالي من وضع الجري وتحقيق ارتفاع اضافي وحساب اقصى ارتفاع يصل اليه القافز في الاوضاع المختلفة**
- **حساب المدى الذي تصل اليه القذيفة ومناقشة العوامل التي تؤثر فيه.**
- **فهم منشأ الطاقة اللازمة للحيوان لأداء الشغل في النشاط اليومي.**
- **تحليل بعض سمات الحركة الزاوية الموجودة في حركة الحيوانات،**
- **تحليل بعض جوانب المشي بدلالة الحركة التوافقية البسيطة للبندول.**
- **استنتاج تأثير حجم الشخص الماشي على سرعة المشي وحساب الطاقة المبذولة في الجري والعوامل التي تؤثر فيها.**
- **تمثيل الجهاز العضلي الهيكلي التفاعلي المعقدة للغاية المشارك في المشي /أو الجري بهيكل مبسط قابل للتحليل الرياضي.**
- **حساب تأثير حمل حمولة على الطاقة المستهلكة فب المشي.**

4-1: الحركة الانتقالية وخصائصها

عندما يغير جسم ما موقعة بمرور الزمن بالنسبة لجسم أخر فانة يقال في حالة حركة بالنسبة للجسم الثاني. أما أذا كان موقع الجسمين النسبي لا يتغير بمرور الزمن فان كل منهما يكون في حالة سكون بالنسبة للأخر فالسكون و الحركة أذن مفهومان نسبيان و لا معنى للسكون المطلق بالمفهوم الفيزيائي، فالأشجار و البيوت تظهر وكأنها ساكنة بالنسبة للأرض ولكنها في حالة حركة مستمرة بالنسبة للشمس مثلا. هناك أنواع عديدة للحركة كالحركة الانتقالية و الدورانية و الاهتزازية فمثلا تنتقل كرة القدم المقذوفة في الهواء من موضع إلى أخر وقد تدور حول نفسها فهي أذن تتحرك حركة انتقالية و أخرى دورانية في الوقت ذاته و قطرات الماء المتساقط تتحرك حركة انتقالية و في الوقت نفسه تكون في حالة حركة اهتزازية، و واضح أن نوع الحركة للجسم يختلف باختلاف المحاور المرجعية و لتسهيل دراسة

الحركة من الناحية النظرية ندرس أولا الحركة الانتقالية بصورة منفردة.

في الحركة الانتقالية الخالصة يكون لجميع أجزاء الجسم نفس السرعة والعجلة (التسارع) (انظر الشكل **4-1**). في الحركة الدورانية الخالصة، مثل دوران قضيب حول محور، يكون معدل التغير في الزاوية θ هو نفسه بالنسبة لجميع أجزاء الجسم (الشكل **4-2**)، لكن تعتمد السرعة والعجلة على المسافة من مركز الدوران. إن العديد من التحركات والحركات التي نواجهها في الطبيعة هي مزيج من الدوران والانتقال، كما هو الحال بالنسبة لجسم يدور اثناء السقوط. مع ذلك، يكون الأمر مريح، عند مناقشة هذه الحركات بشكل منفصل.

يمكن تلخيص معادلات الحركة الانتقالية عند ثبوت العجلة على النحو التالي: في حالة عجلة موحدة (a)، تكون السرعة النهائية (v) للجسم الذي تم تعجيله لزمن t هي،

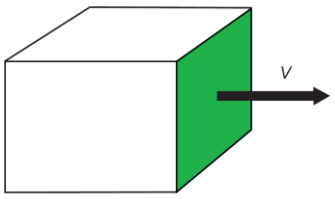
$$v = v_0 + at \qquad \textbf{4-1}$$

هنا v_0 هي السرعة الابتدائية للجسم و a هي العجلة. بالتالي يمكن التعبير عن العجلة بالصورة،

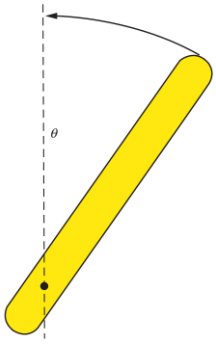
$$a = \frac{v - v_0}{t} \qquad \textbf{4-2}$$

يكون متوسط السرعة خلال الفترة الزمنية t على الصورة،

$$v_{av} = \frac{v + v_0}{2} \qquad \textbf{4-3}$$



الشكل 4-1 : حركة انتقالية.



الشكل 4-2 : حركة دورانية.

المسافة المقطوعة، s ، خلال هذا الزمن تكون،

$$s = v_{av}\ t \qquad \textbf{4-4}$$

باستخدام المعادلات **4-1** و **4-2**، نحصل على،

$$s = v_{av}\ t = \frac{a t^2}{2} \qquad \textbf{4-5}$$

بالتعويض بـ $t = (v - v_0)/a$ من المعادلة **4-1** في المعادلة **4-5**، نحصل على،

$$v^2 = v_0^2 + 2as \qquad \textbf{4-6}$$

الآن نطبق هذه المعادلات في بعض المسائل في مجال علوم الحياة. سوف تتعلق معظم حساباتنا بالجوانب المختلفة للقفز. على الرغم من أنه في عملية القفز لا تكون عجلة الجسم ثابتة في العادة، يكون افتراض أن العجلة ثابتة أمرا ضروريا لحل المسائل دون صعوبات لا مبرر لها.

4-1-1: الوثب الرأسي من وضع منحني

سوف نعتبر القفزة البسيطة الرأسية التي يبدأ فيها القافز من الوضع منحني ثم يدفع بقدميه إلى اعلى (انظر الشكل **4-3**).

هنا، سنقوم بحساب الارتفاع، H ، الذي سيتحقق بواسطة القافز. في الوضع المنحني، في بداية القفزة، يتم خفض مركز الثقل بمسافة c . أثناء عملية القفز، تولد الساقين قوة عن طريق الضغط لأسفل على السطح. على الرغم من أن هذه القوة تتغير خلال القفز، إلا إننا نفترض أن لها قيمة متوسطة ثابتة هي F .

ونظرا لأن قدم القافز تؤثر بقوة على السطح، فإن قوة موجهة لأعلى مساوية تبذل على القافز بواسطة السطح (قانون نيوتن الثالث). بالتالي، هناك قوتان تؤثران على القافز: وزن القافز (W)، والتي تكون في الاتجاه لسفل، وقوة رد الفعل (F)، التي تكون في الاتجاه لأعلى. تكون محصلة القوة التي تؤثر على القافز لأعلى هي $F - W$ (انظر الشكل **4-4**). تؤثر هذه القوة على القافز حتى ينتصب جسد القافز ويترك قدمه الأرض. بالتالي فإن القوة لأعلى، تؤثر على القافز خلال المسافة c (انظر الشكل **4-**

3). تكون عجلة القافز في هذه المرحلة من القفزة (انظر الملحق ( )) هي،

$$a = \frac{F - W}{m} = \frac{F - W}{W / g} \qquad \textbf{4-7}$$

حيث W هو وزن القافز و g هو عجلة الجاذبية. إن اعتبار القوى المؤثرة على الأرض (الشكل **4-5**) يبين أن قوة مساوية تعجل الأرض في الاتجاه المعاكس. مع ذلك، ونظرا لأن كتلة الأرض كبيرة فإن تعجيلها(تسارعها) بسبب القفزة لا يكاد يذكر.

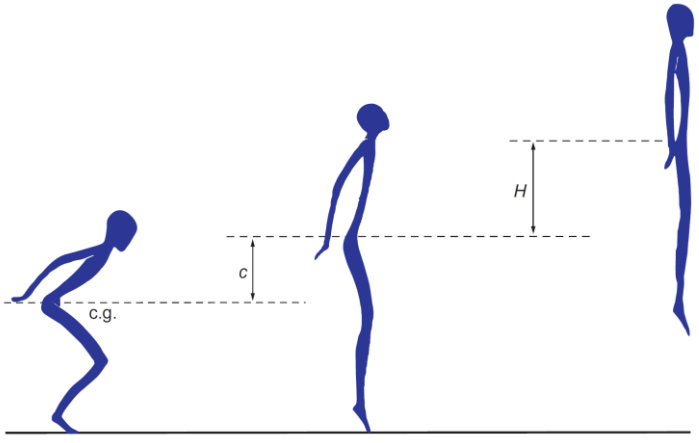
تحدث العجلة المبينة في المعادلة **4-7** على طول المسافة c . لذلك، فإن سرعة القافز v عند الانطلاق طبقا لما تنص المعادلة **4-6** هي،

$$v^2 = v_0^2 + 2ac \qquad \textbf{4-8}$$

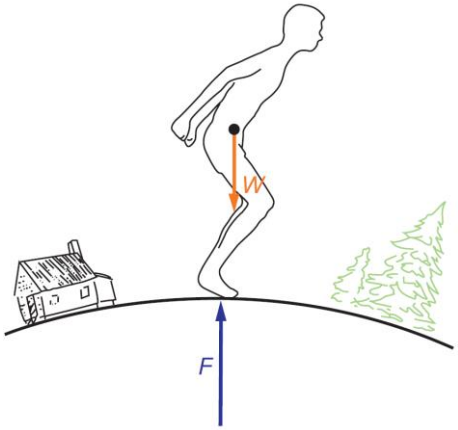
وبما أن السرعة الأولية في بداية القفزة هي الصفر(بمعنى $v_0 = 0$)، فإن سرعة الانطلاق هي

$$v^2 = \frac{2(F - W)c}{W / g} \qquad \textbf{4-9}$$

(هنا قمنا بالتعويض التالي، $a = \frac{F - W}{W / g}$ في المعادلة **4-8**)



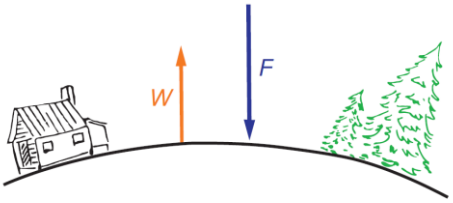
الشكل **4-3** القفزة الرأسية.



الشكل 4-4 تحليل القوى المؤثرة على القافز.

بعد أن يترك الجسم الأرض، فإن القوة الوحيدة المؤثرة عليه هي قوة الجاذبية W ، والتي تولد عجلة على الجسم إلى أسفل ($-g$). عند أقصى ارتفاع H ، بالكاد قبل أن يبدأ الجسم في الهبوط مرة أخرى إلى الأرض، تكون السرعة صفر. تكون السرعة الابتدائية لهذا الجزء من القفزة هي سرعة الانطلاق v المعطاة بالمعادلة 4-9. لذلك، من المعادلة 4-6 نحصل على،

$$0 = \frac{2(F - W)c}{W/g} - 2gH \qquad \textbf{4-10}$$



الشكل 4-5 بيان القوى المؤثرة على الأرض.

من هذه المعادلة، يكون ارتفاع القفزة هو،

$$H = \frac{(F - W)c}{W} \qquad \textbf{4-11}$$

الآن دعونا نخمن القيمة العددية لارتفاع القفزة. بينت التجارب أنه في القفزة الجيدة يولد الشخص الرياضي متوسط قوة رد فعل تكون ضعف وزنة (بمعنى، $F = 2W$). في هذه الحالة، يكون ارتفاع

القفزة هو $H = c$. تتناسب المسافة c ، والتي هي انخفاض مركز الثقل في الانحناء، مع طول الساقين. بالنسبة للشخص العادي، تكون هذه المسافة حوالي **60** سم، وهي تقديرنا لارتفاع القفزة الرأسية.

يمكن أيضا حساب ارتفاع القفزة الرأسية ببساطة شديدة من اعتبارات الطاقة. إن الشغل المبذول على جسم القافز بواسطة القوة F خلال القفزة هو حاصل ضرب القوة F والمسافة c التي على طولها تؤثر هذه القوة (انظر الملحق أ). يتحول هذا الشغل إلى طاقة حركية نظرا لتسارع القافز إلى أعلى. عند الارتفاع الكامل للقفزة H (قبل أن يبدأ القافز الهبوط عائدا إلى الأرض)، تكون سرعة القافز هي الصفر. عند هذه النقطة، يتم تتحول الطاقة الحركية بشكل كامل إلى طاقة وضع نظرا لأن مركز كتلة القافز يكون على الارتفاع ($c + H$). لذلك، من قانون حفظ الطاقة يكون،

الشغل المبذول على الجسم = الطاقة الكامنة للجسم عند أقصى ارتفاع، أو

$$F\,c = W(c + H) \qquad \textbf{4-12}$$

من هذه المعادلة يكون ارتفاع القفزة، كما سبق، هو

$$H = \frac{(F - W)\,c}{W}$$

يتم فحص جانب آخر للقفز الرأسي في التمرين **1**.

الباب الخامس – المرونة وتطبيقاتها الحيوية

المحتوى

5-1: المرونة وخصائصها
5-2:الأجهاد والانفعال والاستطالة والانضغاطية
5-3: الزنبرك وقانون هوك
5-4:التطبيقات الحيوية للمرونة
5-5:طيران الحشرات

الأهداف

بعد استكمال دراسة هذا الباب يكون الدارس قادرا على:-

- التمييز بين الجسم المرن واللدن وخواص الأجهاد والانفعال والاستطالة والانضغاطية
- فهم خصائص الزنبرك كجسم مرن واستنتاج قانون هوك للمرونة
- الإلمام بالتطبيقات الحيوية للمرونة من كسر للعظام والاعتبارات الطاقية التي تؤخذ عند دراسة كسر العظام.
- حساب قوى الاندفاع والكسر نتيجة السقوط .
- تحليل كسر العظم وحساب الطاقات المؤثرة على العظام اثناء القفزوالجري.
- فهم قوى الاندفاع والكسر نتيجة السقوط.
- معرفة الاصابات المصعية و الوسائد الهوائية ودورها في الوقاية منها.
- مناقشة السقوط من ارتفاع كبيروتاثير نوع وسط السقوط.
- مناقشة هشاشة العظام وتأثير ممارسة الرياضة عىل الظهور المبكر للمرض.
- مناقشة وتحليل بعض الجوانب المتعلقة طيران الحشرات
- فهم طيران التحليق وحساب تردد ضربات اجنحة الطير المحلق.
- الالمام بتركيب عضلات جناح الحشرات وفهم الدور الذي تقوم به العضلات اثناءالطيران.
- استنتاج الطاقة المطلوبة للتحليق,والطاقة الحركية للأجنحة أثناء الطيران.
- فهم مرونة الأجنحة وحساب الطاقة المختزنة في الجناحين.

5-1: المرونة وخصائصها

عندما يتم تطبيق قوة على الجسم، يتشوه شكل وحجم الجسم. اعتمادا على كيفية تطبيق القوة، قد يؤدي هذا التشوه إلى أن يشد الجسم، ويجعله ينضغط، أو ينحني، أو يلتوي. قدرة استرداد الجسم لوضعه الأصلي صفة فيزيائية تسمي بالمرونة. الجسم الذي يحتفظ بالتشوه الحادث فيه، أو الجسم الذي لا يستعيد حالته الأولى بعد زوال القوة المؤثرة يسمى الجسم اللدن، في حين أن الجسم الذي يقاوم التشوه الحادث فيه، أو هو الجسم الذي يستعيد وضعه الأصلي بعد زوال القوة المؤثرة .المرونة هي ظاهرة في الجسم تمكنه مكن استعادة وضعه الأصلي بعد زوال القوة المؤثرة. مع ذلك، إذا كانت القوة المستخدمة كبيرة بشكل كاف فإن الجسم يتشوه بعد حدود مرونته، ولا يستعيد شكله الأصلي بعد إزالة القوة، وما زالت هناك قوة أكبر يمكن أن تمزق الجسم. سوف نستعرض بشكل مختصر نظرية التشوه ثم تفحص البريد التأثيرات الضارة للقوى على العظام والأنسجة.

5-2:الأجهاد والانفعال والاستطالة والانضغاطية

5-2-1:الأجهاد

الإجهاد(S) يعرف الإجهاد بأنه القوة المؤثرة عموديا على وحدة المساحات من الجسم. فإذا أثرت قوة **F** على مساحة **A** من الجسم فأن الإجهاد يعطى من العلاقة:

$$S \equiv \frac{F}{A} \qquad \text{5-1}$$

F هنا هي القوة المطبقة و A هو المساحة المطبق عليها القوة (الرمز ≡ في المعادلة يفيد التعريف).

يقاس الإجهاد بوحدة داين / سم^2. يختلف نوع الإجهاد الحادث باختلاف نوع القوة المؤثرة. ينقسم الإجهاد إلى ثلاث قوى: إجهاد الشد وفيه تؤثر قوتان متساويتان بالمقدار متعاكستان بالاتجاه تقعان على نهايتي الجسم وعلى نفس خط التأثير.إجهاد الكبس وفيه تؤثر قوتان متساويتان بالمقدار متقابلتان بنفس الاتجاه تعملان على ضغط الجسم وتقصير طوله . إجهاد القص يعرف بأنه القوة المماسية للسطح والمؤثرة على وحدة المساحات. في بعض الأحيان لا يكون انفعال المادة المرنة يؤدي إلى تغير في

الطول أو الحجم بل قد يكون تغير في الشكل.

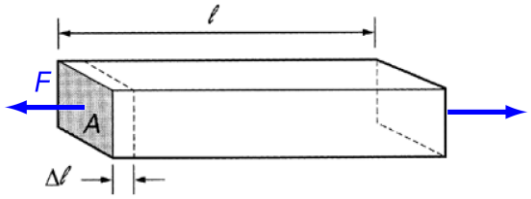
5-2-2: الانفعال

الانفعال(S_t) هو استجابة المادة للقوة المؤثرة عليها وقد يكون تغير في الطول أو الحجم أو الشكل. بمعنى آخر يمكن القول أن الانفعال هو التغير في الطول بالنسبة إلى الطول الأصلي أو التغير في الحجم بالنسبة للحجم الأصلي. والانفعال ليس له وحدات ويعطى من العلاقة.

$$S_t \equiv \frac{\Delta l}{l} \qquad 5\text{-}2$$

5-2-3:الاستطالة والانضغاطية

دعونا ننظر في تأثير قوة شد F مطبقة على قضيب (الشكل **5-1**). تنتقل القوة المطبقة على كل جزء من أجزاء الجسم، وتميل إلى سحب المواد بعيدا عن بعضها البعض فيما يسمى بالإجهاد الطولي (استطالة). ومع ذلك، تقاوم هذه القوة بواسطة قوة التماسك الذي تحمل المواد معا. تتمزق المواد عندما تزيد القوة المطبقة عن قوة التماسك. لو تم عكس القوة في الشكل **5-1** ينضغط القضيب، ويتقلص طوله. اعتبارات مماثلة تبين انه في البداية يكون الانضغاط غير مرن، ولكن القوة كبيرة بما فيه الكفاية سوف تولد تشوه دائم ثم كسر.



الشكل **5-1** استطالة قضيب نتيجة قوة مطبقة.

تتسبب القوة المطبقة على القضيب في الشكل **5-1** في استطالة للقضيب بمقدار Δl . يسمى التغير الكسري في الطول، $\Delta l / l$ ، بالتشوه الطولي (الانفعال الطولي).

l هنا هو طول القضيب و Δl هو التغير في الطول نتيجة القوة المطبقة. عند عكس الأمر، فإن القوة في الشكل (**5-1**) سوف تضغط القضيب بدلا من تمديده. (يبقى تعريف الإجهاد كما هو من قبل). وفي

عام **1676**م لاحظ روبرت هوك أن نسـبة الإجهاد إلى الانفعال دائما مقدارثابت يسـمى بمعامل يانج Y.

$$\frac{S}{S_t} = Y \qquad \textbf{5-3}$$

تم قياس معامل يانج للعديد من المواد، وتم تدوين بعضـها في الجدول **5-1**، كما تم أيضـا تدوين قوة الكسر أو التمزق لهذه المواد.

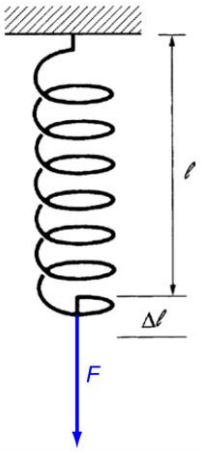
الجدول **5-1** معامل يانج وقوة الكسر لبعض المواد

المادة	معامل يانج (داين/سم^2)	وقوة الكسر (داين/سم^2)
الفولاذ	200×10^{10}	450×10^{7}
الألمونيوم	69×10^{10}	62×10^{7}
العظام	14×10^{10}	100×10^{7} انضغاط 83×10^{7} شد 27.5×10^{7} التواء
وتر العضلة		68.9×10^{7} شد
العضلة		0.55×10^{7} شد

5-3: قانون هوك

ينصّ قانون هوك: "أنّ مقدار التَّغير في طول النّابض- الزّنبرك- يتناسـب تناسـباً طرديًّا مع مقدار القوّة المؤثرة على النّابض". أي أنّ النّابض يكون في الوضـع الطَّبيعيّ في حال ثباتٍ واسـتقرارٍ ما لمْ تؤثر عليه قوةٌ خارجيّةٌ؛ لكن عندما يقع تحت تأثير القوّة الخارجيّة؛ فإنه يبدأ بالاسـتطالة أو التَّمدد بمقدار يتناسب مع القوة، فكلما زادت القوة المؤثرة على النّابض زاد مقدار الاستطالة في طول النَّابض.

يعتبر الزنبرك مفيدا جدا لشرح خصائص المرونة للمادة، سوف نعتبر الزنبرك المبين في الشكل **5-2**.



الشكل 5-2: زنبرك مشدود.

تتناسب القوة F اللازمة لشد (أو ضغط) الزنبرك تناسب طرديا مع كمية الاستطالة (أو التقلص).

بمعنى أن،

$$F = K\,\Delta l \qquad \textbf{5-4}$$

ثابت التناسب K يسمى ثابت الزنبرك.

يحتوي الزنبرك المشدود (أو المضغوط) على طاقة وضع. بمعنى انه، يمكن يبذل شغل بواسطة الزنبرك المشدود عند إزالة قوة الشد. تعطى الطاقة المخزونة في الزنبرك بالعلاقة،

$$E = \frac{1}{2} K (\Delta l)^2 \qquad \textbf{5-5}$$

يكون الجسم المرن تحت الإجهاد مثل زنبرك له ثابت YA/l. يمكن رؤية ذلك بفك المعادلة **5-3**.

$$\frac{S}{S_t} = \frac{F/A}{\Delta l / l} = Y \qquad \textbf{5-6}$$

من المعادلة **5-6** تكون القوة F هي،

$$F = \frac{YA}{l} \Delta l \qquad \textbf{5-7}$$

هذه المعادلة مماثلة تماما لمعادلة زنبرك له ثابت K.

$$K = \frac{YA}{l} \qquad \textbf{5-8}$$

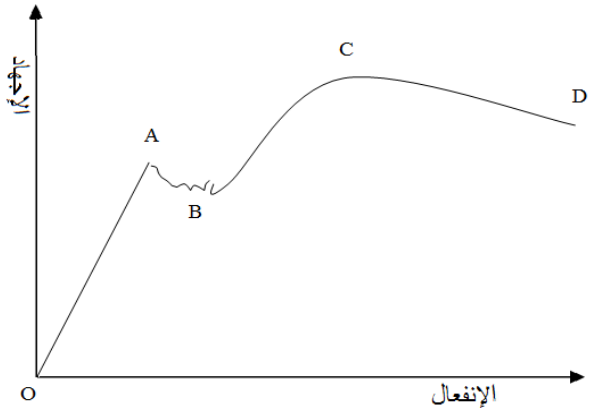
كما هو الحال في الزنبرك (انظر المعادلة 5-5) يكون مقدار الطاقة المختزنة في الجسم المشدود او المنضغط هو:

$$E = \frac{1}{2}\frac{YA}{l}(\Delta l)^2 \qquad \textbf{5-9}$$

عند دراسة العلاقة بين الإجهاد والانفعال ورسم المنحنى الذي يربط بينهما والذي يسمى بمنحنى المرونة. كما بالشكل(5-3) الذي يوضح منحنى المرونة ومناطق المرونة وهي كما يلي.

1-المنطقة ***OA*** وهي خط مستقيم يوضح أن الإجهاد يتناسب تناسب طردي مع الانفعال وإذا أذيل الإجهاد المؤثر على هذا الجسم خلال تلك المنطقة، فان الجسم يستعيد وضعه الأصلي. ويكون الجسم في هذه المنطقة تام المرونة. كما تسمى النقطة ***A*** حد المرونة.

2-المنطقة ***AB*** وتوضح هذه المنطقة أن الانفعال لم يعد يتناسب مع الإجهاد ويكون سلوك الجسم في هذه المنطقة سلوك عشوائي أو في حالة من عدم الاستقرار. كما تسمى النقطة ***B*** نقطة الإذعان.



الشكل 5-3: بمنحنى ومناطق المرونة.

3-إذا تخطت المادة النقطة ***B*** فان أي زيادة صغيرة في قيمة الإجهاد تسبب زيادة كبيرة في قيمة الانفعال الحادث حتى تصل المادة إلى النقطة ***C*** وهي تمثل أقصى قيمة للإجهاد المطبق على الجسم.

4-بعد النقطة ***C*** نلاحظ استمرار انفعال الجسم دون حدوث أي زيادة في الإجهاد حتى تصل حالة الجسم إلى النقطة ***D*** التي يحدث عندها الاختناق ويؤدى ذلك إلى انفصال الجسم. وتسمى النقطة

D نقطة الكسر.

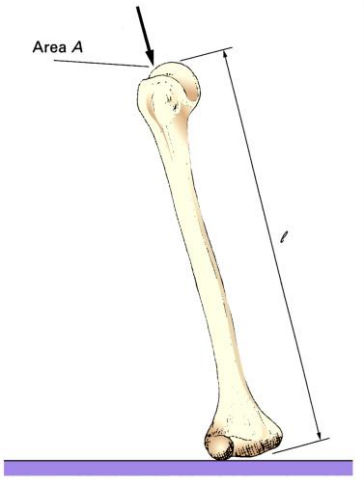
5-4:التطبيقات الحيوية للمرونة

5-4-1: كسر العظم: اعتبارات الطاقة

إن معرفة الحد الأقصى للطاقة التي يمكن لأجزاء الجسم أن تمتص بأمان يسمح لنا تقدير إمكانية الإصابة تحت ظروف مختلفة. سوف نحسب أولا كمية الطاقة اللازمة لكسر عظمة مساحتها A وطولها l. افترض أن العظمة تظل مرنة حتى الكسر. دعونا نسمي إجهاد الكسر للعظم S_B (انظر الشكل 5-4). تكون القوة المقابلة F_B التي من شأنها تكسر العظمة، من المعادلة 5-7، على الصورة،

$$F_B = S_B A = \frac{YA}{l}\Delta l \qquad 5\text{-}10$$

بالتالي، يكون مقدار الانضغاط Δl عند نقطة الكسر هو،



الشكل 5-4: الانضغاط في العظام.

$$\Delta l = \frac{S_B l}{Y} \qquad 5\text{-}11$$

من المعادلة 5-9، تكون القوة المختزنة(الطاقة) في العظمة المضغوطة عند نقطة الكسر هي،

$$E = \frac{1}{2}\frac{YA}{l}(\Delta l)^2 \qquad 5\text{-}12$$

بالتعويض عن $\Delta l = S_B\, l / Y$ نحصل على،

$$E = \frac{1}{2}\frac{Al\,S_B^2}{Y} \qquad \textbf{5-13}$$

وكمثال على ذلك، افترض كسر اثنين من عظام الساق التي يبلغ طوله الإجمالي حوالي **90** سم، ومتوسط المساحة حوالي **6** سم^2. من الجدول **5-1**، وضغط الكسر S_B هو **109** داين/ سم^2، ومعامل يانج للعظم هو **14** × **10**^{10} داين/سم^2. تكون الطاقة الكلية التي تمتصها عظام ساق واحدة عند نقطة الكسر الانضغاطي، من المعادلة **5-13**، هو،

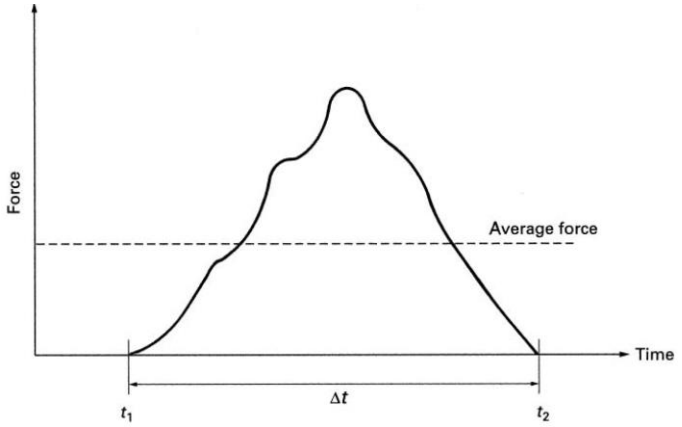
$$E = \frac{1}{2}\frac{6\times 90\times 10^{18}}{14\times 10^{10}} = 19.25\times 10^{8}\ \text{erg} = 192.5\ \text{J}$$

تكون الطاقة المجمعة في الساقين ضعف هذه القيمة، أو **385** جول. هذه هي كمية الطاقة في اصطدام شخص وزنه **70** كجم يقفز من ارتفاع **56** سم (**1.8** قدم)، والمعطاة بحاصل الضرب mgh. (وهنا m هو كتلة من شخص، g هو عجلة الجاذبية، و h هو الارتفاع.) إذا تم امتصاص كل هذه الطاقة بواسطة عظام الساق، فإنها قد تنكسر.

بالتأكيد، من الممكن القفز بسلام من ارتفاع أكبر بكثير من **56** سم إذا كانت مفاصل الجسم منحنية، عند الهبوط وتم إعادة توزيع طاقة السقوط لتقليل فرصة الإصابة بكسور. مع ذلك، أشارت الحسابات إلى إمكانية الإصابة في السقوط حتى من على ارتفاع صغير. يمكن استخدام اعتبارات مماثلة لحساب احتمال الإصابة بكسور العظام في الجري.

5-4-2: قوى الاندفاع و الكسر نتيجة السقوط

في حادث التصادم المفاجئ، تمارس قوة كبيرة لفترة قصيرة من الزمن على جسم المصطدم. يبين الشكل **5-5** السمة العامة لقوة التصادم هذه كدالة في الزمن. تبدأ القوة عند زمن الصفر، وتزداد نحو القيمة القصوى، ومن ثم تنخفض إلى الصفر مرة أخرى. إن الفترة الزمنية $t_2 - t_1 = \Delta t$ التي خلالها تؤثر القوة في الجسم هي مدة تصادم. تسمى هذه القوة القصيرة المدة بقوة الاندفاع.



الشكل 5-5: اعتماد قوة الاندفاع على فترة التصادم.

ونظرا لأن التصادم يحدث في فترة قصيرة من الزمن، فإنه يكون من الصعب في العادة تحديد المقدار الدقيق للقوة أثناء الاصطدام. مع ذلك، من السهل نسبيا حساب القيمة المتوسط لقوة الاندفاع F_{av} . ببساطة، يمكن الحصول عليها من العلاقة بين القوة والزخم الواردة في الملحق أ؛ بمعنى،

$$F_{av} = \frac{mv_f - mv_i}{\Delta t} \qquad \textbf{5-14}$$

mv_i هنا هو الزخم الابتدائي للجسم و mv_f هو الزخم النهائي له بعد الاصطدام. على سبيل المثال، إذا كانت مدة اصطدام هي 6×10^{-3} ثانية والتغير في الزخم هو 2 كيلوجرام. متر/ثانية، فإن متوسط القوة التي تؤثر أثناء الاصطدام هو

$$F_{av} = \frac{2\,\text{kg.m/sec}}{6\times10^{-3}\ \text{sec}} = 3.3\times10^{2}\ \text{N}$$

لاحظ أنه بالنسبة لتغيير معين للزخم، يتناسب مقدار قوة الاندفاع تناسب عكسيا مع زمن الاصطدام؛ بمعنى أن قوة الاصطدام تكون أكبر في حادث التصادم السريع منها في التصادم البطيء.

في الفصل السابق، حسبنا التأثيرات الضارة للاصطدام من حيث اعتبارات الطاقة. يمكن اجراء حسابات مماثلة باستخدام مفهوم قوة الاندفاع. يتم حساب مقدار القوة التي تسبب الضرر من المعادلة 5-14. يكون من السهل في العادة حساب التغير في الزخم بسبب الاصطدام، ولكن يكون من الصعب تعيين فترة الاصطدام Δt بشكل دقيق. ان ذلك يعتمد على نوع التصادم. إذا كانت اجسام

الاصطدام صلبة، يكون زمن تصادم قصير جدا، مجرد بعض أجزاء قليلة من الثانية. إذا كان احد اجسام الاصطدام لين ويستمر خلال الاصطدام، فإن مدة الاصطدام تطول، ونتيجة لذلك تنخفض قوة الاندفاع. وهكذا، يكون السقوط في الرمال الناعمة أقل ضررا من السقوط على سطح خرساني صلب.

عندما يسقط شخص من ارتفاع h ، فإن سرعته عند الاصطدام بسطح الأرض، إهمال احتكاك الهواء (انظر المعادلة **(6-4)**، تكون

$$v = \sqrt{2gh} \qquad \textbf{5-15}$$

يكون الزخم (كمية التحرك) في الاصطدام هي،

$$mv = m\sqrt{2gh} = W\sqrt{\frac{2h}{g}} \qquad \textbf{5-16}$$

بعد الاصطدام يكون الجسم في حالة سكون، وبالتالي يكون زخمه صفر ($mv_f = 0$). يكون التغير في الزخم هو،

$$mv_i - mv_f = W\sqrt{\frac{2h}{g}} \qquad \textbf{5-17}$$

يكون متوسط قوة التصادم (التأثير)، من المعادلة **5-14**، هو،

$$F = \frac{W}{2}\sqrt{\frac{2h}{g}} = \frac{m}{\Delta t}\sqrt{2gh} \qquad \textbf{5-18}$$

الآن يأتي الجزء الاصعب من المسألة: تقدير مدة الاصطدام. إذا كان سطح التصادم صلب ، مثل خرسانة، وإذا كان الشخص يسقط ومفاصله مقفلة بشكل صارم، يقدر زمن الاصطدام بحوالي **10-2** ثانية. يكون الاصطدام أطول بكثير إذا كان الشخص ينحني الركبتين أو يسقط على سطح لين.

من الجدول **5-1**، نجد أن القوة علي وحدة المساحة التي قد تسبب كسور العظام هي **10^9** داين/سم^2. إذا سقط الشخص مستو على كعبيه، قد تكون مساحة التأثير حوالي **2** سم^2. ولذلك، فإن القوة F_B التي من شأنها أن تتسبب كسر هي،

$$F_B = 2\ \text{cm}^2 \times 10^9\ \ \text{dyn/cm}^2 = 2\times 10^9\ \text{dyn}\ \left(4.3\times 10^3\ \text{lb}\right)$$

من المعادلة **5-18**، يعطى الارتفاع الذي سوف ينتج مثل هذه قوة الاندفاع بالعلاقة،

$$h = \frac{1}{2g}\left(\frac{F\Delta t}{m}\right)^2 \qquad \textbf{5-19}$$

بالنسبة لرجل كتلته **70** كجم، يعطى ارتفاع القفزة التي من شأنها أن تولد متوسط قوة اصطدام تسبب الكسر (على افتراض أن $\Delta t = 10^{-2}\ \text{sec}$) بالعلاقة،

$$h = \frac{1}{2g}\left(\frac{F\Delta t}{m}\right)^2 = \frac{1}{2\times 980}\left(\frac{2\times 10^9 \times 10^{-2}}{70\times 10^3}\right) = 41.6\ \text{cm}\ \left(1.37\ \text{ft}\right)$$

إن هذه النتيجة قريبة من النتيجة التي حصلنا عليها من اعتبارات الطاقة. مع ذلك، نلاحظ أن افتراض وجود مساحة تأثير **2** سم^2 هو افتراض معقول لكنه اختياري بعض الشيء. قد تكون المساحة أصغر أو أكبر اعتمادا على طبيعة الهبوط. علاوة على ذلك، افترضنا أن الشخص يهبط وساقيه مستقيمة بشكل صارم. توفر التمارين **2** و**3** أمثلة أخرى لحساب التأثير الضار لقوى الاندفاع.

5-4-3: الوسائد الهوائية في السيارات

أيضا، يمكن حساب قوة التأثير من المسافة التي ينتقلها مركز كتلة الجسم خلال التصادم تحت تأثير قوة الاندفاع. يتضح ذلك من خلال فحص جهاز السلامة المنتفخ المستخدم في السيارات والذي يسمى الوسادة الهوائية (انظر الشكل **5-6**). توضع وسادة هوائية في لوحة القيادة (لوحة التابلوه) في السيارة. في التصادم، تتمدد الوسادة الهوائية فجأة وتلطف تصادم الراكب بالمقود. ينبغي إيقاف حركة الراكب للأمام في حوالي **30** سم من الحركة حتى يتم تجنب التلامس مع الأسطح الصلبة للسيارة. يعطى متوسط التباطؤ (العجلة التناقصية)(انظر المعادلة (**4-6**)) بالعلاقة،

$$a = \frac{v^2}{2s} \qquad \textbf{5-20}$$

الشكل 5-6: جهاز ينتفخ بالهواء للحماية من التصادم (وسادة هوائية).

حيث v هي السرعة الابتدائية للسيارة (والراكب)، و s هي المسافة التي على طولها يحدث التباطؤ. تكون القوة المتوسط التي تنتج التباطؤ هي،

$$F = ma = \frac{m v^2}{2 s} \qquad \textbf{5-21}$$

حيث m هي كتلة الراكب.

في حالة شخص وزنه 70 كجم ومساحة توقف مسموحة تساوي 30 سم، يكون متوسط القوة هو،

$$F = \frac{70 \times 10^3 v^2}{2 \times 30} = 1.17 \times 10^3 \times v^2 \ \text{dyn}$$

مع سرعة تأثير 70 كم/الساعة (43.5 ميلا في الساعة)، يكون متوسط قوة التوقف المطبقة على الشخص هو 4.45×10^6 dyn. إذا تم توزيع هذه القوة بشكل موحد على مساحة $1000\ \text{cm}^2$ من جسم الراكب، فإن القوة المطبقة على كل سم^2 تكون 4.45×10^6 dyn. هذا بالكاد أقل من قوة التحمل المقرة لأنسجة الجسم (انظر الجدول 5-1).

تزداد قوة التوقف الضرورية مع مربع السرعة. عند سرعة تصادم 105 كم، يكون متوسط قوة التوقف هو 10^{10} dyn وتكون القوة لكل سم^2 هي 10^7 dyn. إن مثل هذه القوة ربما تصيب الراكب. في تصميم نظام السلامة في الوسادة الهوائية روعي في العادة تقدح الوسادة الهوائية أثناء

الحوادث، لحماية السائق(الركاب) مخاطر الاصطدام. ولقد تم تصميم هذه الوسادة لتبقى منتفخة فقط لفترة قصيرة. حيث انها ظلت منتفخة، فإنه قد تعيق قدرة السائق على التحكم في السيارة .

5-4-4: الإصابة المصعية (بالرقبة)

تكون عظام الرقبة حساسة نوعا ما، ويمكن أن تتمزق حتى بواسطة قوى معتدلة. لحسن الحظ تكون عضلات الرقبة قوية نسبيا، وقادرة على امتصاص كمية كبيرة من الطاقة. ومع ذلك، إذا كان التصادم مفاجئ، كما هو الحال في التصادم من الخلف، يعجل الجسم في الاتجاه الأمامي بواسطة الجزء الخلفي من المقعد، وعندها تنجذب الرقبة غير المسندة بشدة للخلف بأقصى سرعة بشكل فجائي. هنا لا تستجيب العضلات بسرعة كافية وتمتص كل الطاقة بواسطة عظام الرقبة، مما تسبب في الإصابة المصعية المعروفة (إصابة الرقبة نتيجة الارتداد) (انظر الشكل 5-7).

5-4-5: السقوط من ارتفاع كبير

هناك تقارير عن أناس قفزوا من الطائرات بمظلات فشلت في الفتح وقد نجوا لأنهم سقطوا على ثلج لين. وجد في هذه الحالات أن الجسم يصنع منخفض (حفرة) في سطح الثلج بعمق المتر تقريبا على أثر الاصطدام.

الشكل 5-7: إصابة الرقبة نتيجة الارتداد (الإصابة المصعية).

يمكن التحقق من مصداقية هذه التقارير من حساب قوة الاصطدام التي تؤثر على الجسم أثناء الهبوط. و إذا كانت قوة التأثير المتباطئة تؤثر على مسافة حوالي 1 متر، فإن القيمة المتوسط لهذه

القوة تظل أقل من القيمة التي تسبب إصابة خطيرة حتى عند سرعة الهبوط النهائية (الطرفية) 62.5 متر/ ثانية (140 ميلا في الساعة).

5-4-6: هشاشة العظام الرياضة

في الفصول السابقة من هذا الباب ناقشنا التأثيرات الضارة الممكنة لقوى الاندفاع الكبيرة. في السياق العادي للأنشطة اليومية تخضع أجسامنا في الغالب لقوى متكررة أصغر مثل تأثير القدمين مع الأرض في المشي والجري. السؤال الذي لا يزال لم يحل بشكل كامل هو إلى أي مدى يمكن لهذه القوى الأصغر المتكررة وخصوصا تلك التي تصادف في التمرين والرياضة، أن تلحق بنا الضرر. هشاشة العظام هو الضرر الشائع المشتبه الذي ينجم عن مثل هذا التأثير المتكرر.

هشاشة العظام هو مرض يصيب المفاصل ويتسم بالتهاب وتلف مكونات المفصل ومنها الغضاريف وغشاء الأنسجة. كنتيجة لهذا التلف يفقد المفصل مرونته وقوته ويكون مصحوبا بالألم والتيبس. في نهاية المطاف، قد تبدأ العظام المصابة أيضا بالتآكل. هشاشة العظام هو أحد الأسباب الرئيسية للإعاقة في العمر المتقدم. الركبتين هما أكثر المفاصل تضررا في العادة. بعد سن الـ 65، يصاب حوالي 60٪ من الرجال و75٪ من النساء بهذه الحالة.

على مدى السنوات القليلة الماضية تم عمل عدد من الدراسات لتحديد العلاقة بين ممارسة الرياضة وهشاشة العظام. الاستنتاج المنبثق هو أن الإصابة في المفاصل ترتبط بشدة مع التطور اللاحق لهشاشة العظام. على الأرجح هذا هو السبب الذي يجعل الناس المشاركة في الرياضات ذات التأثير الضار جدا على العظام يكونوا أكثر عرضة بكثير لخطر التهاب المفاصل وهشاشة العظام. وعلاوة على ذلك، يبدو أن هناك مخاطر كبيرة ترتبط مع جري التريض لمسافة 20-40 كم في الأسبوع (~13 إلى 25 ميلا).

من غير المستغرب أن المفصل المصاب من المرجح أن يعاني لاحقا من التآكل والتهتك. كما هو مبين في الباب الثالث، الجدول 3-1، يكون معامل الاحتكاك الحركي (μ_k) للمفصل السليمة حوالي 0.003،

في حين يكون معامل الاحتكاك للعظام غير-المشحمة أعلى بمئات المرات. في العادة، تتراجع قدرة المفصل المصاب إلى حد ما مع عدم التشحيم مما يؤدي زيادة التلف الاحتكاكي وهشاشة العظام. هذه الصورة البسيطة تقود المرء الى أن يتوقع أن تقدم هشاشة العظام سيكون أسرع في مفاصل من يمارسون الجري بشكل منتظم منه في مجموعة المراقبة من غير العدائين. لكن لا يبدو أن هذا هو الحال. يبدو أن هشاشة العظام تتقدم بنفس المعدل تقريبا في كلتا المجموعتين، الامر الذي يشير إلى أن المفاصل تمتلك بعض القدرة على إصلاح ذاتها. لا تزال هذه الاستنتاجات أولية وتخضع لمزيد من الدراسة.

5-5: طيران الحشرات

في هذا الباب، سنقوم بتحليل بعض جوانب طيران الحشرات. على وجه الخصوص، سوف ننظر في طيران التحليق للحشرات، وذلك باستخدام العديد من المفاهيم التي أدخلت في الأبواب السابقة في حساباتنا. في معظم الحالات، كانت المتغيرات المطلوبة للحسابات مأخوذة من المراجع، مع ذلك كان يجب تقدير البعض لأنها لم تكن متاحة بسهولة. يختلف حجم وشكل، وكتلة الحشرات بشكل كبير. سوف نؤدي حساباتنا لحشرة كتلتها **0.1** غرام، وهي في حجم النحلة تقريبا.

بشكل عام، يعتبر تحليق الطيور والحشرات ظاهرة معقدة. يجب أن تأخذ المناقشة الكاملة للطيران في الاعتبار الديناميكا الهوائية فضلا عن تغير شكل الأجنحة في مختلف مراحل الطيران. تم استعراض الاختلافات في حركات الجناح بين الحشرات الكبيرة والصغيرة مؤخرا فقط. المناقشة التالية هي مناقشة مبسطة للغاية ومع ذلك فإنها توضح بعض المفاهيم الأساسية لفيزياء الطيران.

5-5-1: طيران التحليق

تستطيع كثير من الحشرات (وأيضا بعض الطيور الصغيرة) ضرب (تحريك) أجنحتها بسرعة كبيرة ومعها بمكنها التحليق في الهواء فوق بقعة محددة. تكون حركات الجناح في طيران التحليق معقدة. تكون الحاجة للأجنحة لتوفير الاستقرار صعودا وهبوطا فضلا عن قوة الرفع اللازمة للتغلب على قوة

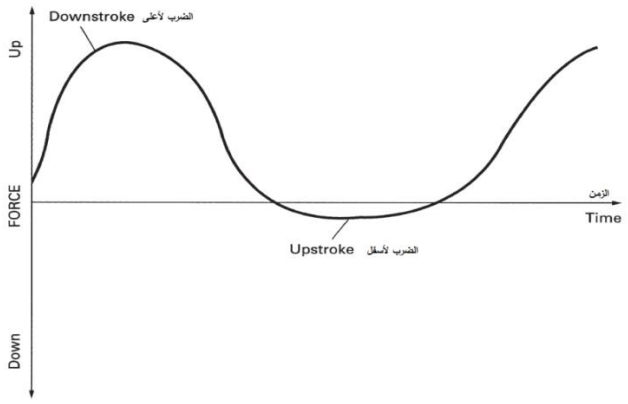
الجاذبية.

تنتج قوة الرفع من ضـرب الأجنحة لأسـفل. عند دفع الأجنحة الهواء المحيط إلى أسـفل، تكون قوة رد الفعل الناتجة من الهواء على الأجنحة لأعلى. تم تصميم أجنحة معظم الحشرات بحيث أثناء الضرب لأعلى تكون القوة على الأجنحة صـغيرة. يبين الشـكل(5-8) قوة الرفع التي تؤثر على الأجنحة أثناء الحركة. أثناء حركة الأجنحة لأعلى، قوة الجاذبية تسقط الحشرة لأسفل. وحركة الجناح لأسفل تنتج قوة صاعدة تعيد الحشرة إلى وضعها الأصلي. بالتالي فإن الوضع الرأسي للحشرات يتأرجح صعودا وهبوطا مع وتيرة ضربات الجناح.

إن المسافة التي تسقطها الحشرة بين ضربات الجناح تعتمد على مدى سرعة ضرب الأجنحة. عندما ترفرف الحشرة بجناحيها بمعدل بطيء، فإن الفاصل الزمني الذي خلاله تكون قوة الرفع صفرا يكون أطول، وبالتالي فإن الحشرة تهبط أكثر مما لو أن جناحيها تضرب بسرعة.

يمكننا بسهولة حساب تردد (وتيرة) ضربات الجناح اللازمة للحشرة لكي تحافظ على الاستقرار الوارد في نطاقها. لتبسـيط العمليات الحسـابية، دعونا نفترض أن قوة الرفع تكون قيمة ثابتة محددة أثناء تحرك الأجنحة إلى أسـفل وتكون الصـفر أثناء تحرك الأجنحة صـعودا. أثناء الفترة الزمنية Δt لضربة الجناح لعلى، تهبط الحشرة لمسافة h تحت تأثير الجاذبية. من المعادلة (4-5)، هذه المسافة تكون،

$$h = \frac{g(\Delta t)^2}{2} \qquad 5\text{-}22$$



الشكل 5-8: القوة في الطيران.

عندئذ فإن الضربة لأعلى تعيد الحشرة إلى موقعها الأصلي. عادة، قد تكون هناك حاجة إلى أن الوضع الرأسي للحشرة يتغير بما لا يزيد عن **0.1** ملم (بمعنى $h = 0.1$ mm). حينئذ يكون الحد الأقصى للزمن المسموح به للسقوط الحر هو

$$\Delta t = \left(\frac{2h}{g}\right)^{1/2} = \sqrt{\frac{2\times10^{-2}\ \text{cm}}{980\ \text{cm/sec}^2}} = 4.5\times10^{-3}\ \text{sec}$$

بما أن فترة حركات الأجنحة لأعلى وحركات الأجنحة لأسفل تكون متساوية تقريبا، فإن الزمن الدوري T لحركة كاملة للجناح صعودا وهبوطا يكون ضعف الزمن Δt ، بمعنى أن،

$$T = 2\Delta t = 9\times10^{-3}\ \text{sec} \qquad \textbf{5-23}$$

f هو تردد ضربات الأجنحة، بمعني عدد ضربات الأجنحة في الثانية الواحدة، يكون،

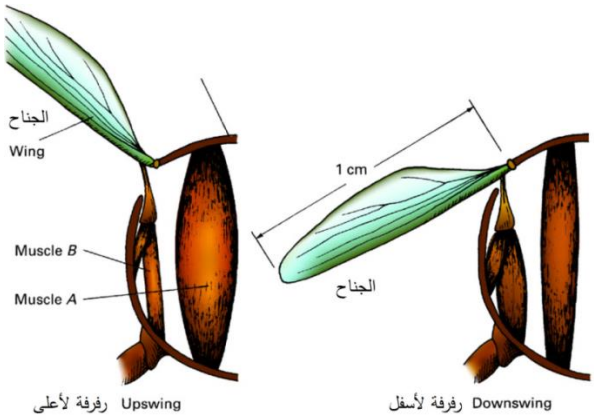
$$f = \frac{1}{T} \qquad \textbf{5-24}$$

في مثالنا هذا التردد يكون **110** ضربة جناح في الثانية الواحدة. إن هذا الرقم نموذجي لتردد ضربات جناح الحشرة، على الرغم من أن بعض الحشرات مثل الفراشات تطير بتردد أقل من ذلك بكثير، حوالي **10** ضربات جناح في الثانية (أنها لا تستطيع أن تحلق)، والحشرات الصغيرة الأخرى تنتج ما يصل إلى **1000** ضربة جناح في الثانية الواحدة. لاستعادة الوضع الرأسي للحشرة أثناء ضربة الجناح لأسفل، يجب أن يكون متوسط القوة لأعلى، F_{av} على جسم الحشرة مساويا لضعف وزن الحشرة. لاحظ أنه نظرا لأن القوة لأعلى على جسم الحشرة تطبق لنصف الزمن فقط، فإن متوسط القوة لأعلى على الحشرة ببساطة يكون وزنها.

5-5-2: عضلات جناح الحشرة

هناك عدة أشكال مختلفة من عضلات الجناح في الحشرات. يبين الشكل(**5-9**)أحد هذه الأشكال، وجدت في اليعسوب، بشكل مبسط للغاية. تكون حركة الجناح محكومة بالعديد من العضلات، التي تم تمثيلها هنا بالعضلات A و B . تنتج حركة لأعلى للأجنحة من تقلص العضلات A ، التي تخفض

الجزء العلوي من الصدروتجعل الأجنحة تتحرك لأعلى. أثناء انقباض العضلة A ، تكون العضلة B مسـترخية. لاحظ أن القوة التي المتولدة بالعضـلة A تطبق على الجناح بواسـطة رافعة من النوع الأول. نقطة الارتكاز هنا هو مفصل الجناح المؤشر بدائرة صغيرة في الشكل (9-5).



الشكل 5-9: عضلات الجناح.

تنتج حركة الجناح لأسـفل من تقلص العضـلة B بينما تكون العضـلة A مسـترخية. هنا يتم تطبيق القوة على الأجنحة عن طريق رافعة من النوع الثالث. في حساباتنا، نفترض أن طول الجناح هو 1 سم.

إن الخصـائص الفيزيائية لعضـلات اجنحة الحشـرات ليسـت امتياز خاص بالحشـرات، حيث مقدار القوة على وحدة المسـاحة من العضـلات وكذلك معدل تقلص العضـلات يكون مثل القيم المقاسـة لعضلات الإنسـان. تكون عضلات جناح الحشـرات ضـرورية لرفرفة الأجنحة بمعدل مرتفع جدا، وقد أصبح هذا ممكنا بواسـطة ترتيب الرافعة للأجنحة. تبين القياسـات أنه أثناء جولة الجناح بحوالي 70 درجة، فإن العضـلات A و B تنقبض بحوالي 2٪ فقط. بفرض أن طول العضـلات B هو 3 ملم، فإن التغير في الطول أثناء انقباض العضـلة هو 0.06 ملم (وهذا يمثل 2% من 3 ملم). ويمكن بيان أنه في ظل هذه الظروف، يجب أن ترتبط العضـلة B بالجناح عند 0.052 ملم من نقطة الارتكاز لتحقيق حركة الجناح المطلوبة(انظر التمرين 9).

إذا كان تردد ضـربات الجناح هو 110 ضـربة جناح في الثانية، فإن زمن حركة واحدة كاملة للأجنحة

صعودا ونزولا يكون 9×10^{-3} ثانية. تأخذ حركة الجناح لأسفل التي تنتجها العضلة B نصف هذه المدة، أو 4.5×10^{-3} ثانية. بالتالي، يكون معدل انقباض العضلة B هو **0.06** ملم مقسوما على 4.5×10^{-3} ثانية، أو **13** ملم/الثانية. لوحظ مثل هذا المعدل لتقلص العضلة بشكل شائع في أنواع عديدة من الأنسجة العضلية.

5-5-3: الطاقة المطلوبة للتحليق

سوف نحسب الآن الطاقة المطلوبة للحفاظ على التحليق. دعونا نفترض مرة أخرى حشرة كتلتها $m = 0.1g$. فإن متوسط القوة، القوة F_{av} ، المطبقة على الجناحين خلال الضرب لأسفل هي $2W$. ونظرا لأن الضغط الممارس بواسطة الأجنحة يكون موزعا بشكل موحد على مجموع مساحة الجناح، فإنه يمكننا أن نفترض أن القوة المتولدة بكل جناح تعمل خلال نقطة واحدة عند القسم الأوسط من الأجنحة. أثناء الضرب لأسفل، يقطع مركز الأجنحة مسافة عمودية d انظر الشكل(**10-5**). يكون إجمالي الشغل الذي تقوم به الحشرة خلال كل ضربة لأسفل هو حاصل ضرب القوة والمسافة. بمعنى،

$$\text{work} = F_{av} \times d = 2W\,d \qquad \textbf{5-25}$$

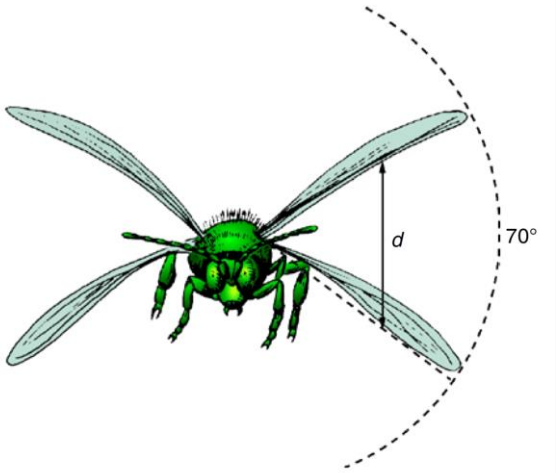
إذا كانت الأجنحة تتأرجح بزاوية **70** درجة، حينئذ في حالتنا مع حشرة لها أجنحة **1** سم طول تكون المسافة d هي **0.57** سم. لذلك، فإن الشغل المبذول خلال كل ضربة بالجناحين هو

$$\text{work} = 2 \times 0.1 \times 980 \times 0.57 = 112 \text{ erg}$$

دعونا الآن نفحص أين تذهب هذه الطاقة. في مثالنا هذا ترتفع كتلة الحشرة مسافة **0.1** ملم خلال كل ضربة لأسفل، لذلك فإن الطاقة E اللازمة لهذه المهمة تكون

$$E = mgh = 0.1 \times 980 \times 10^{-2} = 0.98 \text{ erg} \qquad \textbf{5-26}$$

هذه الطاقة هي جزء ضئيل من مجموع الطاقة المبذولة و من الواضح أن معظم الطاقة تستهلك في عمليات أخرى. التحليل الأكثر تفصيلا للمسألة يبين أن الشغل المبذول بواسطة الأجنحة يتحول في المقام الأول إلى طاقة حركية للأجنحة وللهواء الذي يعجل بواسطة ضرب الأجنحة لأسفل.



الشكل 5-10: حركة جناح الحشرة.

القدرة هي كمية الشغل المبذول في ثانية واحدة. حشرتنا تصنع 110 ضربة لأسفل في الثانية الواحدة. لذلك، فإن إنتاجها للطاقة P يكون،

$$P = 112 \text{ erg} \times 110/\text{sec}$$
$$= 1.23\times10^{4} \text{ erg/sec} = 1.23\times10^{-3} \text{ W} \qquad \textbf{5-27}$$

5-5-4:الطاقة الحركية للأجنحة أثناء الطيران

في حسـاباتنا للطاقة المسـتخدمة في التحليق، قد أهملنا الطاقة الحركية للأجنحة المتحركة. لأجنحة الحشـرات، الخفيفة كما هي، كتلة متناهية. لذلك، عندما تتحرك يكون لها طاقة حركة، KE. ولأن الأجنحة في حركة دوارة، فإن أقصى طاقة حركة لها خلال كل ضربة جناح هي

$$KE = \frac{1}{2} I \omega_{\max}^2 \qquad \textbf{5-28}$$

I هنا هو عزم القصور الذاتي للجناح و $\omega_{\max}$ هو أقصى سرعة زاوية أثناء ضرب الجناح. للحصول على عزم القصـور الذاتي للجناح، نفترض أنه يمكن تقريب الجناح كقضـيب رفيع يرتكز على نهاية واحدة. حينئذ يكون عزم القصور الذاتي للجناح هو،

$$I = \frac{ml^3}{3} \qquad \textbf{5-29}$$

حيث l هو طول الجناح (**1** ســم في حالتنا) و m هي كتلة الجناحين، والتي تكون في العادة 10^{-3} g. يمكن حساب الحد الأقصى للسرعة الزاوية $\omega_{\max}$ من الحد الأقصى للسرعة الخطية لمركز الجناح، $v_{\max}$،

$$\omega_{\max} = \frac{v_{\max}}{l/2} \qquad \textbf{5-30}$$

خلال كل ضربة يتحرك مركز الأجنحة بمتوسط سرعة خطية، v_{av}، تعطى بقسمة المسافة المجتازة بواسطة مركز الجناح، d، على مدة ضربة الجناح، Δt. من مثالنا السابق، $d = 0.57$ cm و $\Delta t = 4.5\times10^{-3}$ sec. بالتالي نجد أن،

$$v_{av} = \frac{d}{\Delta t} = \frac{0.57}{4.5\times10^{-3}} = 127\,\text{cm/sec} \qquad \textbf{5-31}$$

تكون سرعة الأجنحة صفر على حد سواء في بداية ونهاية ضربة الجناح، وبالتالي، يكون الحد الأقصى للسرعة الخطية أعلى من متوسط السرعة. وإذا افترضنا أن السرعة تتغير بشكل دالة جيبيه على طول مسار الجناح، فإن أقصى سرعة تكون ضعفي متوسط السرعة، وبالتالي، يكون الحد الأقصى للسرعة الزاوية هو،

$$\omega_{\max} = \frac{254}{l/2}$$

تكون طاقة الحركة هي،

$$KE = \frac{1}{2}\, I\, \omega_{\max}^2 = \frac{1}{2}\left(10^{-3}\,\frac{l}{3}\right)\left(\frac{254}{l/2}\right)^2 = 43\ \text{erg}$$

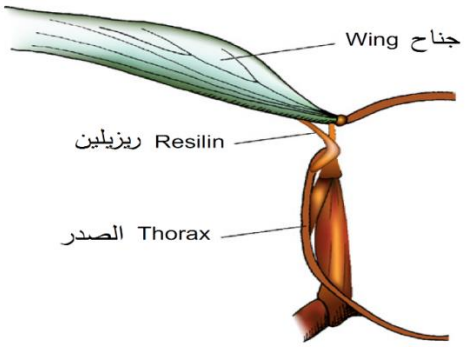
وبما أن هناك اثنين من ضربات الجناح (صعودا وهبوطا) في كل دورة من حركة الجناح، منة، فإن الطاقة الحركية تكون **2** × **43** = **86** أرج. هذا القدر من الطاقة تقريبا يساوي الطاقة المستهلكة في التحليق نفسه.

5-5-5: مرونة الأجنحة

مع تعجيل الأجنحة، فإنها تكتسب طاقة حركة، التي بطبيعة الحال تقدم من العضلات. عندما تباطأ

الأجنحة نحو نهاية الضربة، فإن هذه الطاقة يجب أن تتبدد. أثناء الضربة لأسفل، تبدد طاقة الحركة بواسطة العضلات نفسها وتتحول إلى حرارة. (يتم استخدام هذه الحرارة للحفاظ على درجة الحرارة المطلوبة للجسم للحشرة.) تكون بعض الحشرات قادرة على الاستفادة من طاقة الحركة في حركة الأجنحة لأعلى للمساعدة على الطيران. تحتوي مفاصل جناح هذه الحشرات على بروتين مرن، شبيه بالمطاط يسمى ريزيلين (**resilin**) (الشكل **5-11**). أثناء ضربة الجناح لأعلى، يشد الريزيلين. تتحول طاقة الحركة للجناح إلى طاقة وضع في الريزيلين المشدود، والذي يخزن الطاقة كثيرا مثل زنبرك. عندما يتحرك الجناح إلى أسفل، تتحرر هذه الطاقة وتساعد في الضرب لأسفل.

باستخدام بعض الافتراضات المبسطة، يمكننا حساب كمية الطاقة المختزنة في الريزيلين المشدود. وعلى الرغم من أن الريزيلين يتقوس في شكل معقد، سوف نفترض في حساباتنا أنه عبارة عن قضيب مستقيم له مساحة A وطول l. علاوة على ذلك، سوف نفترض أنه خلال الشد يطيع الريزيلين قانون هوك. هذا ليس صحيحا تماما عندما يكون الريزيلين مشدود بمقدار كبير، وبالتالي كل من المساحة ومعامل يانج يتغير في عملية التمدد.



الشكل **5-11**: الريزيلين في الجناح.

تكون الطاقة المختزنة E في الريزيلين المشدود، من المعادلة **5-9**، على الصورة،

$$E = \frac{1}{2}\frac{YA\Delta l^2}{l} \qquad \textbf{5-32}$$

Y هنا هو معامل يانج للريزيلين، والتي تم قياسه وله القيمة $1.8\times10^7\ \text{dyn/cm}^2$.

في الحالة النموذجية، في حشرة بحجم النحلة، قد يعدل حجم الريزيلين أسطوانة لها الطول $2\times10^{-2}\,\mathrm{cm}$ ومساحة مقطع $4\times10^{-4}\,\mathrm{cm}^2$. سوف نفترض أن طول قضيب الريزيلين يزداد بنسبة **50**٪ عندما يشد. بمعنى أن، $\Delta l = 10^{-2}\ \mathrm{cm}$. لذلك في حالتنا تكون الطاقة المختزنة في ريزيلين كل الجناح هي،

$$E = \frac{1}{2}\,\frac{1.8\times10^{7}\times4\times10^{-4}\times10^{-4}}{2\times10^{-2}} = 18\ \mathrm{erg}$$

تكون الطاقة المختزنة في الجناحين هي **36** أرج، وهي تقارب طاقة الحركة في ضربة الأجنحة لأعلى. تبين التجارب أن ما يصل إلى **80**٪ من طاقة حركة الجناح يمكن أن تختزن في الريزيلين الذي لا يستخدم على الأجنحة فقط، حيث تحتوي أرجل البرغوث الخلفية أيضا على ريزيلين، يخزن الطاقة للقفز (انظر التمرين **3**). تم فحص المزيد من تطبيق تخزين الطاقة في الريزيلين.

ملخص الباب

- المرونة هي صفة فيزيائية تعني قدرة استرداد الجسم لوضعه الأصلي بعد تأثير القوة المؤثرة عليه. والجسم اللدن هو الجسم الذي يحتفظ بالتشوه الحادث فيه، أو الجسم الذي لا يستعيد حالته الأولى بعد زوال القوة المؤثرة.
- يعرف الإجهاد(S) بأنه القوة المؤثرة عموديا على وحدة المساحات من الجسم ويقاس الإجهاد بوحدة داين / سم^2.
- ينقسم الإجهاد إلى ثلاث انواع: إجهاد الشد.إجهاد الكبس. إجهاد القص.
- يعرف الانفعال (S_t)بانه استجابة المادة للقوة المؤثرة عليها وقد يكون تغير في الطول أو الحجم أو الشكل.
- تكون نسبة الإجهاد إلى الانفعال دائما مقدار ثابت يسمى بمعامل يانج Y حيث $Y = \frac{S}{S_t}$.
- ينصّ قانون هوك: "أنّ مقدار التَّغير في طول النّابض- الزّنبرك- يتناسب تناسباً طرديًّا مع مقدار القوّة المؤثرة على النّابض".
- معرفة الحد الأقصى للطاقة التي يمكن لأجزاء الجسم أن تمتص بأمان يسمح لنا تقدير إمكانية الإصابة تحت ظروف مختلفة. تكون القوة المختزنة(الطاقة) في العظمة المضغوطة عند نقطة الكسر هي $E = \frac{1}{2}\frac{YA}{l}(\Delta l)^2$.
- قوة الاندفاع للجسم هي قوة تؤثر في الجسم خلال فترة زمنية قصيرة. والقيمة المتوسط لقوة الاندفاع F_{av} . يمكن الحصول عليها من العلاقة بين القوة والزخم $F_{av} = \frac{mv_f - mv_i}{\Delta t}$.
- يعطى متوسط قوة التصادم (التأثير) بالعلاقة $F = \frac{W}{2}\sqrt{\frac{2h}{g}} = \frac{m}{\Delta t}\sqrt{2gh}$.
- عند التصادم، تتمدد الوسادة الهوائية فجأة وتلطف تصادم الراكب بالمقود. ينبغي إيقاف حركة الراكب للأمام في حوالي **30** سم من الحركة حتى يتم تجنب التلامس مع الأسطح الصلبة للسيارة.

- تكون عظام الرقبة حساسة للتصادمات نوعا ما، ويمكن أن تتمزق حتى بواسطة قوى معتدلة. تنتج الإصابة المصعية عندما يكون هناك تصادم مفاجئ يجعل الرقبة غير المسندة ترجع بشدة للخلف بأقصى سرعة بشكل فجائي.
- هشاشة العظام هو مرض يصيب المفاصل ويتسم بالتهاب وتلف مكونات المفصل ومنها الغضاريف وغشاء الأنسجة. تلف مكونات المفصل يفقده مرونته وقوته ويكون مصحوبا بالألم والتيبس. في نهاية المطاف، هشاشة العظام هو أحد الأسباب الرئيسية للإعاقة في العمر المتقدم. و الركبتين هما أكثر المفاصل تضررا في العادة. هشاشة العظام سيكون أسرع في مفاصل من يمارسون الجري بشكل منتظم منه في مجموعة المراقبة من غير العدائين.
- يعتبر تحليق الطيور والحشرات ظاهرة معقدة. يجب أن تأخذ المناقشة الكاملة للطيران في الاعتبار الديناميكا الهوائية فضلا عن تغير شكل الأجنحة في مختلف مراحل الطيران.
- تستطيع كثير من الحشرات ضرب أجنحتها بسرعة كبيرة ومعها بمكنها التحليق في الهواء فوق بقعة محددة.
- تكون حركات جناح الحشرات في طيران التحليق معقدة، حيث تكون الحاجة للأجنحة لتوفير الاستقرار صعودا وهبوطا فضلا عن قوة الرفع اللازمة للتغلب على قوة الجاذبية.
- تم تصميم أجنحة معظم الحشرات بحيث أثناء الضرب لأعلى تكون القوة على الأجنحة صغيرة. قوة الرفع التي تؤثر على الأجنحة أثناء الحركة. أثناء حركة الأجنحة لأعلى، قوة الجاذبية تسقط الحشرة لأسفل. وحركة الجناح لأسفل تنتج قوة صاعدة تعيد الحشرة إلى وضعها الأصلي. بالتالي فإن الوضع الرأسي للحشرات يتأرجح صعودا وهبوطا مع وتيرة ضربات الجناح. وعندما تتباطأ الأجنحة في نهاية الضربة، فإن هذه الطاقة يجب أن تتبدد. أثناء الضربة لأسفل، تبدد طاقة الحركة بواسطة العضلات نفسها وتتحول إلى حرارة. (يتم استخدام هذه الحرارة للحفاظ على درجة الحرارة المطلوبة للجسم للحشرة.) .
- تحتوي مفاصل جناح الحشرات على بروتين مرن، شبيه بالمطاط يسمى ريزيلين. أثناء ضربة

الجناح لأعلى، يشـد الريزيلين. تتحول طاقة الحركة للجناح إلى طاقة وضـع في الريزيلين المشـدود، والـذي يخزن الطاقـة كثيرا مثل زنبرك. عنـدما يتحرك الجنـاح إلى أسـفـل، تتحرر هـذه الطاقـة وتساعد في الضرب لأسفل.

اختبر معلوماتك

تخير الإجابة الصحيحة للأسئلة التالية — الاجابة

1- عند تطبيق قوة على الجسم، يتشوه شكل وحجم الجسم. اعتمادا على كيفية : ( )

أ) الضغط ب)الحجم ج)(أ&ب) د) تطبيق القوة

2- يؤدي التشوه الحادث لجسم نتيجة تطبيق قوة عليه إلى أن الجسم : ( )

أ)يشدب)ينضغط ج) يلتوي د)كل ما سبق

3- قدرة استرداد الجسم لوضعه الأصلي صفة فيزيائية تسمي بـ : ( )

أ)المرونة ب)الحجم ج)الضغط د)خلاف ذلك

4- الجسم الذي لا يستعيد حالته الأولى بعد زوال القوة المؤثرة يسمى الجسم: ( )

أ)المرن ب) المتوترسطحيا ج)(أ&ب) د)اللدن

5- تسمى القوة المؤثرة عموديا على وحدة المساحات من الجسم: ( )

أ) المرونة ب) الانفعال ج)الإجهاد د)خلاف ذلك

6- يقاس الإجهاد (s)بوحدة داين / سم2 ويعطى من العلاقة: ( )

أ) F/L ب) A/F ج) F/A د) خلاف ذلك

7- إجهاد الشد وفيه تؤثر قوتان متساويتان بالمقدار متعاكستان بالاتجاه وعلى نفس خط التأثير: ( )

أ) تقعان على نهايتي الجسم ب) على نفس خط التأثير ج) (أ&ب) د) خلاف ذلك

8- إجهاد الكبس وفيه تؤثر قوتان تعملان على ضغط الجسم و متقابلتان وتكونان: ( )

أ) متساويتان بالمقدار ب) نفس الاتجاه ج) تقصير طوله د)جميع ما سبق

9- القوة المماسية للسطح والمؤثرة على وحدة المساحات تعرف بانها إجهاد: ( )

أ) الكبس ب) القص ج)الشد د) خلاف ذلك

10- تعرف استجابة المادة للقوة المؤثرة عليها سواء تغير في الطول أو الحجم أو الشكل بـ: ( )

أ) الإجهاد ب) الانفعال ج)المرونة د) خلاف ذلك

11- يعطى الانفعال بالعلاقة $S_t = \Delta l / l$ ويقاس بوحدة: ( )

أ) داين/سم ب) داين/سم^2 ج) داين/سم^4 د)خلاف ذلك

12- نسبة الإجهاد إلى الانفعال تساوي مقدار ثابت وهذا يعرف بقانون: ( )

أ) هوك ب) نيوتن ج) الإجهاددد)الانفعال

13- يتناسب الجهاد مع الانفعال ويسمى ثابت التناسب بمعامل يانج ووحداته هي: ( )

أ) داين/سم ب) داين/سم^2 ج) داين/سم^4 د)خلاف ذلك

14- تكون القوة المختزنة(الطاقة) في العظمة المضغوطة عند نقطة الكسر هي: ( )

أ) $F_B = \frac{YA}{l}\Delta l$ ب) $F_B = S_B A$ ج) (أ&ب) د) خلاف ذلك

15- من الممكن القفز بسلام من ارتفاع أكبر بكثير من 56 سم إذا كانت مفاصل الجسم : ( )

أ) مستقيمة ب) منحنية ج) هلالية د)خلاف ذلك

16- قوة التصادم تكون دالة في الزمن تبدأ عند زمن الصفر وتزداد نحو القيمة القصوى، ثم تنخفض مرة أخرى إلى: ( )

أ) النصف ب) إلى الصفر ج) الضعف د)خلاف ذلك

17- يمكن حساب متوسط قوة الاندفاع F_{av} ، من العلاقة بين القوة والزخم بالعلاقة: ( )

أ) $\frac{mv_i - mv_f}{\Delta t}$ ب) $\frac{mv_f - mv_i}{\Delta t}$ ج)(أ أو ب) د)خلاف ذلك

18- إذا كانت مدة اصطدام هي 2×10^{-3} ثانية والتغير في الزخم هو 2 كيلوجرام. متر/ثانية، فإن متوسط القوة التي تؤثر أثناء الاصطدام هي: ( )

أ) 110 N ب) 1.1×10^2 N ج) (أ&ب) د)خلاف ذلك

19- في حالة اصطدام الأجسام الصلبة يكون زمن تصادم: ( )

أ) قصير جدا ب) طويل ج) متوسط د)خلاف ذلك

20- يكون السقوط في الرمال الناعمة أقل ضررا من السقوط على سطح خرساني صلب لأنها تعتبر وسط: ( )

أ) مرن ب) لين ج) (أ&ب) د)خلاف ذلك

21- يمكن تفادي التصادم مع مقود السيارة وتفادي تلامس الأسطح الصلبة بواسطة: ( )

أ) الفرامل ب) الوسادة الهوائية ج) (أ&ب) د)خلاف ذلك

22- عندما يحدث التباطؤ. تكون القوة المتوسط التي تنتج التباطؤ تعطى بالعلاقة: ( )

أ) $F = ma$ ب) $F = mv^2/2s$ ج) (أ&ب) د)خلاف ذلك

23- اذا كان وزن شخص 70 كجم وله مساحة توقف مسموحة 30 سم، يكون متوسط قوة تباطئه مع سرعة تأثير 70 كم/الساعة مقدرة بالداين هي: ( )

أ) 445×10^4 ب) 0.445×10^7 ج) 4.45×10^6 د)كل ما سبق

24- في تصميم نظام السلامة في الوسادة الهوائية روعي في العادة أن تقدح الوسادة الهوائية أثناء الحوادث لتبقى منتفخة فقط لفترة قصيرة وذلك حتى: ( )

أ) تمنع الاصطدام ب) لا تعيق القيادة ج) (أ&ب) د)خلاف ذلك

25- لا تستجيب عضلات الرقبة غير المسندة بسرعة كافية وعندما تنجذب بأقصى سرعة بشكل فجائي وبشدة للخلف فإن هذا الأمر يسبب: ( )

أ) اندفاع للأمام ب) هبوط حاد في الدورة الدموية ج) الإصابة المصعية د)خلاف ذلك

26- هشاشة العظام هو مرض يصيب المفاصل ويتسم بالتهاب وتلف مكونات المفصل ومنها الغضاريف وغشاء الأنسجة وكنتيجة لهذا التلف فان العظام: ( )

أ) تفقد مرونته ب) تفقد قوته ج) تتألم د)جميع ما سبق

27- ترتبط الإصابة في المفاصل ارتباطا شديدا بمرض: ( )

أ) هشاشة العظام ب) الإصابة المصعية ج) (أ&ب) د)خلاف ذلك

28- تكثر الإصابة بمرض هشاشة العظام بين الرياضيين الذين يزاولون رياضات عنيفة بسبب كثرة تعرضهم لـ: ( )

أ) التهاب المفاصل ب) الإصابة المصعية ج) (أ&ب) د)خلاف ذلك

29- تعمد الحشرات عند الطيران إلى أن تدفع بأجنحتها الهواء المحيط إلى أسفل، لتكون قوة رد الفعل الناتجة من الهواء على الأجنحة: ( )

أ) قوية ب) متوسطة ج) (أ&ب) د)لأعلى

30- يتأرجح الوضع الرأسي للحشرات صعودا وهبوطا مع وتيرة ضربات الجناح لأنها تخضع لقوتين قوة الجاذبية لأسفل وقوة حركة الجناح: ( )

أ) لأسفل ب) لأعلى ج) (أ&ب) د)خلاف ذلك

31- عندما ترفرف الحشرة بجناحيها بمعدل بطيء، فإن الفاصل الزمني الذي خلاله تكون قوة الرفع صفرا يكون أطول، وبالتالي فإن الحشرة: ( )

أ) تصعد ب) تتأرجح ج) تهبط د)خلاف ذلك

32- يمكن حساب المسافة h التي تهبط بها الحشرة تأثير الجاذبية من العلاقة: ( )

أ) $h = g\Delta t/2$ ب) $h = g(\Delta t)^2/2$ ج) $h = g(\Delta t)^2/4$ د)خلاف ذلك

33- إذا كانت الأجنحة تتأرجح بزاوية 70 درجة حينئذ في حالة حشرة لها أجنحة 1 سم طول و المسافة d هي 0.57 سم فإن الشغل المبذول خلال كل ضربة بالجناحين هو: ( )

أ) 121 erg ب) 122 erg ج) 112 erg د)خلاف ذلك

34- القدرة هي كمية الشغل المبذول في: ( )

أ) وحدة الزمن ب) 100ثانية ج) ثانية واحدة د)(أ&ج)

35- يمكن حساب أقصى طاقة حركة لحشرة طائرة خلال كل ضربة جناح من العلاقة: ( )

أ) $KE = \frac{1}{2} I \omega_{\max}$ ب) $KE = \frac{1}{2} I \omega_{\max}^2$ ج) الطردية د)العكسية

36- يمكن حساب عزم القصور الذاتي للجناح من العلاقة: ( )

أ) $I = m^3 l^3/3$ ب) $I = m^3 l/3$ ج) $I = ml^3/3$ د)خلاف ذلك

37- تكون بعض الحشرات قادرة على الاستفادة من طاقة الحركة في حركة الأجنحة لأعلى للمساعدة على الطيران وذلك لأن مفاصل اجنحتها تحتوي على بروتين يسمى: ( )

أ) المطاط ب) المرن ج) ريزيلين د)كل ما سبق

التمارين

1- بفرض أن عداء وزنه **50** كيلوجرام تعثروسقط على يده الممدود. إذا امتصت عظام ذراع واحدة كل الطاقة الحركية (بإهمال طاقة السقوط)، فما هي أقل سرعة للعداء قد تتسبب في كسر عظم الذراع؟ افترض أن طول الذراع هو **1** متر، وأن مساحة العظام هي **4** سم^2.

2- كرر حسابات التمرين **1** مستخدما اعتبارات قوة الاندفاع. افترض أن فترة الاصطدام (التأثير) هى **10-2** ثانية وان مساحة العظام هي **4** سم^2. كرر الحساب مع مساحة اصطدام **1** سم^2.

3- من أي ارتفاع يمكن لجسم ساقط وزنه **1** كجم ان يسبب كسر في الجمجمة؟ أفترض أن هذا الجسم صلب، أن مساحة الاتصال مع الجمجمة هي **1** سم^2، وأن مدة التأثير هي **10**$^{-3}$ ثانية.

4- أحسب مدة التصادم بين الراكب وجهاز الوسادة الهوائية الذي تم مناقشته في هذا الباب.

5- في حادث تصادم سيارة ضربت بسيارة اخرى من الخلف فتسارعت السيارة الاولى الى السرعة في زمن مقداره **10**$^{-2}$ ثانية. ما هي أقل سرعة عندها يوجد خطر الإصابة المصعية نتيجة الارتداد المفاجئ؟ استخدام البيانات الواردة في النص، وافترض أن مساحة الفقرة العنقية هي **1** سم**2** وأن كتلة الرأس هي **5** كجم.

6- احسب متوسط قوة تأثير التباطء عند يتباطأ شخص ساقط بسرعة نهائية مقدارها **62.5** متر/الثانية إلى سرعة الصفر خلال مسافة **1** متر. افترض أن كتلة الشخص هي **70** كيلوجرام، وأنه يهبط على ظهره بحيث تكون مساحة التأثير هي **0.3** متر مربع. هل هذه القوة تكون دون مستوى الإصابة المصعية الخطيرة؟ (بالنسبة لأنسجة الجسم، تكون قوة الكسر هي).

7- ملاكم يضرب كيس وزنه **50** كجم. بمجرد أن تضرب قبضة يده الكيس يسافر الكيس بسرعة **7**

متر/الثانية. ونتيجة لضرب الكيس، تسكن يده بشكل كامل. على افتراض أن الجزء المتحرك من يده يزن **5** كجم، احسب سرعة ارتداد وطاقة حركة الكيس. هل الطاقة الحركية تكون محافظة في هذا المثال؟ ولماذا؟ (استخدم مبدأ حفاظ الزخم.)

8- احسب القوة على جسم الحشرة التي يجب أن تتولد أثناء ضرب الجناح لأسفل للحفاظ على التحليق.

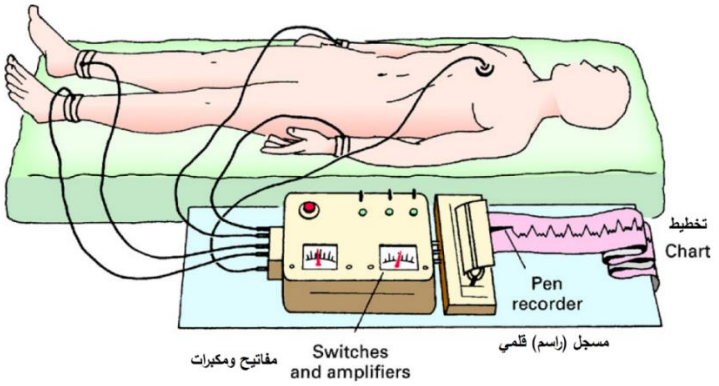
9- بالإشارة إلى المناقشة الموجودة في النص، احسب نقطة تعلق العضلة مع الجناح المبين في الشكل **5-9**. افترض أن العضلة تكون عمودية على الجناح على طول حركة الجناح.

10- بفرض أن شكل الريزيلين في كل رجل من أرجل البرغوث يعادل أسطوانة لها الطول 2×10^{-2} cm ومساحة مقطع 4×10^{-4} cm. إذا كان التغيير في طول الريزيلين هو $\Delta l = 10^{-2}$ cm ، احسب الطاقة المختزنة في الريزيلين. ملحوظة: وزن البرغوث 5×10^{-3} gm ، احسب إلى أي ارتفاع يمكن أن يقفز البرغوث باستخدام الطاقة المختزنة فقط؟

11- بفرض أن شخص يزن **50** كيلوجرام مجهز بوسائد ريزيلين في مفاصله. ما الحجم المطلوب لهذه الوسائد حتى تختزن ما يكفي من الطاقة للقفز لارتفاع نصف متر؟ افترض أن الوسادة تكون مكعبة الشكل و $\Delta l = \frac{1}{2} l$.

6-6-1 مخطاط كهربية القلب

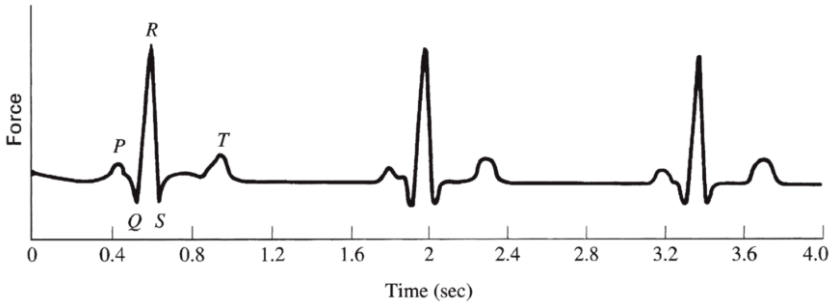
مخطاط كهربية القلب (جهازرسم القلب، ECG) هو أداة تسجل الجهود السطحية المصاحبة للنشاط الكهربي للقلب. تتصل الجهود السطحية إلى الجهاز بواسطة اتصالات معدنية تسمى أقطاب مثبتة في أجزاء مختلفة من الجسم. في العادة يتم تعليق الأقطاب على الأطراف الأربعة، وعلى القلب. يتم قياس الجهود بين قطبين في نفس الوقت. (انظر الشكل 6-16).



الشكل 6-16: مخطاط كهربية القلب.

يبين الشكل 6-17 إشارة طبيعية نموذجية سجلت بين قطبين. يتم تحديد السمات الرئيسية لهذا الشكل الموجي بأربعة أحرف هي P، Q، R، S، وT. يتغير شكل هذه السمات حسب مكان الأقطاب. يمكن للمراقب المدرب تشخيص التشوهات بأخذ الانحرافات عن أشكالها الطبيعية في الاعتبار.

يمكن شرح شكل الموجة المبينة الشكل 6-17 بدلالة فعل ضخ القلب الموصوف في الباب الثامن. يبدأ الانكماش الإيقاعي (rhythmic) للقلب بواسطة ناظمة قلبية (جهاز تنظيم ضربات القلب)، وهي عبارة عن مجموعة متخصصة من الخلايا العضلية الواقعة بالقرب من أعلى الأذين الأيمن. مباشرة بعد بدأ عمل جهاز تنظيم ضربات القلب، ينتشر جهد الفعل خلال الأذينين. ترتبط الموجة P بالنشاط الكهربي الذي يسبب انكماش في الأذينين. تتولد الموجة QRS من جهد الفعل المصاحب لانكماش البطينين. تتسبب الموجة T من التيارات التي تعمل على إحداث انتعاش البطين للدورة المقبلة.

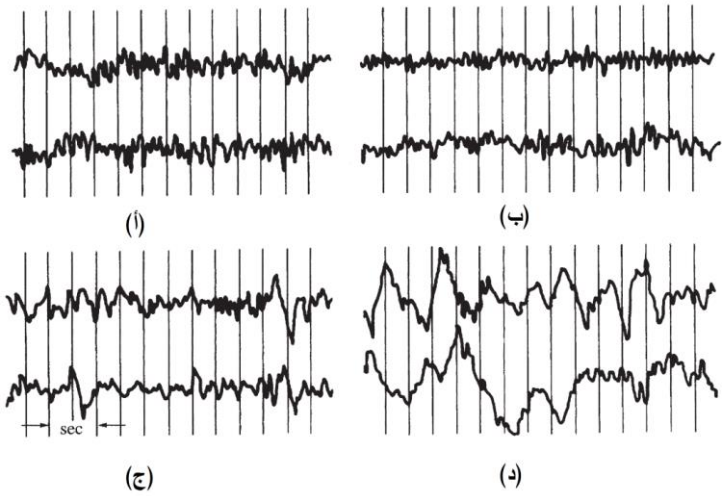


الشكل 6 -17: مخطط كهربية القلب.

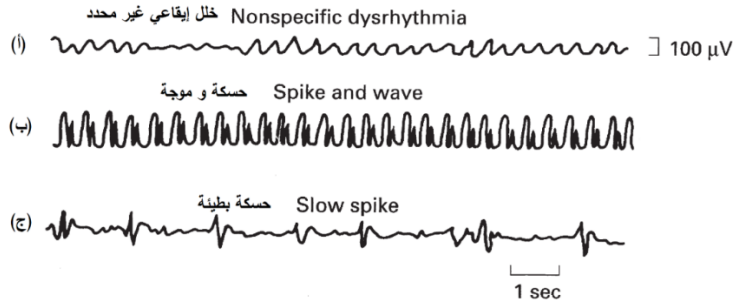
6 -6-2 مخطاط كهربية الدماغ

إن مخطاط كهربية الدماغ (جهازرســم المخ، Electroencephalograph (EEG) يقيس الجهود على طول ســطح فروة الرأس. هنا، مرة أخرى، تعلق الأقطاب على الجلد في مواقع مختلفة على طول فروة الرأس. تســجل الأداة الجهود بين أزواج من الأقطاب الكهربية. تكون إشــارات مخطاط كهربية الدماغ أكثرتعقيدا وأصــعب تفسـيرا من تلك التي ينتجها مخطاط القلب. إن إشــارات الـــ EEG هي بالتأكيد نتيجة لنشـــاط عصــبي جماعي في الدماغ. مع ذلك، وحتى الآن لم يكن من الممكن ربط جهود EEG بشـــكل واضــح بوظائف محددة في الدماغ. مع ذلك، من المعروف أن أنواع معينة من الأنماط تكون ذات صلة بنشاطات محددة، كما هو موضح في الشكل 6 -18.

إن مخطط كهربية الدماغ مفيد في تشــخيص مختلف اضــطرابات الدماغ. تتميز نوبات الصــرع، على سبيل المثال، بشذوذ واضح لمخططات كهربية الدماغ (انظر الشكل 6 -19). يمكن في كثير من الأحيان تحديد مكان أورام المخ بالدراســة المتأنية لجهود مخططات الدماغ على طول كامل محيط فروة الرأس.



الشكل 6 -18: جهود الEEG بين زوجين من الأقطاب: (أ) في حالة تنبيه، (ب) في حالة نعاس، (ج) في حالة نوم خفيف، (د) في حالة نوم العميق.



الشكل 6 -19: نماذج تخطيط رسم مخ غير طبيعية. النمط (ج) نوبات صرع صغيرة نموذجية.

6 -7 الآثار الفسيولوجية للكهرباء

إن الصـدمة المؤلمة التي تنتجها الكهرباء معروفة جدا لمعظم الناس. تنتج الصـدمة من مرور التيار عبر الجسـم. للتيار الكهربي اثنين من التأثيرات على أنسـجة الجسـم. التيار يحفز الأعصـاب والألياف العضلية، التي تنتج ألم وتقلص العضلات، كما أنها ترفع درجة حرارة الأنسجة من خلال تبديد الطاقة الكهربائية. إذا كانت كل من هذه الآثار مكثفة بما فيه الكفاية فإنها يمكن أن تسبب إصابات شديدة أو الموت. ولكن عندما يتم تطبيق التيار الكهربائي بطريقة مسـيطر عليها، سـواء في التدفئة وتنشـيط

العضلات فإن هذا يمكن أن يكون مفيدا. على سبيل المثال، التدفئة الموضعية للأنسجة بواسطة تيارات كهربائية بتردد-عالي تشجع على الشفاء كثيرا بنفس الطريقة التي يستخدمها الإنفاذ الحراري بالموجات فوق الصوتية.

تخضع كمية التيار المتدفق عبر الجسم لقانون أوم. بالتالي، فإنه يعتمد على جهد المصدر والمقاومة الكهربية للجسم. إن أنسجة الجسم تكون موصلة جيدة نسبيا. ونظرا لأن أكثر المقاومة الكهربية تكون في الجلد، فإن خطر حدوث الصدمة الكهربية يزداد إذا كان الجلد الرطب في نقطة الاتصال.

يبدأ معظم الناس بالشعور بالتيار الكهربي عندما تصل قوته إلى حوالي 500 ميكرو أمبير. إن تيار بقوة 5 ملي أمبير يسبب الألم، والتيارات الأكبر من حوالي 10 ملي أمبير تولد تقلصات تشنجية مؤكده لبعض العضلات. هذا الوضع يكون خطير لأنه في ظل هذه الظروف لا يمكن للشخص التخلص من الموصل الذي يعطي التيار ليمر في جسده.

إن الدماغ، عضلات الجهاز التنفسي، والقلب كلها تتأثر بشكل جدي بالتيارات الكهربية الكبيرة. إن تدفق تيارات في حدود بضع مئات من الملي أمبير عبر الرأس تولد تشنجات تشبه الصرع. والتيارات في هذا المدى تستخدم في العلاج بالصدمة الكهربية لعلاج بعض الاضطرابات النفسية.

إن تدفق تيارات في حدود بضعة أمبيرات في منطقة القلب يمكن أن تسبب الوفاة في غضون دقائق قليلة. وفي هذا الصدد، في كثير من الأحيان، يكون التيار الكبير بقوة حوالي 10 أمبير أقل خطورة من التيار 1 أمبير. عندما يمر التيار الأصغر خلال القلب، فإنه قد يكزز (يشنج) جزء فقط من القلب، وبالتالي يسبب عدم الاتساق (عدم التزامن) في عمل القلب، وهذا ما يسمى بحالة الرجفان(fibrillation). تصبح تحركات القلب غير منتظمة وغير فعالة في ضخ الدم. لا يتوقف الرجفان في العادة عند إزالة مصدر التيار. يسبب التيار الكبير التشنج الكلى للقلب، وعند توقف التيار القلب قد يستأنف القلب نشاطه الإيقاعي الطبيعي.

غالبا ما يحدث الرجفان أثناء النوبة القلبية، وخلال العملية الجراحية في القلب. يمكن استخدام تأثير تشنجات (كزاز) تيارات كبيرة في عمل تزامن للقلب. يسمى الجهاز السريري المصمم لهذا الغرض

مزيل-الرجفان(**defibrillator**). يشـحن مكثف في هذا الجهاز إلى حوالي **6000** فولت ويخزن حوالي **200** جول من الطاقة. يتم وضـع قطبين متصـلين بالمكثف من خلال مفتاح على الصـدر. عند إغلاق المفتاح، يفرغ المكثف الشـحنة بسـرعة خلال الجسـم. تسـتمر نبضـة التيار حوالي **5** ميللي ثانية، ويتم خلالها كز (عمل رجفة وتشـــنج) القلب (انظر التمرين **1**). بعد النبضـــة قد يســـتأنف القلب النبض الطبيعي. في كثير من الأحيان يجب عمل صدمة قلب عدة مرات قبل أن يعود للتزامن.

يمكن اسـتخدام التيار الكهربي أيضـا في تحفيز العضـلات بلطف أكثر. ذكرنا سـابقا أن التحفيز الكهربي للعضـــلات الهيكلية المشـــلولة يســـتخدم للحفاظ على إيقاعها. يمكن قدح عضـــلات القلب بطريقة مشابهة.

في بعض أمراض القلب، تتوقف خلايا تنظيم ضـــربات القلب التي تتحكم في توقيت الضـــربات عن العمل بشكل صحيح، وتكون أجهزة ضبط نبضات القلب الإلكترونية مفيدة جدا. جهاز تنظيم ضربات القلب الإلكتروني هو في الأساس مولد نبضات ينتج نبضات دورية قصيرة التي تبدأ وتسيطر على وتيرة ضـرب القلب. يمكن جعل الجهاز صـغير بما يكفي ليزرع جراحيا. للأسـف، للبطارية التي تغذي الجهاز ضبط نبضات القلب زمن عمر محدود ولذلك يجب استبدالها كل بضع سنوات.

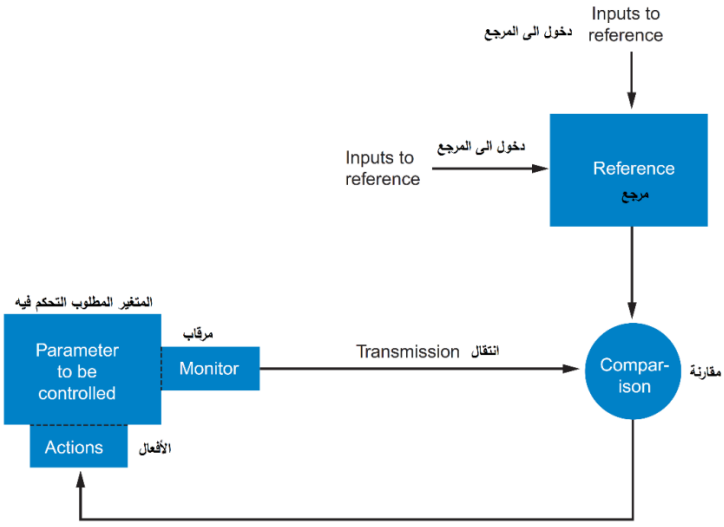
6 -8 أنظمة التحكم

العديد من العمليات في المنظومات الحية يجب أن يســيطر عليها لتلبي متطلبات الكائن الحي. لقد تعرضـنا في مناقشـاتنا السـابقة بالفعل لبعض الأمثلة للعمليات المحكومة. كانت السـيطرة على درجة حرارة الجســـم ونمو العظام حالتين من هذه الأمثلة حيث كان يجب تنظيم عمليات مختلفة لتحقيق الشرط المطلوب. في هذا الفصل، سنقوم بشرح وسيلة عامة مفيدة لتحليل أنظمة التحكم هذه وذلك بشيء من الاختصار.

يبين الشـكل **6 -20** سـمات مشـتركة في جميع أنظمة التحكم. يمثل كل قالب وظيفة مميزة ضمن نظام التحكم. تتكون عملية التحكم من:

1- المتغير المطلوب التحكم فيه. قد يكون هذا درجة حرارة الجلد، أو حركة العضلات، أو معدل ضربات القلب، أو حجم العظام، وهلم جرا.

2- وسيلة رصد المتغير ونقل المعلومات حول حالته إلى بعض مركز صنع القرار. يتم تنفيذ هذه المهمة عادة بواسطة العصبونات الحسية.



الشكل 6 -20: التحكم في العمليات الحيوية.

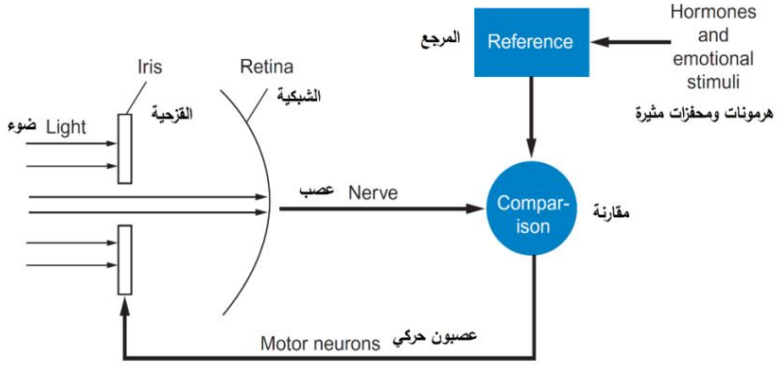
3- قيم مرجعية مطلوبة تستجيب لها المتغيرات المحكومة. قد تكون القيمة المرجعية في النظام العصبي المركزي في شكل قرار، على سبيل المثال، حول مكان اليد. في هذه الحالة، تكون القيمة المرجعية قابلة للتغير وتوضع بواسطة الجهاز العصبي المركزي. العديد من القيم المرجعية لوظائف الجسم تكون تلقائية، ومع ذلك، فهي لا تخضع للسيطرة الإدراكية للمخ.

4- طريقة لمقارنة حالة المتغير مع القيمة المرجعية ولنقل تعليمات للمخ لجعل القيمتين في توافق. يمكن للتعليمات أن تنتقل بواسطة نبضات عصبية أو في بعض الحالات عن طريق رسل كيميائية تسمى هرمونات، والتي تنتشر خلال الجسم وتتحكم في وظائف الأيض المختلفة.

5- آلية لترجمة الرسائل إلى أفعال تغير حالة المتغير المحكوم. في حالة مكان اليد، على سبيل

المثال، يكون هذا عبارة عن انكماش مجموعة من الألياف العضلية.

الآن سنوضح هذه المفاهيم مع مثال ملموس للسيطرة على شدة الضوء الواصل إلى شبكية العين (انظر الشكل 6-21). يدخل الضوء للعين خلال ما يسمى بؤبؤ العين، والذي يكون عبارة عن فتحة مظلمة في وسط القزحية. (القزحية هي القرص الملون في مقلة العين.) يقل حجم الفتحة مع زيادة شدة الضوء. وهكذا، فإن القزحية تعمل إلى حد ما مثل الحجاب الحاجز الآلي في الكاميرا. بوضوح يجب أن يخضع هذا العمل لنظام تحكم.



الشكل 6-21: التحكم في شدة الضوء الواصل إلى الشبكية.

يتحول الضوء الواصل إلى شبكية العين إلى نبضات عصبية، والتي تتولد بتردد يتناسب مع شدة الضوء. في مكان ما على طول الجهاز العصبي للرؤية، يتم تفسير هذه المعلومات ومقارنتها مع قيمة مرجعية محددة مسبقا ومخزنة على الأرجح في الدماغ. يمكن تغيير المرجع نفسه عن طريق هرمونات ومختلف المحفزات المثيرة. تنتقل نتيجة هذه المقارنة عن طريق نبضات عصبية إلى العضلات القزحية التي حينئذ تقوم بضبط حجم الفتحة كاستجابة لهذه الإشارة.

6-9 التغذية المرتدة

لسنوات عديدة قام المهندسون بدراسة الأنظمة الميكانيكية والكهربية التي لها الخصائص العامة لأنظمة التحكم في الكائنات البيولوجية. منظمات الجهد، التحكم في السرعة، ومنظمات درجة الحرارة

وجميعا لديها سمات مشتركة مع أنظمة التحكم البيولوجية. طور المهندسون تقنيات لتحليل وتوقع سلوك أنظمة التحكم، وكانت هذه التقنيات مفيدة في دراسة النظم البيولوجية أيضا.

عادة ما يتم إنجاز تحليل المهندسين لهذه النظم بدلالة دخل وخرج. في مثال التحكم في شدة الإضاءة، يكون الدخل هو الضوء الواصل إلى شبكية العين، والخرج يكون استجابة شبكية العين للضوء. النظام نفسه هو الذي ينتج الخرج كاستجابة للدخل. في حالتنا، النظام هو شبكية العين والدوائر العصبية المرتبطة بها. الهدف من نظام التحكم للقزحية هو الحفاظ على خرج ثابت قدر الإمكان.

أهم نقطة للملاحظة حول أنظمة التحكم مثل النظام المبين في الشكل **6 -21** هي أن الخرج يؤثر في الدخل نفسه، ومثل هذه الأنظمة تسمى أنظمة التغذية المرتدة (لأنه يتم تغذية معلومات حول الخرج إلى الدخل). يقال إن للنظام تغذية مرتدة سلبية عندما تعارض التغذية التغير في الدخل ويقال ان للنظام تغذية مرتدة إيجابية إذا كانت التغذية تقوي التغير في الدخل. التحكم في الضوء المبين في الشكل **6 -21** هو تغذية مرتدة سلبية بسبب أن الزيادة في شدة الضوء، تسبب ضيق في فتحة القزحية وبالتالي انخفاض مقابل في شدة الضوء الواصل إلى شبكية العين. إن تنظيم درجة حرارة الجسم عن طريق التعرق أو الارتجاف هو مثال آخر للتغذية المرتدة السلبية، في حين أن الشهوة الجنسية هي مثال للتغذية المرتدة الإيجابية. بشكل عام، التغذية المرتدة السلبية تحافظ على استجابة النظام عند مستوى ثابت نسبيا. لذلك، فإن معظم أنظمة التغذية المرتدة البيولوجية هي في الواقع تكون سلبية.

سنوضح طريقة تحليل النظام بمثال من الهندسة الكهربائية. سنقوم بتحليل مكبر الجهد الذي يتم فيه تغذية جزء من الخرج إلى الدخل. دعونا نعتبر أولا مكبر بسيط بدون تغذية مرتدة (انظر الشكل **6 - 22**). المكبر هو جهاز كهربي يكبر جهد الدخل (V_{in}) بمعامل A ؛ بمعنى أن جهد الخرج، V_{out} ، يكون،

$$V_{out} = AV_{in} \qquad \textbf{6 -1}$$

يتضح من هذه المعادلة أن التكبير A ببساطة يتعين بالنسبة بين جهد الخرج إلى جهد الدخل، بمعنى

أن،

$$A = \frac{V_{out}}{V_{in}} \qquad \textbf{6 -2}$$

الشكل 6 -22: دائرة مكبر بدون تغذية مرتدة.

الآن دعونا ندخل تغذية مرتدة (كما هو مبين في الشكل 6 -23). يضاف جزء من الخرج ($\beta \times V_{out}$) مرة أخرى لدخل المكبر بحيث يكون الجهد طرف دخل المكبر (V'_{in}) هو،

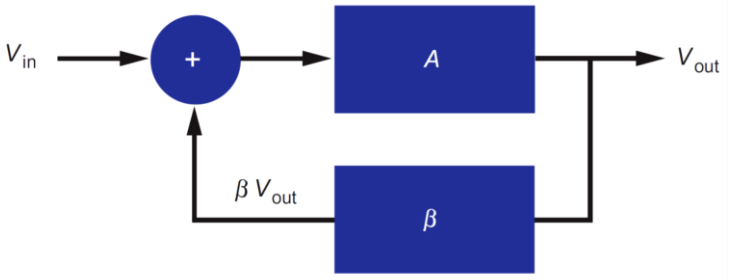
$$V'_{in} = V_{in} + \beta \times V_{out} \qquad \textbf{6 -3}$$

هنا V_{in} هو الجهد الخارجي المطبق. يكون التكبير الكلي لنظام التغذية المرتدة هو،

$$A_{\text{feedback}} = \frac{V_{out}}{V_{in}} \qquad \textbf{6 -4}$$

باستخدام حقيقة أن $V_{out} = AV'_{in}$ ، يمكننا بيان أن،

$$A_{\text{feedback}} = \frac{A}{1 - A\beta} \qquad \textbf{6 -5}$$



الشكل 6 -23: دائرة مكبر مع تغذية مرتدة.

الآن إذا كانت β رقم سالب، فإن التكبير مع تغذية مرتدة يكون أصغر من التكبير بدون تغذية مرتدة (أي أن A_{feedback} أصغر من A). β السالبة تعني أن الجهد المضاف من الخرج إلى الدخل يكون

خارج الطور مع جهد الدخل الخارجي، وبالتالي فإن هذه التغذية هي تغذية مرتدة سالبة. مع β موجبة يكون لدينا تغذية مرتدة موجبة ويزداد التكبير.

ميزة هذا النوع من التحليل انه يمكننا التعرف على النظام دون معرفة تفصيلية لمكوناته الفردية. يمكننا تغيير تردد، وحجم، ومدة جهد الدخل وقياس الخرج المقابل. من هذه القياسات، يمكننا الحصول على بعض المعلومات عن المكبر ومركبة التغذية المرتدة من دون معرفة أي شيء عن الترانزستورات، أو المقاومات أو المكثفات، وغيرها من العناصر التي تشكل الجهاز. بالطبع، يمكننا، الحصول على هذه المعلومات وأكثر من ذلك بكثير من خلال التحليل المفصل للجهاز بدلالة مكوناته الأساسية، ولكن هذا ينطوي على الكثير من العمل.

في دراسة الوظائف البيولوجية المعقدة، غالبا ما تكون معالجة النظم غالبا مفيدا جدا لأن تفاصيل مختلف العمليات المركبة لا تكون معروفة. على سبيل المثال، في نظام تحكم القزحية، ولا يعرف سوى القليل جدا عن معالجة الإشارات البصرية، وآلية مقارنة هذه الإشارات مع الإشارة المرجعية، أو طبيعة المرجع نفسه. مع ذلك، مع تسليط ضوء بكثافات، وأطوال موجية، ومدد مختلفة علي العين وبقياس التغيرات المقابلة في فتحة القزحية، يمكننا الحصول على معلومات هامة عن النظام ككل، بل وعن مختلف الوحدات الفرعية. هنا نجد أن التقنيات المطورة بواسطة المهندسين تكون مفيدة في تحليل النظام. مع ذلك، يكون العديد من النظم البيولوجية معقدة جدا مع مداخل ومخارج عديدة، وحتى تغذيات مرتدة لدرجة أن المعالجة المبسطة للنظم لا يمكن أن تعطي صياغة سلسة.

6-10 وسائل المساعدة الحسية

البصر والسمع نوعان من المسارات الرئيسية التي من خلالها يحصل المخ على المعلومات عن العالم الخارجي. يصاب الجهازين: العينين والأذنين، واللذان ينقلان الضوء والمعلومات الصوتية إلى المخ، بالتلف وتحتاج وظيفتها إلى أن تستكمل. جاءت النظارات إلى حيز الاستخدام في عام 1200م. في البداية قدمت هذه الوسائل المرئية صورا مكبرة بسيطة فقط للأشياء. وتدريجيا ومع تطور

التكنولوجيا المثيرة للجدل استطاعت النظارات الطبية التعويض عن مجموعة واسعة من مشاكل البصر.

استخدمت أبواق الأذن، بشكل أو آخر، لمساعدة السمع منذ ألاف السنين. هذه الأجهزة تحسن السمع عن طريق جمع الصوت من منطقة أكبر بكثير من الصيوان.

أدت التكنولوجيا الكهربية إلى تطوير أجهزة تعزز إلى حد كبير السمع وحتى في بعض الحالات تستعيد السمع. إن استعادة الرؤية هي تحدي أكثر صعوبة بكثير وبالرغم من سعي العديد من طرق للبحث إلا أن الهدف النهائي مازال يبدو بعيدا في المستقبل.

6-10-1 وسائل مساعدة السمع

المبدأ الأساسي لوسائل مساعدة السمع بسيط وهو عبارة عن ميكروفون يحول الصوت إلى إشارة كهربية. الإشارة الكهربية يتم تكبيرها وتحويلها مرة أخرى إلى صوت باستخدام جهاز من نوع سماعة-صوت. النتيجة النهائية هي تكبير الصوت الداخل إلى الأذن.

أصبحت وسائل مساعدة السمع متاحة تجاريا لأول مرة في **1930**م. كانت هذه الوسائل عبارة عن أجهزة كبيرة ومرهقة نسبيا وتستخدم مكبرات صوت من نوع الأنابيب المفرغة التي تعمل على طاقة البطارية، وكانت البطاريات من النوع الذي ينبغي استبداله يوميا.

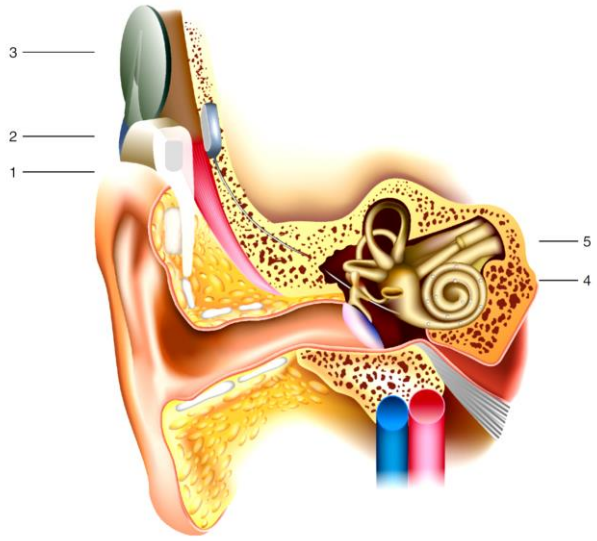
جعلت مكبرات الترانزستور الأصغر بكثير والتي أصبحت متاحة في عام **1950**م وسائل مساعدة السمع عملية حقا. الأن، أصبحت وسائل مساعدة السمع التي تستعمل الترانزستور صغيرة بما يكفي لتوضع في الأذن. أدي تطبيق تكنولوجيا الحاسوب الرقمية في صناعة أجهزة السمع إلى تحسن كبير آخر وذلك بضبط الاحتياجات الشخصية لفرد معين وتفصيل الجهاز للتعويض عن عجز سمع معين للمستخدم. باستخدام الشبكات التغذية المرتدة المختلفة، تقوم أجهزة مساعدة السمع الحديثة بضبط مستوى الصوت تلقائيا بحيث يمكن سماع الأصوات الهادئة وكذلك الأصوات العالية بدون ألم مبرح.

6-10-2 زراعة القوقعة

تقوم زراعة القوقعة بوظائف تختلف عن وسائل مساعدة السمع. وسائل مساعدة السمع ببساطة تكبر الصوت للتعويض عن تراجع عمل الأذن. إن زراعة قوقعة الأذن تحول الصوت إلى إشارات كهربية من النوع المتولد بالأذن الداخلية كاستجابة للصوت الذي يدخل الأذن. تنتقل الإشارة الكهربية لاسلكيا إلى أقطاب كهربية مزروعة جراحيا في الأذن الداخلية. الإشارات المطبقة على الأقطاب تحفز العصب السمعي لتوليد الإحساس الصوت. وبالتالي فإن زرع قوقعة يحاكي في الواقع وظائف الأذن ويمكن أن يسترجع السمع جزئيا للصم.

يبين الشكل 6-24 مخطط لنظام زرع قوقعة. الجزء الخارجي للنظام يكون صغيرا بما يكفي ليوضع خلف الأذن. إنه يتألف من ميكروفون، ومعالج إشارة، وجهاز إرسال ويتكون الجزء الداخلي من جهاز استقبال ومجموعة من الأقطاب الكهربية المزروعة وملف خلال القوقعة.

يقوم الميكروفون بتحويل الصوت إلى إشارة كهربية. إن هذه الإشارات الكهربية مثل المتولدة بالميكروفون يمكنها نفسها تحفيز العصب السمعي، ولكن الإشارات العصبية المتولدة بمثل هذا التحفيز لا تفسر من قبل الدماغ على أنها صوت. في الأذن العادية السائل الذي يملأ القوقعة يعالج إشارة الصوت وفقا للتردد بحيث أن مكونات التردد المختلفة للصوت القادم تحفز نهايات عصبية على طول الأجزاء المختلفة للغشاء القاعدي. إن هذا النوع من التحفيز الانتقائي-للتردد للشبكة العصبية الذي تقدمه القوقعة يكون ضروري إذا كانت الإشارة المطلوب تفسيرها بواسطة الدماغ عبارة عن صوت.



الشكل 6 -24: زراعة القوقعة. 1-يتم التقاط الأصوات بواسطة الميكروفون. 2-حينئذ يتم "ترميز" الإشارة " (تتحول إلى نمط خاص من النبضات الكهربية). 3-ترسل هذه النبضات إلى ملف وبعد ذلك تنتقل عبر الجلد لعملية الزرع. 4-يرسل الزرع نمط من النبضات الكهربية إلى الأقطاب في القوقعة. 5-يلتقط العصب السمعي هذه النبضات الكهربية ويرسلها إلى الدماغ. يدرك الدماغ هذه الإشارات كصوت.

أحد التحديات الرئيسية في تصميم زراعة القوقعة كان تطوير تقنيات معالجة-الإشارة الذي يكرر عمل القوقعة الطبيعية. تم إنجاز الكثير من العمل في هذا المجال في الأعوام 1950م و1960م. بدأت التجارب الأولى مع الزراعة في الإنسان في منتصف 1960م، واستمرت خلال في 1970م. في عام 1984م، وافقت إدارة الأغذية والعقاقير الزرع في البالغين، وبعد فترة وجيزة، في الأطفال. عادة ما يكون الشخص الذي يتلقى الزرع غير قادر في الحال سماع الأصوات بشكل صحيح. وتكون الحاجة إلى فترة التدريب وعلاج النطق قبل أن تتحقق الفوائد الكاملة للجهاز.

ملخص الباب

- **تشكل خلايا متخصصة تسمى عصبونات شبكة معقدة داخل الجسم تتلقى، وتشغل، وتنقل المعلومات من أحد أجزاء الجسم إلى جزء أخرى. يقع مركز هذه الشبكة في الدماغ، ولديها القدرة**

على تخزين وتحليل المعلومات.

- يمكن تقسيمها العصبونات إلى ثلاث فئات هي: عصبونات حسية، عصبونات حركية، وعصبونات بينية (متوسطة). يتكون كل عصبون من خلية جسم متصل بها نهايات دخل تسمى التشعبات وذيل طويل يسمى محوار عصبي يقوم بنقل الإشارة بعيدا عن الخلية. يكون داخل المحوار العصبي مملوء بسائل أيوني مفصول عن سوائل الجسم المحيطة عن طريق غشاء رقيق. يترتب على ذلك انه يتولد جهد سالب داخل المحوار بالنسبة للخارج. هذا الجهد السالب يتغير بما يسمى جهد الفعل مابين +30 و-90 مللى فولت.
- ينتشر الاضطراب الكهربي بالتتابع على طول المحوار ويمكن تحليل دائرة المحوار العصبي وحساب تغير الجهود من خلالها وينتقل النبضة من المحوار إلى العصبونات الأخرى أو خلايا العضلات عن طريق التوصيل الكهربي في اللافقاريات ولكن في الجهاز العصبي للفقاريات عادة ما يتم إرسال الإشارة بواسطة مادة كيميائية إن مناطق التفاعل هذه بين نهاية العصب والخلية المستهدفة تسمى نقاط الاشتباك العصبي
- في العضلات يكون شكل جهد الفعل هو نفسه كما هو الحال في العصبون إلا أن مدته عادة ما تكون لفترة أطول. في العضلات الهيكلية، يدوم جهد الفعل حوالي 20 مللي ثانية، في حين أنه في عضلات القلب قد يستمر لربع ثانية. تم تطوير تقنيات سريرية للحصول، من سطح الجلد، على معلومات عن أنشطة القلب ورسم المخ أو تخطيط كهربية الدماغ او تخطيط نشاط العضلات.
- إن انتقال النبضات الكهربية كما في العصبونات والألياف العضلية توجد أيضا في خلايا نبات معينة وكذلك في العظام لعمل وظائف معينة ففى العظام مثلا بها بلورات تولد شحنات بالتأثير الكهروضغطي هذه الشحنات لها اهمية في اعادة تشكيل وعملية التغذية للعظام.
- لا تمتلك معظم الحيوانات حواس للكشف عن المجالات الكهربية الخارجية، ولكن تعتبر أسماك القرش والشفنين استثناءات. لدى هذه الأسماك أجهزة صغيرة على طول الجلد والتي تعتبر حساسة بشكل ملحوظ للمجالات الكهربائية في الماء. كما تم العثور على استخدام ملحوظ

للكهرباء في ثعبان البحر الكهربي، والذي يمكن أن يولد نبضة كهربية على طول جلده تصل إلى 500 فولت، مع تيارات كهربية تصل إلى 80 ملي أمبير.

- على الرغم من أن العديد من العمليات الحيوية داخل أجسامنا هي كهربية، لا يمكن لحواسنا كشف المجالات الكهربية الصغيرة بشكل مباشر. لقد وفرت التكنولوجيا الكهربية وسائل لترجمة المعلومات من العديد من المجالات إلى مجال حواسنا عن طريق تكبير الاشارات. وتستخدم هذه التقنية في كثير من اجهزة التشخيص الكهربية الموجودة في المرافق الطبية مثل مخطط أنشطة القلب ورسم المخ أو تخطيط كهربية الدماغ او تخطيط نشاط العضلات والتى لهم اهمية كبرى في معرفة الحالة الصحية لهذه الاعضاء المختلفة.
- التدفئة الموضعية للأنسجة بواسطة تيارات كهربائية بتردد-عالي تشجع على الشفاء كثيرا بنفس الطريقة التي يستخدمها الإنفاذ الحراري بالموجات فوق الصوتية.
- طور المهندسون تقنيات لتحليل وتوقع سلوك أنظمة التحكم، وكانت هذه التقنيات مفيدة في دراسة النظم البيولوجية. وقد أدت التكنولوجيا الكهربية إلى تطوير أجهزة تعزز إلى حد كبير السمع والابصاروحتى في بعض الحالات تستعيد السمع. إن استعادة الرؤية هي تحدي أكثر صعوبة بكثيروبالرغم من سعي العديد من طرق للبحث إلا أن الهدف النهائي مازال يبدو بعيدا في المستقبل.

اختبر معلوماتك

تخير الإجابة الصحيحة للأسئلة التالية الاجابة

1. تسمى مناطق الارتباط بين نهاية العصب والخلية المستهدفة: ( )

أ) نقاط الاشتباك العصبي ب) عقدة رانفييه

ج) مغزل العضلات د) التشعبات

2. في جهد العمل ينخفض الجهد إلى حوالي: ( )

أ) -70 ملي فولت ب) 40 فولت

ج) - 90 مللي فولت د) 115 فولت

3. خارج المحور، الأيونات السالبة معظمها: ( )

أ) أيونات البوتاسيوم ب) أيونات الكلور.

ج) أيونات الصوديوم د) جزيئات عضوية مشحونة

4. داخل المحور، الأيونات الموجبة معظمها: ( )

أ) أيونات البوتاسيوم ب) أيونات الكلور.

ج) أيونات الصوديوم د) جزيئات عضوية مشحونة

5. الخلايا العصبية التي ترصد البيئة الخارجية والداخلية للجسم هي: ( )

أ) الخلايا العصبية الحركية ب) الخلايا العصبية الحسية

ج) الخلايا العصبية البينية د) المحور العصبي.

6. يفضل الحبار، للحصول عن معلومات عن نقل الإشارات بسبب ان امتلاكها: ( )

أ) محور عصبي قطرها كبير ب) خلايا عصبية قطرها كبير

ج) محور عصبي حساس د) محور عصبي طويل

7. الخلايا العصبية التي تحمل رسائل للتحكم في خلايا العضلات هي: ( )

أ) الخلايا العصبية الحركية ب) الخلايا العصبية الحسية

ج) الخلايا العصبية البينية د) المحور العصبي.

8. أبرز الظواهر الكهربائية في الحيوانات تكون في: ( )

أ) الجهاز الهضمي ب) الجهاز العصبي

ج) الجهاز الدوري د) الجهاز البولي التناسلي

9. السائل الخارجي للمحور عصبي يشبه: ( )

أ) مياه البحر ب) السيتوبلازم

ج) سوائل الجسم د) الماء المقطر

10. في الحالة العادية، غشاء المحور العصبي يمكن عالية الاختراق بواسطة: ( )

أ) أيونات البوتاسيوم ب) أيونات الكلور

ج) الجزيئات العضوية المشحونة د) أيونات الصوديوم أيونات

11. في معظم التجارب يتم التحفيز العصبي بواسطة: ( )

أ) الأيونات ب) الجهد

ج) التسخين د) الضغط

12. تنشيط العضلات الخارجي تكون مفيدة في حالات: ( )

أ) التقلص ب) جهد العمل

ج) الشلل الدائم للعضلات د) شلل العضلات المؤقت

13. وظيفة مغزل العضلات هي نقل المعلومات عن حالة العضلات: ( )

أ) الحيوية ب) ونقل الإشارات بها

ج) الانقباضية د) وإمكانية عملها

14. وظيفة طبقة المايلين في المحور العصبي هي: ( )

أ) تحفيز الخلية ب) تثبيط الخلية

ج) زيادة قوة إشارة النبضة د) زيادة سرعة النبضة

15. أنشطة الجهد السطحي حول الدماغ تسمى: ( )

أ) ECG ب) EEG ج) EMG د) ELG.

16. أنشطة الجهد السطحي حول القلب تسمى: ( )

أ) ECG ب) EEG ج) EMG د) ELG

17. أنشطة الجهد السطحي حول العضلات تسمى: ( )

أ) ECG ب) EEG ج) EMG د) ELG.

18. ضمن الألياف العضلات الهيكلية، أجهزة مستقبلات ميكانيكية تسمى: ( )

أ) المحور العصبي ب) نقاط الاشتباك العصبي

ج) مغزل العضلات د) التشعبات

19. المواد كيميائية التى يفرزها المشبك يمكن أن تعمل على: ( )

أ) تحفيز الخلية ب) تثبيط الخلية

ج) تنشيط الخلايا د) تنشيط اوتثبيط الخلية

20. من خلال النهايات العصبية ينقل المحور عصبي الإشارات عادة الى: ( )

أ) محور عصبي آخر ب) الشبكية

ج) الدماغ د) عدد من الخلايا العصبية

21. في جهد العمل يزداد الجهد إلى حوالي: ( )

أ) -70 مللي فولت ب) 30 فولت ج) - 90 مللي فولت د) 115 فولت

22. انتشار النبضات في محور عصبي تسمى: ( )

أ) مضخة الصوديوم ب) طبقة المايلين

ج) المشبك د) جهد العمل

23. الجهد السالب داخل المحور العصبي بالنسبة لخارجها بسبب تسرب: ( )

أ) أيونات البوتاسيوم ب) أيونات الكلور.

ج) أيونات الصوديوم د) جزيئات عضوية مشحونة

24. نهايات ادخال النبضات (الزوائد الشجري) للخلايا العصبية تسمى: ( )

أ) التشعبات ب) المحور العصبي

ج) طبقة المايلين د) المشبك.

25. الجهد الكهروضغطي المنتجة في العظام تعمل على : ( )

أ) تكوين العظام ب) تغذية العظام

ج) تكوين العظام وتغذيتها د) تدهور العظام

26. الخلايا المسئولة عن تجديد العظام تسمى : ( )

أ) الخلايا البناءة ب) الخلايا الهدامة

ج) الخلايا العظمية الاولية د) الخلايا الاولية

27. يبدأ معظم الناس بالشعور بالتيار الكهربي عندما تصل قوته إلى حوالي : ( )

ا) 30 ميكرو أمبير ب) 50 ميكرو أمبير

ج) 200 ميكرو أمبير د) 500 ميكرو أمبير

28. في انظمة التحكم يمكن ان تنقل تعليمات للمخ بواسطة رسائل كيميائية تسمى : ( )

ا) الاشارات ب) النبضات

ج) الهرمونات د) العصبونات

29. ---------- في العين تعمل إلى حد ما مثل الحاجز الآلي في الكاميرا: ( )

ا) القرنية ب) الشبكية

ج) العدسة د) القزحية

30. باستخدام المخططات الكهربية للدماغ يمكن تشخيص: ( )

ا) نوبات الصرع ب) أورام المخ

ج) جلطات الدماغ د) نوبات الصرع وأورام المخ

التمارين

1- ( ) باستخدام المعادلة **6-1** والبيانات الواردة في الجدول **6-1**، أحسب عدد من الأيونات التي تدخل المحوار العصبي أثناء جهد الفعل، لكل متر من طول محوار عصبي غير-ميليني. (مع العلم أن الشحنة على الأيون هي 1.6×10^{-19} كولوم.) ( ) خلال حالة سكون المحوار العصبي، تكون التركيزات النموذجية لأيونات الصوديوم والبوتاسيوم داخل المحوار العصبي هي **15** و **150** ملي مول/لتر، على التوالي. من البيانات الواردة في الجدول **6-1**، احسب عدد الأيونات في طول متر من المحوار العصبي.

$$1\text{mole/liter} = 6.02\times10^{20}\ \frac{\text{particles (ions,atoms,etc.)}}{\text{cm}^3}$$

2- من المعادلة **6-4** احصل على حل لـ R_T (تذكر أن R_T يجب ان تكون موجبة).

3- اثبت المعادلة **6-6**.

4- بين انه عندما تكون Δx صغيرة جدا فإن R_T تعطى بالمعادلة **6-7**.

5- بين انه اذا كانت β صغيرة فإن $1/(1+\beta) \approx 1-\beta$. (ارجع الى جداول فك المتسلسلات).

6- اثبت المعادلة 6-11.

7- باستخدام نظرية ذات الحدين، بين انه يمكن كتابة المعادلة 6-11 على الصورة،

$$V(x)=V_a\left[1-\frac{n\Delta x}{\lambda}+\frac{n(n-1)}{2!}\left(\frac{\Delta x}{\lambda}\right)^2-\frac{n(n-1)(n-2)}{3!}\left(\frac{\Delta x}{\lambda}\right)^3+.....\right]$$

8- بما أن Δx تكون صغيرة بشكل متناهي، فإن n يجب ان تكون كبيرة جدا. بين ان المعادلة أعلاه تقترب من مفكوك دالة أسية. (ارجع إلى جداول مفكوك المتسلسلات).

9- ( ) من البيانات الواردة في النص، عين عدد الخلايا التي يجب أن تكون متصلة في تسلسل لتعطي الـ 500 فولت الملاحظة علي جلد ثعبان الأنقليس. ( ) عين عدد السلاسل الواجب توصيلها بشكل متوازي للحصول على التيارات الملاحظة. أفترض أن حجم الخلية هو 10^{-5} متر، وأن النبضة التي تولدها خلية واحدة هي 0.1 فولت، وأن مدة النبضة هي 0.01 ثانية. استخدام البيانات الواردة في النص وفي التمرين 1 لتعين التيار المتدفق في خلية واحدة خلال جهد الفعل.

10- من البيانات الواردة في النص، أحسب سعة المكثف اثناء الرجفان وأحسب مقدار متوسط التيار المار خلال النبض.

11- اثبت المعادلة 6-5.

12- أرسم مخطط لأنظمة التحكم التالية. ( ) التحكم في درجة حرارة الجسم لشخص ما. ( ) مراقبة اليد في رسم خط. ( ) السيطرة على الفعل اللا إرادي عندما تبتعد بعيدا عن التحفيز بالألم. هنا يتضمن النظام نوع رقابة من الدماغ قد تمارس على هذه الحركة. ( ) مراقبة نمو العظام كاستجابة لضغط.

13- لكل نظام من أنظمة التحكم في التمرين 3، ناقش كيف يمكن دراسة النظام تجريبيا.

14- ناقش الجدل (الخلاف) الثائر حول زراعة القوقعة.

الشكل 7-11: سماعة الطبيب.

5-7 الموجات فوق الصوتية

بواسطة بلورات من نوع خاص تعمل إلكترونيا، يمكن توليد موجات ميكانيكية بترددات عالية جدا، تصل إلى الملايين من الدورات في الثانية الواحدة. هذه الموجات، والتي هي ببساطة عبارة عن تمديد للصوت إلى ترددات عالية، تسمى موجات فوق صوتية. بسبب قصر الطول الموجي، يمكن تركيز الموجات فوق الصوتية على مناطق صغيرة ويمكن تصويرها كما يفعل الضوء المرئي (انظر التمرين 8).

تخترق الموجات فوق الصوتية الأنسجة وتتشتت وتمتص داخلها. باستخدام تقنيات متخصصة تسمى التصوير بالموجات فوق الصوتية، يكون من الممكن تكوين صور مرئية لإمتصاصات وانعكاسات الموجات فوق الصوتية كما هو مبين في الشكل 7-12. لذلك، يمكن فحص التراكيب البنائية داخل الكائنات الحية بالموجات فوق الصوتية، كما هو الحال مع الأشعة السينية.

الشكل 7-12: صورة لجنين بالموجات فوق الصوتية.

إن الفحص بالموجات فوق الصوتية أكثر أمانا من الأشعة السينية، ويمكن ان يوفر قدر أكبر من المعلومات في الغالب. في بعض الحالات، كما هو الحال في فحص الجنين والقلب، يمكن لطرق الموجات فوق الصوتية أن تظهر الحركة، وهو أمر مفيد جدا في مثل هذه العروض.

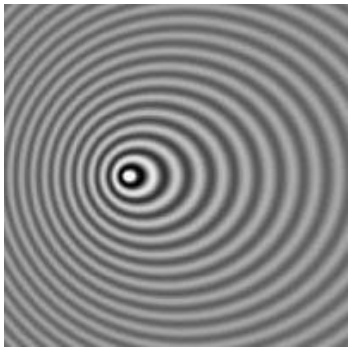
يعتمد تردد الصوت المكتشف بالمراقب على الحركة النسبية بين المصدر والمراقب. تسمى هذه الظاهرة بتأثير دوبلر. تم تسمية تأثير دوبلر بهذا الاسم نسبة إلى مكتشفه العالم كريستيان دوبلر، وهو عبارة عن تغير ظاهري في تردد الموجة التي يتم ملاحظتها بواسطة المشاهد الذى يتحرك بالنسبة إلى مصدر الموجات. يمكن تلخيص هذه الظاهرة في أن تردد الموجات للمصدر المتحرك أمام المصدر يكون أكبر من تردد الموجات خلف المصدر. يبين الشكل 7-17 هذا المفهوم حيث يتحرك مصدر موجات صوتية إلى اليسار. في حالة الموجات الصوتية، التي تنتشر في وسط موجى، فإن سرعة المشاهد وسرعة المصدر تقدر نسبة إلى الوسط الذى تنتقل خلاله الموجات. لذلك فإن التأثير الكلى لدوبلر قد ينتج من حركة المصدر أو من حركة المشاهد. يتم تحليل كل من هذه التأثيرات بشكل منفصل. بالنسبة للموجات التي لا تتطلب أي وسط، مثل الضوء أو الجاذبية النسبية الخاصة فإن الاختلاف النسبي في السرعة بين المشاهد والمصدر هو فقط الذى يأخذ في الاعتبار.

نحن نشاهد تلك الظاهرة أحياناً خلال يومنا العادي عندما نكون مثلا في الشارع وتقترب منا عربة إطفاء حريق أو عربة إسعاف، فنسمع صفارتها وهي قادمة علينا بتردد عالي (صوت حاد)، لأن طول موجة الصوت ينضغط إلى حد ما بفعل سرعة قدومها بالقرب منا، وبعد أن تمر وتأخذ في الابتعاد عنا نسمع صوت صفارتها بتردد منخفض (صوت غليظ) بسبب أن طول موجتها يزداد استطالة.

يمكن توضيح أنه إذا كان المراقب ثابت والمصدر متحرك، يعطى تردد الصوت f' المكتشف بواسطة المراقب بالعلاقة،

$$f' = f\frac{v}{v \pm v_s} \qquad \textbf{7-6}$$

حيث f هو التردد في غياب الحركة، و v هو سرعة الصوت، و v_s هو سرعة المصدر. تستخدم علامة الطرح في المقام عندما يكون المصدر مقتربا من المراقب، وعلامة الجمع عندما يكون المصدر مبتعدا.



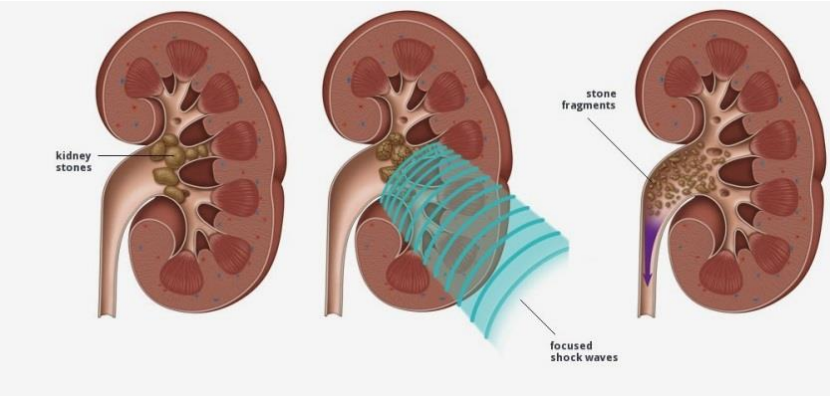
الشكل 7-13: مصدر الموجات يتحرك نحو اليسار، لذلك فإن التردد على اليسار من المصدر يزداد وفي حين نه يقل على اليمين المصدر.

باستخدام تأثير دوبلر، يكون من الممكن قياس الحركات داخل الجسم. الجهاز الذي بواسطته يمكن الحصول على مثل هذه القياسات بواسطة جهاز يسمى مقياس تدفق بالموجات فوق الصوتية، والذي يولد موجات فوق الصوتية تتشتت بواسطة خلايا الدم المتدفق في الأوعية الدموية. يتغير تردد الصوت المشتت بواسطة تأثير دوبلر. يتم الحصول على سرعة تدفق الدم بمقارنة التردد الساقط مع تردد الموجات فوق الصوتية المشتتة.

خلال الأنسجة تتحول الطاقة الميكانيكية للموجات فوق الصوتية الى حرارة. مع كمية كافية من الطاقة فوق الصوتية، يمكن تسخين أجزاء مختارة من جسم المريض بشكل أكثر كفاءة وبشكل متساو مما يمكن فعله بمصابيح الحرارة التقليدية. هذا النوع من العلاج، يسمى الإنفاذ الحراري (diathermy أو الاستحرار، بمعنى إستحرار الجسم بإمرار تيار كهربائي)، ويستخدم لتخفيف الألم وتعزيز الشفاء من الإصابات. من الممكن في الواقع تدمير النسيج بواسطة الموجات فوق الصوتية عالية الشدة جدا. الآن تستخدم الموجات فوق الصوتية بشكل روتيني لتفتيت حصوات الكلى والمرارة (تفتيت الحصوات- lithotripsy)، انظر الشكل 7-14.

من الطرق الحديثة المستخدمة طريقة الموجات الفوق صوتية عالية التكثيف المركزة (بالإنجليزية : High-Intensity Focused Ultrasound) أو اختصارا (HIFU - هايفو) وهي عملية طبية عالية الدقة تستخدم طاقة موجات فوق صوتية لرفع حرارة وتدمير مرض معين أو نسيج تالف داخل جسم

الإنسان.



الشكل 7-14: مفهوم استخدام الموجات الصوتية في تفتيت حصوات الكلى.

الـهايفو هو علاج بالحرارة العالية، وهو أحد التطبيقات الطبية التي تستخدم الحرارة لعلاج الأمراض. يستخدم الـ "هايفو" كأحد طرق العلاج بالموجات الفوق صوتية، تشمل تدخل جراحي بسيط أو بدون أي تدخل جراحي لتسليط الطاقة الصوتية العلاجية داخل الجسد. تستخدم عدد من الطرق بجانب الـ "هايفو" للعلاج كـ إيصال الدواء بمساعدة الموجات فوق الصوتية، إيقاف النزيف باستخدام الموجات فوق الصوتية، تفتيت الحصوات بالموجات الفوق صوتية، وعدد آخر من العمليات.

تطبق عملية الـهايفو عادة بمساعدة أحد طرق التصوير الطبي ليتمكن الفريق الطبي من تخطيط العلاج بدقة واستهداف البقعة المراد تطبيبها قبل أن تطلق عليها الموجات الفوق صوتية العلاجية. يستخدم غالبا التصوير بالرنين المغناطيسي كموجه ومرشد للعملية.

7-6: الضوضاء

إن الهدوء نعمة لا يدركها غير ذوي المشاعر الرقيقة الذين لديهم حسن الإحساس بكل شيء جميل، الذين يستلهمون أسمى معاني الحياة في خلوتهم بعيدا عن الصخب والضجيج المزعج المؤذي المنفر جالب التوتر والقلق والضعف والحزن، ولذا سمي المسكن سكنا لتحصيل الهدوء والراحة والسكينة فيه، ولذلك كان الصمت يوما عبادة الصالحين يتخلله التفكير في بديع صنع المبدع سبحانه وتعالى في السماوات والأرض لغمر السعادة روح وكيان الإنسان. ومن الطريف أن الضوضاء

كانت أحد طرق التعذيب في القرن الثالث الميلادي، ويذكر لنا التاريخ أن قائد شرطة الصين كان يستخدم الضوضاء العالية المستمرة الصادرة من الأجراس في إعدام خصومه.

الضوضاء من أهم العوامل المؤثرة على صحة الأنسان سواء في بيئة المعيشة أو في المؤسسات الصناعية في ها الفصل سوف نبين أثرها وطرق الوقاية منها. ولإدراك معنى الضوضاء بشكل الصحيح علينا أن نتذكر أن الصوت بحد ذاته هو نوع من أنواع الطاقة صادرة عن حركة تذبذب تموجية في وسط ما (كالهواء والماء والحديد) ولابد لهذه الطاقة من أن تؤثر على حاسة السمع. تجدر الإشارة إلي انه لا يمكن اعتبار كل صوت ضوضاء، فالصوت له صفة الانتظام والتناسق، أما الضوضاء فهي تداخل مجموعة أصوات عالية وحادة وغير مرغوبة، وتصبح هذه الضوضاء مادة للتلوث ويطلق عليها التلوث السمعي عندما ترتفع شدة الضوضاء إلى درجة إزعاج الإنسان والتشويش على تفكيره بل والتأثير على صحته سلبا، فيصاب بالتوتر والأمراض النفسية والعضوية وغيرها. تعرف الضوضاء في مكان العمل على انه ذلك المكان الذي يصل فيه مستوى الضوضاء إلى **80** ديسيبل فأكثر. إن التعرض المهني للضوضاء قد اخذ اهتماما متزايدا منذ سنوات مضت ويرجع هذا إلى عدة عوامل منها: -انتشار المرض المهني المعروف بالصم المهني والذي يصنف على أنه إصابة من إصابات العمل.

7-6-1: حدة الصوت والضوضاء

تعتمد موجات الصوت التي يسمعها الإنسان على شدة هذه الموجات فهناك السكون والهمس والكلام العادي والصوت الجهورى ومنها ما يسبب آلام اً للأذن ولما كان انتشار الموجه يعنى انتشار الطاقة فان شدة الصوت هي متوسط المعدل الزمنى لانسياب الطاقة خلال وحدة المساحات من سطح عمودي على اتجاه انتشار الموجة الصوتية أي متوسط القدر المنساب خلال وحدة المساحات وتقدر بوحدات وات / م ٢، وتنحصر شدة الصوت المسموع. جدير بالذكر انه يستخدم مصطلح "ديسيبل" كوحدة لقياس شدة الصوت، على سبيل المثال **0** ديسيبل هي عتبة الصوت المسموع، و**10** ديسيبل تمثل شدة حفيف أوراق الأشجار الهادئ، و**90-100** ديسيبل تمثل شدة صوت الرعد، **130** ديسيبل

تمثل عتبة الألم في الأذن عند الإنسان، و140 ديسيبل تمثل شدة صوت إطلاق صاروخ إلى الفضاء.

وحسب تقرير منظمة الصحة العالمية "W.H.O" معدل الضوضاء المقرر عالميا هو كالتالي:

- من 25 – 40 مقبول في المناطق السكنية
- من 30 – 60 مقبول في المناطق التجارية
- من 40 – 60 مقبول في المناطق الصناعية
- من 30 – 40 مقبول في المناطق التعليمية
- من 20 – 35 مقبول في المناطق المستشفيات

7-6-2: مصادر الضوضاء

لما كانت البيئة هي كل ما هو خارج عن كيان الإنسان وكل ما يحيط به من موجودات ومنها الصوت لذلك فإن عملية توازن الصوت يعتبر عاملا مهما من العوامل البيئية خاصة مع تقدم المدنية الحديثة التى أدت الآلات التكنولوجية المتطورة إلى إحداث تغيرات كبيرة في البيئة الصوتية المحيطة بالإنسان فضلا عن أن المدن الكبيرة المكتظة بالسكان وانحصار السكان في أماكن ضيقة أحدث خللا واضحا في التوازن الصوتي لذا فإن الضوضاء عنصر تلوث مستحدث وتتعدد مصادره ومنها:

1-الأصوات الصادرة عن عشرات أو مئات الألوف من السيارات والطائرات النفاثة أثناء صعودها وهبوطها ووسائل النقل الأخرى)قطارات – موتيسكلات ... الخ) التي تجرى في طرقات المدن والتي لا تتوقف ليلا أو نهارا وآلات تنبيه هذه السيارات, التي أصبحت لغة التخاطب بين السائقين ووسيلة لإيقاظ النائمين ومناداتهم من أسفل المنازل وعنوان للأفراح وغيرها من الأصوات الصادرة من آلات الحفر وبعض الآلات الأخرى المستخدمة في التشييد والبناء التي حلت محل العمالة اليدوية نظرا للتوسع في هذا القطاع الذى يتطلب سرعة إنجاز أعمال فوق طاقة العمالة اليدوية (كم اً ونوعا .

2-الضوضاء الصادرة من مختلف الورش الحرفية التي انتشرت داخل المدن والقرى والتي لا تلتزم بمواعيد العمل أو ملائمة الموقع أو المساحة التي يقام عليها النشاط سواء لثغرات في القوانين أو

استغلالها من قبل ضعاف النفوس أو غير ذلك من طرق التحايل على القانون بتغيير مسميات الأنشطة مع ثبات الغرض من الاستغلال ... الخ.

3-الضوضاء الصادرة من أجهزة المذياع والتلفزيون والتسجيل المنتشر في المحال التجارية وفى المنازل والسيارات وكذلك سوء استخدام أجهزة التليفون المحمول التي انتشرت مع تلاميذ المدارس الابتدائي والأعداد ناهيك عن طلبة المراحل التعليمية الأخرى، وسوء استخدام مكبرات الصوت من جانب الباعة الجائلين وغيرهم.

4-تشترك منازلنا الحديثة في إصدار كثير من الضجيج والضوضاء خصوصا بعد أخذ جميع بأساليب الحياة العصرية الحديثة وأصبحت أجهزة التكييف والمبردات والخلاطات وآلات الغسيل والتجفيف من أهم مصادر الضوضاء المنزلية والمنتشرة بالمدن والقرى.

5-سوء الأخلاق كمبدأ أساسي، وعدم الاستقامة، عدم المسئولية، وعدم احترام القانون والنظام، وعدم احترام حقوق باقي المواطنين. لذا يمكن القول بأن الضوضاء تختلف عن غيرها من عوامل تلوث البيئة من عدة نواحي أهمها:

أولا: تعدد مصادرها في كل مكان ولا يسهل السيطرة عليها كما في حالة العوامل الأخرى التي تلوث المياه أو الهواء والتي يمكن أن تنتهى بإزالة أسبابها ومصدرها، أما الضوضاء فهي تأتيك فى مخدعك دون أن تعرف مصدرها الحقيقي على وجه الدقة مع فقدها لهويتها عند امتزاجها مع بعضها وعدم إمكانية التعرف على هذا النوع من الضوضاء ويطلق عليها الضوضاء السائدة أو ضوضاء الخفية، وهى تشمل كل أنواع الأصوات والضجيج التي تصل إلينا ونحن في منازلنا من المصادر المختلفة ومن المعتاد أن تقل الضوضاء الخفية كثيرا في الريف أو الأحياء الغنية في المدن، بينما تزداد هذه الضوضاء في الأحياء الفقيرة المزدحمة بالسكان، وقد يعتاد الأنسان الضوضاء الخفية بمرور الوقت وقد لا يلاحظها سكان المدن الذين تعودوا عليها ولكن ذلك لا يقلل من حدة هذه الضوضاء فهي موجودة على الدوام فهي خليط الأصوات التي نسمعها، ومن الغريب أن كثير من الكباري (الجسور) العلوية التي انتشرت في

المدن قد جعلت هذه الضـــوضـــاء أكثر قربا حتى من ســـكان الأدوار العليا في المنازل المطلة على هذه الطرق، وتبلغ شدة الضجيج الصادر عن حركة المرور على هذه الكباري أو الطرق الرئيسية نفس شدة الضجيج الصادر من الآلات بالمصانع إذ لم تكن أكثر. ثانيا: ينقطع أثرها بمجرد توقفها أي أنها لا تترك اثر خلفها ولا يتبقى منها شـيء حولنا وبذلك فإن أثر الضـــوضـــاء يكون وقتي ينتهى بانقطاعها. ثالثا: محلية تأثيرها أي إننا لا نحس بها إلا بالقرب من مصدرها ولا تتشر مثل ما تنتشر ملوثات الهواء أو الماء الذى ينتقل من منطقة إلى أخرى أو من دولة إلى أخرى .

7-6-3: أضرار الضوضاء

يمكن القول بأن أضرار الضوضاء متعددة الأوجه، حيث أن كثيرا منا يشعر بالضيق الشديد والتعب النفسي والعصبي عند سماع الأصوات العالية، فضلا عن الأطفال ما قبل السن المدرسي والذين تسبب لهم الضوضاء إزعاج اً شديد اً وبكاءً حاد اً ومن أضرار الضوضاء:

1-الصـــمم المؤقت الذي ينتهى مفعوله بعد عدة ســـاعات، ولكن التأثير التراكمي للتعرض المســـتمر للضجيج والضوضاء لعدة سنوات قد يؤدى إلى الصمم الكلى المستديم.

2-تسـبب الضـوضـاء العالية حدوث بعض التغيرات الفسـيولوجية في جسـم الأنسـان مثل انقباض الشـرايين والشـعيرات الدموية وزيادة ضـغط الدم وزيادة ضـربات القلب وسـرعة التنفس وتقلص العضلات، وقد تتوقف عملية الهضم وعمليات إفراز اللعاب وبعض العصائر المعدية، وقد تضطرب وظائف الأذن والأنف والحنجرة ويختل إفراز بعض الهرمونات وتحدث اضـــطرابات في بعض وظائف المخ فتؤدى بالتبعية إلى تقليل الشـــهية للطعام وتقل القدرة على التركيز وزيادة الشـــعور بالإجهاد الذهني.

٣- نظرا لما تسـببه الضـوضـاء من أضـرار فسـيولوجية فإنها تؤدى إلى زيادة معدلات حوادث السـيارات والطرق، وكذلك نقص معدل الإنتاج وانخفاض الكفاءة الاســـتيعابية لدى الطلاب بالمدارس والجامعات وزيادة معدلات الاسـتثارة والعنف وأحداث الشـغب. ولعل المصـابين بالاكتئاب هم أكثر

الناس حساسية للضوضاء.

٤-يمتد تأثير الضـــوضـــاء على الحيوانات والنباتات وربما إلى الجماد، وقد أثبتت التجارب الحديثة أن الضوضاء العالية تؤدى إلى ضعف وتوتر شديد سواء لحيوانات المزارع فتنخفض معدلاتها من اللبن ويقل إنتاج الدواجن للبيض، وكذلك النباتات والمحاصيل النباتية فتؤدى إلى تقليل إنتاجها.

وقد أولت التشـريعات العالمية اهتماماً في الآونة الأخيرة لوضـع ضـوابط لمعايير الضـوضـاء في الأماكن والأوقات المختلفة حيث يجب أن تلتزم جميع الجهات والأفراد عند مباشـــرة الأنشـــطة الإنتاجية أو الخدمية أو غيرها وخاصـــة عند تشـــغيل الآلات والمعدات واســـتخدام آلات التنبيه ومكبرات الصـــوت بعدم تجاوز الحدود المســـموح بها لمســـتوى الصـــوت وعلى الجهات مانحة الترخيص مراعاة أن يكون مجموع الأصوات المنبعثة من المصادر الثابتة والمتحركة في منطقة واحدة في نطاق الحدود المسموح بها والتأكد من التزام المنشأة باختيار الآلات والمعدات المناسبة لضمان ذلك .

7-6-4: المقترحات غير الرسمية للحد من ظاهرة الضوضاء

- ✓ إبعاد المناطق الســكنية عن المنشــآت الصــناعية والمطارات، مع مراعاة عدم مرور الطائرات فوق المدن.
- ✓ التوعية الشـاملة، وإصـدار القوانين وتطبيقها بشـكل حازم مع ملاحظة الجمع بين أصـالة الحرية وقاعدة لا ضرر و لا ضرار.
- ✓ العناية بتصـميم البيوت واسـتخدام مواد البناء التي تقلل قدر الإمكان من نفاذيتها للضـوضـاء، وكذلك التنسيق بين سعة الشوارع وارتفاع المباني، والإكثار من التشجير.
- ✓ منع مرور الســيارات الكبيرة والشــاحنات داخل المدينة، ووضــع خطة مرورية شــاملة تؤمن تدفق السير.
- ✓ توعية المواطنين بعدم القيام بالأنشـــطة الحيوية في ســـاعات متأخرة من الليل، أو إذا كان هناك مريض أو من يذاكر أو ينام.

- ✓ توعية المواطنين لخفض صوت التليفزيون والكاسيت.
- ✓ تجنب إقامة الحفلات المزعجة في الإمكان المفتوحة.
- ✓ عدم استخدام الأجراس أو المنبهات العالية.
- ✓ الإصلاح المستمر للمكائن التي توجد بالمصانع وبهذه الخطوة من الممكن أن يقلل أو يُعدم الضوضاء.
- ✓ المراقبة الصارمة على الصناعات وتعديل العمليات للسيطرة على الضوضاء أثناء إصداروتجديد رخص العمل.
- ✓ إصدار التشريعات اللازمة وتطبيقها بحزم لمنع استعمال منبهات السيارات ومراقبة محركاتها وإيقاف تلك المصدرة للأصوات العالية.
- ✓ زراعة النباتات حيث تعتبر النباتات من أهم الطرق لامتصاص الضوضاء خصوصاً الضوضاء المتقطعة. إن زراعة الأشجار مثل الكازوارينا، البانيان، التمرهند و أشجار النيم على طول الطرق أَو الشوارع العالية يساعد في تخفيض الضوضاء في المدن والبلدات.
- ✓ منع استعمال مكبرات الصوت وأجهزة التسجيل في شوارع المدينة والمقاهي والمحلات العامة على سبيل المثال من الساعة **10** مساءا لغاية الساعة **5** فجرا.
- ✓ نشر الوعي وذلك عن طريق وسائل الإعلام المختلفة ببيان أخطار هذا التلوث على الصحة البشرية بحيث يدرك المرء أن الفضاء الصوتي ليس ملكا شخصيا.
- ✓ إبعاد المدارس والمستشفيات عن مصادر الضجيج.
- ✓ إبعاد المطارات والمدن والمناطق الآهلة بالسكان مسافة لا تقل عن **30** كم.
- ✓ يجب أَن تكون خطوط السكة الحديدية والطرق السريعة بعيدة عن المناطق السكنية قدر الإمكان.
- ✓ استعمال سدادات الأذن في المناطق التي يكثر فيها الضجيج.
- ✓ منع استعمال آلات التنبيه في السيارات في المناطق المزدحمة.

- ✓ بناء المطارات بعيداً عن المدن لتفادى الأصوات العالية لمحركات الطائرات.
- ✓ استعمال كواتم الصوت في المصانع.
- ✓ تعديل سلوكيات المواطنين الخاصة بالاحتفالات والمناسبات المختلفة، والالتزام بالسلوك المتحضر الذي يملي المحافظة على الهدوء، وضرورة سحب رخص السيارات المتهالكة التي تصدر أصواتا وتلقي بالعوادم أثناء مرورها في الشوارع العامة.

7-7: المخدرات الرقيمة

المخدرات الرقمية (أو ما يُطلق عليه اسم **Digital Drugs** أو **"iDoser"**) هي عبارة عن مقاطع نغمات يتم سماعها عبر سماعات بكل من الأذنين، بحيث يتم بث ترددات معينة في الأذن اليمني على سبيل المثال وترددات أقل إلى الاذن اليسرى. استندت تقنية "المخدرات الرقمية" على تقنية قديمة تسمى "النقر بالأذنين" اكتشفها العالم الألماني الفيزيائي هينريش دوف عام **1839**، واستخدمت لأول مرة عام **1970** لعلاج بعض الحالات النفسية لشريحة من المصابين بالاكتئاب الخفيف في حالة المرضى الذين يرفضون العلاج السلوكي (الأدوية)، ولهذا تم العلاج عن طريق تذبذبات كهرومغناطيسية لفرز مواد منشطة للمزاج، الشكل **7-15**.

الشكل 7-15: استخدام موسيقى "المخدرات" في العلاج.

لم يعد استهلاك المخدرات مقصوراً على ما كان يجرى سابقاً بحقنها فى الوريد أو بمضغها أو شمها أو تدخينها وإنما تطور الفكر الإنسانى ليحول نظم التعاطى إلى تعاطٍ إلكترونى أو تعاطٍ رقمى يحدث

التأثير نفسه الذى تحدثه المخدرات الطبيعية أو التخليقية الأخرى.

وقد استخدمت موسيقى "المخدرات" في مستشفيات الصحة النفسية، نظرًا لأن هناك خللًا ونقصًا في المادة المنشطة للمزاج لدى بعض المرضى النفسيين، ولذلك يحتاجون إلى استحداث الخلايا العصبية لإفرازها، تحت الإشراف الطبي بحيث لا تتعد عدة ثوان، أو جزء من الثانية وألا تستخدم أكثر من مرتين يوميًا. وتوقف العلاج بهذه الطريقة - آنذاك – نظرًا لتكلفتها العالية.

عند استخدام المخدرات الرقمية يحاول الدماغ جاهدا أن يوحد الترددين في الأذن اليمنى واليسرى للحصول على مستوى واحد للصوتين، الأمر الذي يترك الدماغ في حالة غير مستقرة على مستوى الإشارات الكهربائية التي يرسلها ومن هنا يختار المروجون لمثل هذه المخدرات، نوع العقار الذي تريده.

من خلال دراسة حالة الدماغ وطبيعة الإشارات الكهربائية التي تصدر عن الدماغ بعد تعاطي نوع محدد من المخدرات يمكن تحديد حالة النشوة المرغوبة، حيث كل نوع من المخدرات الرقمية يمكنه أن يستهدف نمطا معينا من النشاط الدماغي، فمثلا عند سماع ترددات الكوكائين لدقائق محسوبة فإن ذلك سيدفع لتحفيز الدماغ بصورة تشابه الصورة التي يتم تحفيزه فيها بعد تعاطي هذا المخدر بصورة واقعية.

يوجد العديد من انواع المخدرات الرقمية حيث يوجد تردد معين لكل نوع من المخدرات، مثل الكوكائين وميثانفيتامين المعروف بـ"كريستال ميث" وغيرها الكثير، ومنها ما يدفع للهلوسة وآخر للاسترخاء وآخر للتركيز وهكذا.

ملخص الباب

- تتميز الموجات سواء صوتية او ضوئية ببعض الخصائص الفيزيائية مثل ظواهر الانعكاس والانكسار والتداخل والحيود. هذه الظواهر، والتي تلعب دورا هاما في كل من السمع والرؤية.
- في الانعكاس تكون زاوية السقوط مساوية لزاوية الانعكاس، بينما في حالة الانكسار تعتمد زاوية الانكسار على كل من زاوية السقوط والكثافة الضوئية للوسطين.

- إن تداخل الموجات يكون احد نوعين اما تداخل بناء عندما تكون الموجات في نفس الطور او تداخل هدام عندما تكون خارج الطور.
- تنتج الموجات الموقوفة من تداخل موجتين لهما نفس التردد والمقدار وتسافران في اتجاهين متعاكسين.
- عند حيود يعتمد كمية الحيود على الطول الموجي: فكلما كان الطول الموجي أطول، يزداد تفرق الموجة. يكون الحيود الحادث خلف العائق كبيرا فقط إذا كان حجم العائق أصغر من الطول الموجي.
- جميع المواد تنقل الصوت بدرجات متفاوتة، لكن يتطلب الأمر وجود وسط مادي بين المصدر ومتلقي الصوت المنتشر. يكون الاضطراب المنتشر في وسط موصل للصوت على هيئة تضاغطات وتخلخلات متناوبة للوسط، والتي نتجت في البداية بواسطة مصدر الصوت المهتز. هذه التضاغطات والتخلخلات هي مجرد انحرافات في كثافة الوسط عن القيمة المتوسط.
- تعتمد سرعة الموجة الصوتية v على المواد التي ينتشر فيها الصوت. وبشكل عام، تعطى العلاقة بين التردد، والطول الموجي، وسرعة الانتشار بالمعادلة $v = \lambda f$.
- تسمى كمية الطاقة المنتقلة بواسطة موجة الصوت الجيبية في وحدة الزمن خلال وحدة المساحة العمودية على اتجاه انتشار الصوت بشدة الصوت I وتعطى بالعلاقة $I = \frac{P_o^2}{2\rho v}$ حيث ρ هي كثافة الوسط، و v هي سرعة انتشار الصوت.
- تتركب الأذن في العادة إلى ثلاثة أقسام رئيسية: الأذن الخارجية، الأذن الوسطى، والأذن الداخلية. توجد الخلايا الحسية التي تحول الصوت إلى نبضات عصبية في الأذن الداخلية المليئة بسائل. الغرض الرئيسي من الأذن الخارجية والوسطى هو توصيل الصوت إلى الأذن الداخلية. الأذن الوسطى هي تجويف مملوء بالهواء ويحتوي على ربط بين ثلاث عظام تسمى العظيمات التي تربط طبلة الأذن إلى الأذن الداخلية. وتسمى العظام الثلاثة المطرقة، السندان، والركاب. ترتبط المطرقة بالسطح الداخلي لطبلة الأذن، ويتصل الركاب إلى بالنافذه الاهليجية (الاطار البيضاوي)، التي

تكون عبارة عن فتحة مغطاة بغشاء في الأذن الداخلية. تخدم الأذن الوسطى غرض آخر بعد. أنها تعزل الأذن الداخلية من الاضطرابات المتولدة بحركات الرأس، والمضغ، والاهتزازات الداخلية الناتجة عن صوت الشخص نفسه. أيضا، تقدم الأذن الداخلية وظيفة أساسية في توفير إحساسنا بالتوازن.

- تكون الأذن أكثر حساسية لترددات بين **200** و **4000** هرتز، وتقل حساسيتها نحو كل من الترددات الأعلى والاقل. يرتبط الإحساس بحدة الصوت بتردده، حيث تزداد حدة الصوت مع التردد بشكل طردي. يتدهور السمع عند معظم الناس مع التقدم في السن.
- تكون حساسية الاذن جزئيا ناتجة عن البناء الميكانيكي للأذن، الذي يكبر ضغط الصوت. ينتج معظم التكبير الميكانيكي بواسطة الأذن الوسطى. يمكن للمخ بفعالية تصفية الضوضاء المحيطة ويسمح لنا بفصل الأصوات ذات المغزى من الخلفية المليئة بالصوت العالي نسبيا. ويمكن للدماغ أيضا قمع الأصوات بالكامل التي تبدو بلا معنى.
- تبعث الخفافيش موجات صوتية عالية التردد وتكشف عن الأصوات المنعكسة (أصداء) من الأجسام المحيطة بها. تكون حاسة السمع لدى الخفافيش حادة لدرجة انها تستطيع الحصول على معلومات عن البيئة المحيطة من الأصداء.
- يمكن لبعض الحيوانات الاخرى أن تصدر الأصوات بطرق مختلفة، فبعض الحشرات تولد أصوات بحك أجنحتها معا مثل الفراشات، بينما تولد الأفعى المجلجلة الصوت المميز لها (الجلجلة) عن طريق هز ذيلها.
- نظرا لطبيعة الموجات الصوتية وفوق الصوتية، تستخدم هذه الموجات في الكثير من التطبيقات السريرية. في هذا السياق، تخترق الموجات فوق الصوتية الأنسجة وتتشتت وتمتص داخلها. باستخدام تقنيات متخصصة تسمى التصوير بالموجات فوق الصوتية، يكون من الممكن تكوين صور مرئية لإمتصاصات وانعكاسات الموجات فوق الصوتية.
- باستخدام تأثير دوبلر، يكون من الممكن قياس الحركات داخل الجسم. الجهاز الذي بواسطته

يمكن الحصـــول على مثل هذه القياســـات بواســـطة جهاز يســـمى مقياس تدفق بالموجات فوق الصـــوتية، والذي يولد موجات فوق الصـــوتية تتشـــتت بواســـطة خلايا الدم المتدفق في الأوعية الدموية. يتغير تردد الصـــوت المشـــتت بواســـطة تأثير دوبلر. يتم الحصـــول على ســـرعة تدفق الدم بمقارنة التردد الساقط مع تردد الموجات فوق الصوتية المشتتة.

- الـــــهايفو هو علاج بالحرارة العالية، وهو أحد التطبيقات الطبية التي تســـتخدم الحرارة لعلاج الأمراض. يستخدم الـ "هايفو" كأحد طرق العلاج بالموجات الفوق صوتية،
- الضـــوضـــاء من أهم العوامل المؤثرة على صحة الأنســـان ســـواء في بيئة المعيشـــة أو في المؤســـســـات الصـــناعية في ها الفصـــل ســـوف نبين أثرهـــا وطرق الوقاية منها. الضـــوضـــاء فهي تداخل مجموعة أصـــوات عالية وحادة وغير مرغوبة، وتصـــبح هذه الضـــوضـــاء مادة للتلوث ويطلق عليها التلـــــوث الســـمعي عندما ترتفع شـــدة الضـــوضـــاء إلى درجة إزعاج الإنســـان والتشـــويش على تفكيره بل والتأثير على صحته سلبا،
- المخدرات الرقمية هي عبارة عن مقاطع نغمات يتم ســـماعها عبر ســـماعات بكل من الأذنين، يتم بث ترددات معينة في الأذن اليمني على ســـبيل المثال وترددات أقل إلى الاذن اليســـرى. اســـتخدمت لأول مرة لعلاج بعض الحالات النفســـية لشـــريحة من المصـــابين بالاكتئاب ولهذا تم العلاج عن طريق تذبذبات كهرومغناطيسية لفرز مواد منشطة للمزاج،

اختبر معلوماتك

تخير الإجابة الصحيحة للأسئلة التالية **الإجابة**

1-في الانعكاس تكون: **( )**

أ- زاوية السقوط اقل من زاوية الانعكاس

ب- زاوية السقوط مساوية لزاوية الانعكاس

ت- زاوية السقوط أكبر من زاوية الانعكاس

2- تتم ظاهرة الانعكاس في: **( )**

أ- نفس الوسط المادي

ب- في وسطين مختلفين

ت- كل ما سبق

3-يحدث الانكسار عندما تنتقل الموجات في: ( )

أ- نفس الوسط المتجانس

ب- وسطين لهما نفس الكثافة الضوئية

ت- وسطين لهما كثافة ضوئية مختلفة

4- عند تداخل موجتين لهما نفس التردد والمقداروتسافران في اتجاهين متعاكسين ( )

أ- تتولد موجات ذات شدة أكبر

ب- تتولد موجات موقوفة

ت- تتولد موجات ذات شدة أقل

ث- كل ما سبق

5-عندما تواجه موجة عائق فإنها: ( )

أ- تحيد وتنتشر في المنطقة خلف العائق

ب- تحيد تنعكس في المنطقة امام العائق

ت- لا يحدث لها أي شيئ

6-تعتمد كمية حيود الموجات على: ( )

أ- الطول الموجي للموجات

ب- تردد الموجات

ت- كل ما سبق

7- يكون حيود الموجات الحادث خلف العائق كبيرا فقط إذا كان: ( )

أ- حجم العائق اكبر من الطول الموجي

ب- حجم العائق أصغر من الطول الموجي

ت- حجم العائق مساوي للطول الموجي

8-من الخصائص المهمة للصوت هما: ( )

أ- الشدة والتردد

ب- الطول الموجي والتردد

ت- كل ما سبق

9- تعتمد سرعة الموجة الصوتية v على: ( )

أ- التردد والطول الموجي

ب- شده المصدر الذي يولد الصوت.

ت- كل ما سبق

10- الأذن الوسطى هي تجويف: ( )

أ- مملوء بالسائل

ب- مملوء بالهواء

ت- مفرغ من الهواء

11- تربط قناة استاكيوس: ( )

أ- الأذن الوسطى إلى الجزء العلوي من الحلق

ب- الأذن الداخلية إلى الجزء العلوي من الحلق

ت- الأذن الخارجية إلى الجزء العلوي من الحلق

12- في قوقعة الأذن: ( )

أ- تتحول الموجات الصوتية إلى حرارة

ب- تتحول الموجات الصوتية إلى نبضات عصبية

ت- تتحول الموجات الصوتية إلى أصوات

13- من وظائف الأذن الداخلية: ( )

أ- توفير إحساسنا بالشبع

ب- توفير إحساسنا بالسعادة

ت- توفير إحساسنا بالتوازن

ث- كل ما سبق

14- يرتبط الإحساس بحدة الصوت بتردده حيث: ( )

أ- تقل حدة الصوت مع التردد بشكل طردي

ب- تزداد حدة الصوت مع التردد بشكل طردي

ت- لا تتأثر حدة الصوت بتغير التردد

15- تكون حساسية الأذن للصوت: ( )

أ- كبيرة جدا عند عتبة السمع

ب- صغيرة جدا عند عتبة السمع

ت- متوسطة عند عتبة السمع

16- تسمى الموجات بالفوق صوتية: ( )

أ- بسبب قصر الطول الموجي لها

ب- بسبب طول الطول الموجي لها

ت- بسبب علوها عن مستوى سطح البحر

17- في تأثير دوبلر: يعتمد تردد الصوت المكتشف بالمراقب: ( )

أ- على سرعة المصدر

ب- حالة حركة المراقب

ت- على الحركة النسبية بين المصدر والمراقب

ث- كل ما سبق

18- مع اقتراب عربة إطفاء حريق أو عربة إسعاف او قطار منا: ( )

أ- نسمع صوت الصافرة اكثر غلظة (اقل تردد)

ب- نسمع صوت الصافرة اكثر حدة (اعلى تردد)

ت- نسمع نفس صوت الصافرة (نفس التردد)

19- تقنية الهايفو هي تقنية تستخدم الموجات الصوتية: ( )

أ- للعلاج بالحرارة العالية

ب- للعلاج بالحرارة المنخفضة

ت- لتصوير الجنين داخل الرحم

20- تقنية الموجات فوق الصوتية هي تقنية تستخدم في: ( )

أ- التصوير بالرنين النووي المغناطيسي

ب- علاج التهابات العيون

ت- لتصوير الجنين داخل الرحم

21- تعتبر الضوضاء من الملوثات: ( )

أ- البصرية

ب- الكيميائية

ت- السمعية

22- عندما ترتفع شدة الضوضاء إلى درجة عالية فإنها تسبب لها: ( )

أ- انزعاج للإنسان وتشويش على تفكيره

ب- تؤثر على صحته سلبا

ت- توتر وأمراض النفسية وعضوية

ث- كل ما سبق

23- تقاس شدة الصوت بوحدات: ( )

أ- الديسيبل

ب- الأوكتاف

ت- السنتيمتر لكل ثانية

24- تختلف الضوضاء عن غيرها من ملوثات البيئة بسبب: ( )

أ- تعدد مصادرها

ب- انقطاع أثرها بمجرد توقفها

ت- محلية تأثيرها

ث- كل ما سبق

25- تؤثر الضوضاء على : ( )

أ- الانسان فقط

ب- الانسان والحيوانات والنباتات

ت- الانسان والحيوانات والنباتات وربما إلى الجماد

26- المخدرات الرقمية هي: ( )

أ- مواد كيميائية لها تأثير المخدر

ب- قطع من الحلوي تحتوي على مخدرات

ت- مقاطع صوتية تسبب تأثيرات نفسية

التمارين

1- تتناقص شدة الصوت التي ينتجها مصدر نقطي مع مربع المسافة من المصدر. اعتبر ماكينة برشمة كمصدر نقطي للصوت وافترض أن الشدات المدرجة في الجدول 7-1 مقاسة على مسافة

مترواحد من المصدر. ما هي أقصى مسافة التي عندها لا يزال صوت ماكينة البرشمة مسموع؟ (إهمل الفقودات نتيجة امتصاص الطاقة في الهواء).

2- بالاشارة الى الجدول **7-1**، بالتقريب ما مقدارعلو صخب الصوت لشارع مزدحم بحركة المرور عن الصوت من راديو هادئ؟

3- أحسب تغير الضغط المقابل لشدة الصوت تساوي $10^{-16}\ \mathrm{W/cm^2}$. (كثافة الهواء في الصفر المئوي و **1** ضغط جوي هي $1.29\times10^{-3}\ \mathrm{g/cm^3}$؛ بالنسبة لسرعة الصوت إستخدم القيمة $3.3\times10^{4}\ \mathrm{cm/sec}$)

4- أشرح لماذا الأحجام النسبية لطبلة الأذن النافذة البيضاوية تسبب تكبير الضغط في الأذن الداخلية.

5- أشرح كيف يمكن للخفاش ان يستخدم الفروق في محتوى تردد زقزقته وتردد الصدى لتقدير حجم الكائن.

6- مع فاصل زمني بين الزقزقات مقداره **70** مللي ثانية، ما هي أبعد مسافة يمكن للخفاش الكشف عن كائن عندها؟

7- بدلالة نظرية الحيود، ناقش القيود المفروضة على حجم الكائن الذي يمكن للخفاش أن يكشفه بواسطة آليه موقع الصدى الخاصة به.

8- احسب الحد الأدنى لحجم الكائنات التي يمكن الكشف عنها بواسطة موجات فوق صوتية لها تردد يساوي $2\times10^{6}\ \mathrm{Hz}$.

9- بمساعدة كتاب الفيزياء الأساسية، اشرح تأثير دوبلر واستنتج المعادلة **7-6**.

الباب الثامن – البصريات مصورة الكون

المحتوى

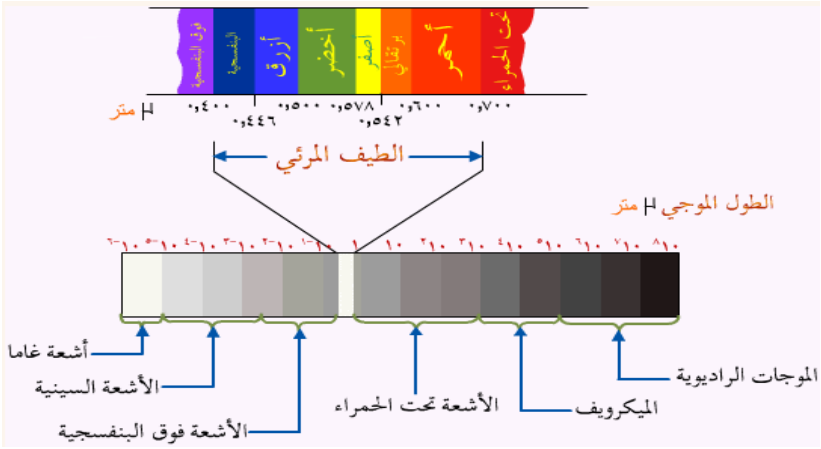
8-1: الضوء والبصريات
8-2: طبيعة وسرعة الضوء
8-3: الرؤية وتركيب العين والتكيف
8-4: التطبيقات الحيوية على التكيف
8-5: العين والكاميرات
8-6: عدسة العين والعين المصغرة
8-7: الشبكية وقدرة فصل العين
8-8: الرؤية
8-9: تمديد الرؤية

الأهداف

- بعد استكمال دراسة هذا الباب يجب أن يكون الدارس قادراً على: -
- تعريف الضوء وما هيه طبيعته وتحديد سرعته.
- شـــرح تركيب العين ومعرفة الكيفية التي تتم بها الرؤية وكيف تتكيف العين لأداء دورها في عملية الأبصار، والإلمام بالتطبيقات الحيوية على التكيف.
- المقارنة بين العين والكاميرا، والالمام بأوجه التشابه بينهما.
- الالمام بدور عدسة العين في عملية الابصار
- فهم الرؤية في ضوء نظام العين المصغرة
- فهم تركيب الشبكية، وتكيف خلاياها لترى في حالتي الضوء الشديد والضعيف.
- مناقشة دور مخاريط الشبكية في قدرة العين في التمييز والفصل لنقاط الصورة.
- فهم الدور الذي قوم به الجهاز العصبي في عملية الرؤية.
- مناقشة حد، وعيوب الرؤية المختلفة، وطرق تصحيح هذه العيوب.
- فهم معنى تمديد الرؤية، وفهم طبيعة عمل كل من (المنظار-المجهر-والمجهرية المتحدة البؤرة-والألياف البصرية) كتطبيقات عملية على تمديد الرؤية.

1-8: الضوء والبصريات

يعرف الضوء هو إشعاع كهرومغناطيسي في منطقة الطول الموجي بين 400 و700 نانومتر (1 نانومتر = 10^{-9} متر). ويبدأ المدى باللون البنفسجي وينتهي باللون الأحمر ونظراً لأن حساسية العين تختلف باختلاف طول موجه الأشعة الضوئية المستقبلة فهي قادرة على التمييز بين الألوان المختلفة وتكون حساسية العين أكبر ما يمكن عند الطول الموجي الذي يقع بين الأخضر والأصفر. على الرغم من أن الضوء هو فقط جزء صغير جدا من الطيف الكهرومغناطيسي شكل (1-8)، إلا انه كان موضوع الكثير من الأبحاث في كل من الفيزياء وعلم الأحياء. تأتي أهمية الضوء من أن دوره الأساسي في الأنظمة الحية.



الشكل 1-8: الطيف المرئي كجزء من مدى الطيف الكهرومغناطيسي.

إن معظم الإشعاع الكهرومغناطيسي من أشعة الشمس الذي يصل إلى سطح الأرض يكون في هذا المدى من الطيف، وقد تطورت الحياة للاستفادة منه. في عملية التمثيل الضوئي تستخدم النباتات الضوء لتحويل ثاني أكسيد الكربون والماء إلى مواد عضوية، التي تعتبر لبنات البناء للكائنات الحية. وقد طورت الحيوانات أجهزة حساسة للضوء وهي تعتبر المصدر الرئيسي للمعلومات عن المناطق المحيطة بها. حتى بعض البكتيريا والحشرات يمكن أن تنتج الضوء من خلال تفاعلات كيميائية.

البصريات: هي واحدة من أقدم فروع الفيزياء، وهي فرع العلم الذي يدرس الضوء. يشمل هذا الفرع

موضـوعات مثل المجاهر والتلسـكوبات، الرؤية، والألوان والأصـباغ، والإضـاءة، والتحليل الطيفي، وأشـعة الليزر، ولكلها تطبيقات في علوم الحياة. في هذا الباب، سـوف نناقش أربعة من هذه المواضـيع: الرؤية، والتلسكوبات والمجاهر، والألياف البصرية. تم مراجعة المعلومات الأساسية اللازمة لفهم هذا الباب في الملحق، ج.

8-2: طبيعة وسرعة الضوء

8-2-1: طبيعة الضوء

أظهرت التجارب، التي أجريت خلال القرن التاسـع عشـر، بشـكل قاطع أن الضـوء يظهر كل خصـائص الحركة الموجية، التي نوقشـت في الباب 6. ومع ذلك، في بداية هذا القرن، تبين بشـكل حاسـم أن مفاهيم الموجة وحدها لا تفسر خصائص الضوء بشكل تام. في بعض الحالات، يتصرف الضوء وغيره من الإشـعاع الكهرومغناطيسـي كما لو كان يتألف من حزم صـغيرة (كمات) من الطاقة. تسـمى حزم الطاقة هذه بالفوتونات. بالنسـبة لتردد معين من الإشـعاع f ، يحمل كل فوتون كمية ثابتة من الطاقة E ،

$$E = h f \qquad \text{8-1}$$

حيث h هو ثابت بلانك، وهو يعادل 6.63×10^{-27} أرج .ثانية.

في مناقشتنا للرؤية، يجب أن نكون على دراية بكل من خصائص الضوء الموجية والكمية. إن خصائص الموجة تفسر كل الظواهر المصاحبة بانتشار الضوء خلال المادة السائبة، والطبيعة الكمية للضوء يجب أن يعتد بها لفهم تأثير الضوء على المستقبلات الضوئية في شبكية العين.

8-2-2: سرعة الضوء

من المعروف أن الضوء ينتشر من مصدره بسرعة محددة. لا تتوقف هذه السرعة على تردد الإشعاع نفسه، فهي واحدة لجميع الأمواج الكهرومغناطيسية. ولكنها تتوقف على كثافة الوسط الضوئية الذي تنتقل فيه.

تعتبر سرعة الضوء في الفراغ هي اقصى سرعة للضوء حيث أن سرعة الضوء في المواد الأخرى هي دائما تقل عن سرعته في الفراغ. عموما سرعة الضوء تكون ثابتة عند مروره في وسط متجانس.

إن سرعة الضوء في الفراغ تعرف بوحدة النظام العالمي(S.I.) على أن قيمتها الدقيقة هي ($C = 299,792,458 m/\sec$) وهو تقريباً $C = 3\times10^8 m/\sec$. وهناك العديد من الطرق لقياس سرعة الضوء. كانت أول محاولة ناجحة لقياس سرعة الضوء بواسطة الفرنسي فيزو في عام **1849** م فلقد استطاع أن يقيس الزمن الذي استغرقه الضوء للانتقال بين جبلين ذهاباً وإيابا تفصلهما مسافة ($8.6Km$) وقد كانت القيمة التي سجلها فيزوا والفريق المعاون له لسرعة الضوء هي ($C = 3.15\times10^8 m/\sec$). العالم الأمريكي مايكسون عام **1878**م استطاع أن يسجل قيمة دقيقة لسرعة الضوء وهي $C = 299,792,458 m/\sec$ هذه القيمة المعروفة لسرعة الضوء في الفراغ.

8-3: الرؤية وتركيب العين والتكيف

8-3-1: الرؤية

الرؤية هي أهم مصادرنا للمعلومات التي تصلنا عبر العالم الخارجي. العين هي المكان الذي تتم فيه عملية الرؤية. تشير التقديرات إلى أن نحو **70**٪ من مدخلات الشخص الحسية يتم الحصول عليها من خلال العين. المكونات الثلاثة للرؤية هي: التحفيز، والذي هو الضوء، والمكونات البصرية للعين، التي هي صورة الضوء، والجهاز العصبي، الذي يعالج ويفسر الصور المرئية.

نرى الأشياء في صورة معتدلة. ولكن في الحقيقة تكوّن العدسة صورة مصغرة مقلوبة على البقعة الحساسة من الشبكية؛ وتترجم تلك الصورة بألوانها في الشبكية إلى إشارات كهروكيميائية تنتقل عن طريق عصب العين إلى الدماغ لمعاملتها. ترى كل عين من العينين صورة للشيء وتقوم الدماغ بدمج الصورتين فنرى صورة مجسمة للشيء.

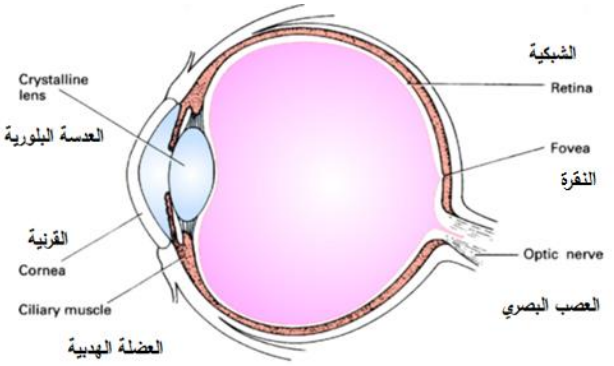
تتم رؤية الألوان بواسطة نوع معين من الخلايا الحساسة لألوان الضوء، تلك هي خلية مخروطية: نوع

من تلك الخلايا المخروطية يرى اللون الأحمر، ونوع يرى اللون الأزرق ونوع ثالث يرى اللون الأخضر. هذا يكفي العين أن تميز جميع الألوان التي نراها للأشياء.

8-3-2: تركيب العين

يبين الشكل 8-2 مخطط يوضح تركيب العين البشرية. تكون العين كروية الشكل تقريبا، بقطر يساوي حوالي 2.4 سم. كل عيون الفقاريات تكون متشابهة في التركيب ولكن تختلف في الحجم. يدخل الضوء العين من خلال القرنية، وهي الجزء الشفاف في الغطاء الخارجي من مقلة العين. يتركز الضوء بواسطة النظام العدسي للعين إلى صورة مقلوبة علي شبكية العين، التي تغطي السطح الخلفي من العين. هنا يولد الضوء نبضات عصبية تنقل المعلومات إلى الدماغ.

يتم تركيز الضوء إلى صورة على شبكية العين بواسطة السطح المنحني للقرنية وبواسطة العدسة البلورية داخل العين. تكون قوة تركيز القرنية ثابتة، ومع ذلك، تكون بؤرة العدسة البلورية قابلة للتغيير، مما يسمح للعين برؤية الأشياء في مدى واسع من المسافات.



الشكل 8-2: تركيب العين البشرية.

أمام العدسة توجد القزحية، وهي التي تتحكم فى حجم البؤبؤ، كما انها فتحة المدخل إلى العين (انظر الباب 6). تبعا لشدة الضوء، يتغير قطر الفتحة من 2 الى 8 مم. يملأ تجويف العين بنوعين من السائل، وكلاهما له معامل انكسار يساوي تقريبا معامل انكسار الماء. يكون الجزء الأمامي من العين، بين العدسة والقرنية، وهو مملوء بسائل مائي يسمى الخلط المائي، ويكون الفراغ بين العدسة

والشبكية مملوء بسائل يسمى المخلوط الزجاجي الهلامي.

8-3-3: التكيف

تكيف العين هي العملية التي من خلالها تقوم عين الفقاريات بتغيير الطاقة الضوئية الداخلة اليها. عند التركيز على كائن ما وما يطرأ عليه من تغييرات في المسافة للمحافظة على صورة واضحة. تكيف العين تتم السيطرة عليه بوعي الكائن الحي المبصر (الثدييات والطيور والزواحف) بواسطة تغيير شكل العدسات المرنة باستخدام (الجسم الهدبي في البشر يصل إلى 15 ديوبتر) . الأسماك والبرمائيات تتباين بالقوة البصرية بواسطة تغيير المسافة بين العدسات الصلبة وشبكية العين مع العضلات .

يكون تركيز العين محكوما بواسطة العضلة الهدبية، والتي يمكن تغيير سماكة وانحناء العدسة. تسمى هذه العملية من التركيز بالتكيف. عندما تسترخي العضلة الهدبية، تصبح العدسة البلورية مسطحة إلى حد ما (بمعنى قوتها تقل)، وتصبح قوة تركيز العين عند أدنى مستوى لها. في ظل هذه الظروف، يتركز الشعاع المتوازى للضوء علي شبكية العين. لأن الضوء من الأشياء البعيدة يكون متوازي تقريبا، فإن العين المسترخاه تكون مهيئة لمشاهدة الأشياء البعيدة، حيث في هذه الحالة تكون المسافة حوالي 6 متروما بعدها (انظر التمرين 1).

إن مشاهدة الأشياء الأقرب تتطلب قوة تركيز أكبر. وبما ان الضوء القادم من الأجسام القريبة يتباعد عند دخوله للعين، بالتالي، فإنه يحتاج الى قوة تركيز أكبر لتتشكل الصورة علي شبكية العين. ومع ذلك، يوجد حد لقوة تركيز العدسة البلورية. مع أقصى تقلص للعضلة الهدبية، تستطيع العين العادية للشاب البالغ أن تركز (ترى) الأشياء التي تبعد عن العين بحوالي 15 سم. الكائنات الأقرب تبدو غيرواضحة. يطلق على أقل مسافة للتركيز الحاد بالنقطة القريبة للعين. يتناقص مدى تركيز العدسة البلورية مع التقدم في السن. النقطة القريبة للطفل البالغ من العمر 10 سنوات يكون حوالي 7 سم، لكن في سن الأربعين تنزاح النقطة القريبة إلى حوالي 22 سم، وبعد ذلك يكون التدهور سريع، حيث في سن الـ 60، تكون النقطة القريبة عند 100 سم تقريبا. يسمى هذا التراجع في تكيف العين مع التقدم

في العمر بطول النظر الشيخوخي (presbyopia).

8-4: التطبيقات الحيوية على التكيف

هناك أمثلة متنوعة توضح تكيف عضو الأبصار (العين) في الكائنات الحية. ويلعب تكيف العين لهذه المخلوقات دورا بارزا في حياة هذه الكائنات , فهو قد يساعد في ممارسة أنشطته المختلفة تارة, وتارة أخرى يساعده على تامين حياته, وإعانته على تحصيل غذائه.

8-4-1: تكيف العين البشرية

يمكن للعين البشرية لشاب تغيير بؤرة العدسة من مسافة إلى 7 سم من العين في 350 مللي ثانية. هذا التغيير المثير في قوة بؤرة العين حوالي 12 ديوبتر (الديوبتر هو 1 مقسوما على الطول البؤري بالمتر) يحدث كنتيجة لانخفاض التوتر النطيقي الناجم عن انقباض العضلات الهدبية .مدى تكيف العين ينخفض مع تقدم العمر. ففي العقد الخامس من العمر ينخفض مدى التكييف البصري بحيث أن أقرب نقطة على العين هي أكثر بعدا من المسافة اللازمة للقراءة. وعندما يحدث هذا يكون المريض مصاب بطول النظر الشيخوخي.بمجرد حدوث طول النظر الشيخوخي، فان أسوياء البصر الذين لم يكونوا يحتاجون تصحيح بصري لمسافة الرؤية سوف يحتاجون إلى مساعدة بصرية للرؤية القريبة ؛ أما أمثالهم المصابون بقصر النظر سوف يجدون أنهم يرون أفضل من مسافة قصيرة من دون تصحيح، أما أولئك الذين يعانون من طول النظر سوف يجدون بأنهم قد يحتاجون تصحيح نظر لكل من الرؤية القريبة ومسافة الرؤية.

8-4-2: تكيف أعين بعض الكائنات الحية

الرؤية عند قرد التارسير

قرد التارسير (Tarsier) حيوان صغير الحجم (بحجم السنجاب) وهو من الثدييات الرئيسية الليلية، يوجد في الغابات المطيرة جنوب شرق آسيا .وهو الثديي الرئيسي الوحيد المفترس بالكامل حيث يتغذى على الحشرات والسحالي وحتى وصل الأمر لصيد الطيور في الجو وهذه ميزة رائعة، عيني

هذا المخلوق هائلتين وهي أكبر من عيني أي حيوان ثديي نسبة لحجم جسمه انظر الشكل (3-8)، إذا كانت عينيك بنفس نسبة حجم عينيه لحجم جسمه فسيكون حجم كل عين من عينيك بحجم فاكهة الجريب فروت، عيني التارسير مثبتتان بالرأس ولا يمكن أدارتهم للنظر وقد عوض برقبة مرنة جداً تدور 180 درجة في كل اتجاه، تزن كل عين من عيني هذا المخلوق وزن اكبر من وزن دماغه.

الشكل 8-3: عيون قرد التارسير.

رؤية قرد التارسير حادة جداً ورؤيته الليلية رائعة وذلك يعود لحجم عينيه، ويعتقد العلماء أن هذه المخلوقات قادرة على الرؤية ما فوق البنفسجية، ومع كل هذا فإن رؤية الألوان ضعيفة جداً لهذا المخلوق كما في الحيوانات ذات الرؤية الليلية الأخرى كالقطط

الرؤية عند الحرباء

تشتهر الحرباء بقدرتها على تغيير لونها، وهذه القدرة تساعدها على تحديد نواياها، والتواصل مع الآخرين والتمويه والاندماج مع البيئة المحيطة. كما تساعد في قدرتها على تغيير لونها، تملك هذه السحالي عيون مذهلة بها جفن يغطي مقلة العين كلها باستثناء فتحة صغيرة تسمح بالرؤية الشكل (4-8) يوضح عين الحرباء، المثير بأنه يمكن توجيه كل عين لمكان مختلف عن الآخر بشكل مستقل.

بهذه الطريقة يمكن للحرباء تفحص الفريسة ومراقبتها وفي نفس الوقت أخذ حيطتها من الأعداء ومن المفترسين ويعني أيضاً أن الحرباء ترى مجال بصري يشمل ° 360 (بمعنى ترى كل ما حولها) وتتمتع الحرباء أيضاً برؤية الأشعة ما فوق بنفسجية.

الشكل 8-4: عيون الحرباء.

الرؤية عند الذبابة مسوقة العينين

تتواجد الذبابة مسوقة العينين (Stalk eyed fly) الصغيرة والمدهشة غالباً في أدغال جنوب شرق آسيا وإفريقيا ونادراً في أوروبا وأمريكا الشمالية. حصلت هذه الحشرات على اسمها من عينها المرتبطة برأسها بساقين طويلتين. عادةَ ما تكون سيقان العينين عند الذكور أطول بكثير من الإناث شكل (8-5). والإناث تميل للذكور طويلي سيقان العينين وخلال مواسم التزاوج تتحدى الذكور بعضها البعض بالوقوف مقابلة وملاصقة لبعض. من تكون سيقانه أطول يفوز بالأنثى. تستطيع هذه الذبابة نفخ وتطويل ساقي عينيه عن طريق ضخ الهواء بها ويفعلوا ذلك غالباً في مواسم التزاوج للفوز بالإناث.

الشكل 8-5: عيون الذبابة مسوقة العيون.

الرؤية عند اليعسوب

اليعسوب(Dragonfly) ربما هو الصياد الجوي الأشرس من بين الحشرات. اليعسوب صاحب أغرب عيون من بين الحشرات فعينيه كبيرة جداً لدرجة أنها تغطي الرأس بالكامل مما يعطيها شكل الخوذة الشكل(8-6). وكذلك رؤية تشمل ° 360درجة (يرى كل ما حوله)، تتكون هذه العيون من 30,000 وحدة بصرية تدعى أوميتيديا وكل وحدة من هذه الوحدات تحوي عدسة وسلسلة من الخلايا الحساسة للضوء، هذه الخلايا حساسة بشكل خاص للحركة مما يتيح لهم الكشف عن أي فريسة أو عدو أو مفترس محتمل في حين لا يمكنه رؤية الألوان ولا الضوء المستقطب.

الشكل 8-6: عيون اليعسوب.

الرؤية عند عنكبوت وجه الغول

عنكبوت وجه الغول (Orge faced spider) يختلف عن باقي العناكب حيث تكون له عينين أو أربع أو ستة أو ثمانية أعين. العنكبوت غولي الوجه يملك ستة أعين، ولكن يبدوا وكأنه يملك اثنتين فقط لأن الأعين الأخرى صغيرة جداً. العنكبوت غولي الوجه يتمتع برؤية ليلية ممتازة وذلك ليس بسبب العينين الكبيرتين شكل (8-7)، ولكن بسبب طبقة حساسة خفيفة جداً من الخلايا تغطي تلك الأعين. هذه الطبقة حساسة جداً للضوء تُدمر في الفجر عند شروق الشمس وتبنى واحدة جديدة

بداية كل ليلة. العناكب غولية الوجه ترى في الليل تماماً كما في النهار مع فقدانها للبســاط الشــفاف (الذي تملكه العناكب الأخرى والحيوانات الأخرى مثل السنوريات).

الشكل 8-7: عيون عنكبوت وجه الغول.

الرؤية عند الوزغ ورقي الذيل

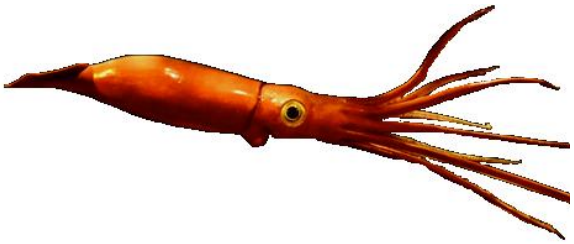
يملـك الوزغ ورقي الـذيـل (Leaf tailed gecko) عينين ســيريـاليتين جميلتين، مقلـة العين رأســية، وعليها ثقوب تتســع في الليل لتســمح لهذه الزواحف بإلتقاط الضــوء بأكبر قدر ممكن، تحوي هذه العيون خلايا أكثر حســاســية للضــوء من العين البشــرية حيث تمكنهم من الرؤية الليلة وكذلك تمكنهم من رؤية الألوان في الليل(الشــكل 8-8). يكون شــكل هذه الأوزاغ غريب بالكامل من عيناه إلى ذيله.

الشكل 8-8: عيون الوزغ ورقي الذيل.

الرؤية عند الحبار العملاق

الحبار العملاق (Colossal squid) هو أضــخم لا فقاري بالمملكة الحيوانية، ولديه أيضــا ثاني أكبر

عينين بالمملكة الحيوانية يمكن أن يصـــل قطر كل عين إلى 30 ســـم (الشـــكل 8-9)، هذه العيون الضخمة تمكن الحيوان من الصيد تحت عمق 2000 متر حيث يقل الضوء بشكل كبير، لدى الحبار العملاق قادرة هائلة على تحديد المسـافة بينه وبين شـيء ما. والحبار الضـخم ينمو ليصـل إلى أكثر من 15 متر, وكل ما كبر حجمه كبر حجم عينيه.



الشكل 8-9: عيون الحبار العملاق.

السمكة ذات الأربع عيون

عُثر على السمكة ذات الأربع عيون (Four eyed fish) هذا النوع من الأسماك في أمريكا الوسطى وكذلك أمريكا الشمالية والجنوبية. يصل طول هذه الأسماك إلى 32 سنتيمتر وتتغذى على الحشرات غالباً. تقضـى هذه الأســماك معظم أوقاتهم على الســطح لأجل صـيد الحشــرات، على الرغم من أن اسـمها السـمكة ذات الأربع عيون فهي تملك عينين اثنتين فقط، ولكن تنقسـم كل عين لقسـمين اثنين, ولكل نصف مقلة خاصة به، الشكل 8-10). هذا التكيف يسمح لهذه الأسماك بالنظر لأعلى بحثاً عن فريسـة. وكذلك النظر تحت الماء تحسـباً للمفترسـات، تم تكييف النصـف العلوي من العينين للرؤية بالهواء والنصف السفلي للرؤية بالماء، على الرغم من أن نصفي المقلة تستخدم العدسة نفسها ولكن هناك اختلاف في سـماكة ومنحنى العدسـة وهذا يعني أنه عندما تغوص السـمكة الشـبح بالكامل يفقد الجزء العلوي التركيز ولحسـن الحظ فإن سـمكة الشـبح تمضـي وقتها كله على السـطح إلا عندما تريد تبليل العلويتين بالماء.

الشكل 8-10: عيون السمكة ذات الأربع عيون.

الرؤية عند سمكة السبوك

سمكة السبوك (Spookfish) سمكة مياه عميقة ويبدو منظرها كالأشباح، تملك هذه السمكة هياكل عظمية للعيون هي الأغرب بين المخلوقات.

الشكل 8-11: سمكة السبوك.

حيث أن كل عين لديها طرف يسمى رتج، عيون هذه السمكة الشكل لا تختلف كثيراً عن بقية المخلوقات (الشكل 8-11)، ولكن ما يجعلها مميزة هو الرتج. والرتج يتكون من مرآة من عدة طبقات من جوانين الكرستال، وهذه المرآة ممتازة في جمع الضوء وعكسه على شبكية العين وهذا يجعل السمكة ترى ما في الأعلى والأسفل بنفس الوقت. كذلك مفيدة في الظلمة حيث تجمع النور وتسلطه على الشبكية لتجهزلها عينان مضيئتان كالسنوريات تمكنها من الرؤية في أعماق البحر. تعيش السبوك في جميع بحار العالم ولكنها نادرة الرؤية بسبب العمق الذي تعيش فيه حوالي 1000 - 2000 متر، تتغذى على القشريات الصغيرة والعوالق وتصل لطول 18 سم.

الرؤية عند السرعوف الروبيان

يملك السرعوف الروبيان (Mantis shrimp) أغرب وأعجب عيون انظر الشكل 8-

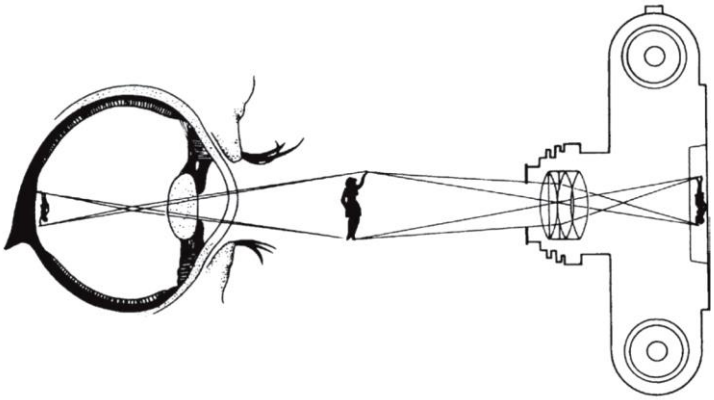
12. السرعوف الروبيان هو أحد القشريات يملك أسلحة هائلة وعدوانية غير طبيعية. منها مخلب حاد يستطيع قسم إصبع الإنسان لقطعتين بسهولة ويستطيع كسر حوض الزجاج الخاص بالأسماك بضربة واحدة. يملك السرعوف عيون مركبة كما في السرعوف مكونة من الوحدات البصرية التي تدعى أوميتيديا لكنها أقل مما في السرعوف حيث أنها مكونة من **10,000** آلاف أوميتيديا. يرى السرعوف الروبيان الألوان بشكل أفضل بكثير من البشر حيث أنه يملك **12** مستقبل للألوان بينما إناث البشر تملك **3** والذكور يملكون **2** فقط، فضلاً عن رؤية الأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء والضوء المستقطب. وبالتالي فإن رؤية السرعوف الروبيان أفضل وأكثر تعقيداً من باقي المخلوقات كلها وهناك أسرار كثيرة في عيون هذه المخلوقات ما زالت تكتشف بعد.

الشكل **8-12**. عيون السرعوف الروبيان.

8-5: العين والكاميرات

على الرغم من أن مصممي كاميرا التصوير لم يقلدوا تركيب العين، إلا أن العديد من السمات في كلاهما متشابهة بشكل ملحوظ، انظر الشكل **8-13**. كل منهما يتكون من نظام عدسي يركز صورة حقيقية معكوسة على سطح حساس. في العين، كما هو الحال في الكاميرا، يتم التحكم في قطر مدخل الضوء بواسطة حجاب حاجز يقوم بتعديل الفتحة مع شدة الضوء المتاحة. في الكاميرا، يتم تركيز الصورة عن طريق تحريك العدسة بالنسبة للفيلم. في العين، المسافة بين شبكية العين والعدسة

تكون ثابتة. يتم تركيز الصورة عن طريق تغيير سمك العدسة.



الشكل 8-13: العين وكاميرا التصوير.

حتى السطوح الحساسة تكون متشابهة إلى حد ما، فكلا الأفلام الفوتوغرافية وشبكية العين تتكون من وحدات حساسة للضوء محددة، ومجهرية في حجمها، وتخضع لتغيرات كيميائية عندما تضاء. (كشف الضوء في الكاميرات الرقمية يستعمل تخزين الشحنة بدلا من التفاعلات الكيميائية.) في الواقع، في ظل ظروف خاصة، يمكن لشبكية العين أن "تتطور"، مثل الفيلم، لإظهار الصورة الساقطة عليها. تجلى ذلك أولا في 1870م على يد الفيزيولوجي الألماني دبليو كونيه (W. Kuhne). لقد قام بتعريض عين أرنب حي لضوء قادم من نافذة حاجزة. بعد 3 دقائق من التعرض للضوء، قتل الأرانب وتم غمر شبكية العين في محلول الشب الذي يثبت تفاعل الشبكية. كانت النافذة الحاجزة مرئية بوضوح على شبكية العين. وبعد سنوات قليلة، قام كونيه بتثبيت شبكية عين من رأس مجرم بالمقصلة. لقد لاحظ صورة، لكنه لم يستطع تفسيرها بدلالة أي شيء قد يكون رأه الرجل قبل ضرب عنقه.

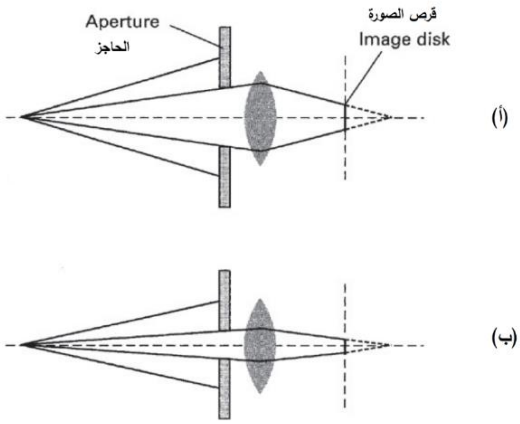
مع ذلك، فالتشابه بين العين والكاميرا هو تشابه ليس تاما. كما سوف نصف لاحقا، فإن العين تذهب أبعد بكثير من الكاميرا فيما تفعلة في معالجة الصور المسقطة على شبكية العين.

8-5-1 القزحية وعمق المجال

القزحية هي الفتحة البصرية للعين، وحجمها يتغير وفقا للضوء المتوفر. إذا كان هناك ضوء كاف، فإن وجودة الصورة تكون أفضل مع أصغر فتحة ممكنة. وهذا ينطبق على كل من العين والكاميرا.

هناك سببين رئيسيين للصورة المحسنة مع صغر الفتحة. تميل العيوب في العدسات إلى أن تكون أكثر وضوحا حول الحواف. إن الفتحة الصغيرة تحد من مسار الضوء إلى مركز العدسة وتزيل التشوهات والانحرافات المتولدة بالمحيط الخارجي للعدسة.

الفتحة الصغيرة أيضا تحسن من جودة صورة الأشياء التي لا تقع في نقطة تركيز (البؤرة) العين أو الكاميرا. تكون الصورة في البؤرة الصحيحة على شبكية العين (أو الفيلم) فقط للأشياء الموجودة على مسافة محددة من نظام العدسة. صور الأشياء التي لا تكون عند هذا المستوى (المسافة) تكون مشوهة على شبكية العين، انظر الشكل 8-14؛ وبعبارة أخرى، تظهر النقطة التي لا تقع في البؤرة المحددة كقرص على شبكية العين. تعتمد كمية الضبابية (عدم الوضوح) على حجم الفتحة (فتحة الحاجز).



الشكل 8-14: حجم قرص الصورة: (أ) مع فتحة حاجز كبيرة، (ب) مع فتحة حاجز صغيرة.

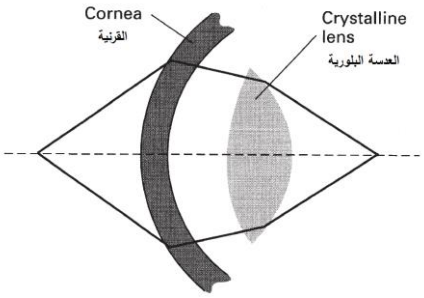
كما هو مبين في الشكل 8-14، الفتحة الصغيرة تقلل من قطر البقعة الضبابية، وتسمح بتشكيل صورة واضحة نسبيا للأشياء التي لم تكن في مستوى بؤرة العين. يسمى مدى مسافات الشيء على التي

على مداها تتشكل صورة جيدة لوضع معين من التركيز يسمى عمق المجال. من الواضح أن الفتحة الصغيرة تزيد من عمق المجال. يمكن إثبات أن عمق المجال يتناسب عكسيا مع قطر الفتحة (انظر التمرين 2).

6-8: عدسة العين والعين المصغرة

1-6-8: نظام عدسة العين

يتولد تركيز الضوء إلى صورة حقيقية مقلوبة على الشبكية بالانكسار الناتج بالقرنية والعدسة البلورية، انظر الشكل 15-8. يمكن حساب تركيز أو قوة الانكسار للقرنية والعدسة باستخدام المعادلة 9-ج، (الملحق ج). يبين الجدول 1-8 البيانات المطلوبة للحساب.



الشكل 15-8: التركيز بواسطة القرنية والعدسة البلورية.

الجدول 1-8: متغيرات (بارامترات) العين.

	نصف القطر (مم)		
	أمامي	خلفي	معامل الانكسار
القرنية	7.8	7.3	1.38
العدسة، أدنى قوة	10.0	6.0-	
العدسة، أقصى قوة	6.0	5.5-	1.4
السائل الزجاجي والهلامي			1.33

يحدث الجزء الأكبر من التركيز، حوالى الثلثين، بواسطة القرنية. تكون قوة العدسة البلورية صغيرة

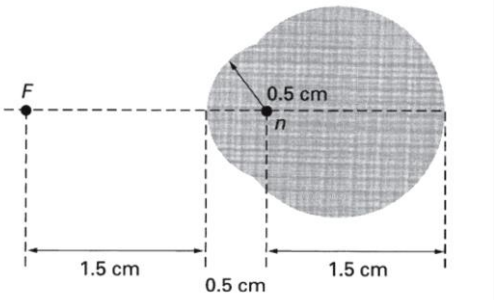
لأن معامل انكسارها أكبر بقليل فقط من معامل انكسار السائل المحيط. في التمرين 3، تم بيان أن القوة الانكسارية للقرنية هي 42 ديوبتر، والقوة الانكسارية للعدسة البلورية تتغير تقريبا بين 19 و 24 ديوبتر.

تقل قوة الانكسار للقرنية إلى حد كبير عندما تكون متصلة مع الماء (انظر التمرين 4). ونظرا لأن العدسة البلورية في العين البشرية لا يمكن أن تعوض عن قوة القرنية الناقصة فإن العين البشرية تحت الماء لا تكون قادرة على تشكيل صورة واضحة على الشبكية وتكون الرؤية غير واضحة. في عيون السمك، والتي تطورت للرؤية تحت الماء، أعدت العدسة لتقوم بأغلب التركيز. تكون العدسة كروية تقريبا، ولها قوة تركيز أكبر بكثير من العدسات في عيون الحيوانات البرية (انظر التمرين 5).

8-6-2:العين المصغرة

دعونا نتبع مسار أشعة الضوء خلال العين بدقة، يجب أن نحسب انكسار أربعة سطوح (اثنان في القرنية واثنين في العدسة). يمكننا تبسيط هذه العملية الشاقة بنموذج يسمى العين المصغرة، كما هو موضح في الشكل 8-16. هنا يفترض أن كل الانكسار يحدث في السطح الأمامي للقرنية، والذي شيد ليكون له قطر يساوي 5 ملم. يفترض أن العين تكون متجانسة، مع معامل انكسار يساوي 1.333 (نفس معامل انكسار الماء). تقع شبكية العين على بعد 2 سم خلف القرنية. النقطة العقدية n هي مركز انحناء القرنية وتقع على بعد 5 مم خلف القرنية.

بشكل وثيق، يمثل هذا النموذج عين مسترخية والتي تركز الضوء المتوازي على شبكية العين، كما يمكن التأكد منه باستخدام المعادلة 9-ج. بالنسبة للعين المصغرة، يختفي الحد الثاني على الجانب الأيمن من المعادلة لأن الضوء يتركز خلال العين المصغرة بالتالي $n_L = n_2$. لذلك، تبسط المعادلة 9-ج إلى الصورة،



الشكل 8-16: مخطط للعين المصغرة.

$$\frac{n_1}{p}+\frac{n_L}{q}=\frac{n_L-n_1}{R} \qquad \textbf{8-2}$$

حيث $n_1=1$ ، $n_L=1.333$ ، و $R=0.5$ cm . **وبما أن الضوء القادم يكون متوازي، فإن مصدره يكون في ما لا نهاية (أي أن،** $p=\infty$ **). لذلك، تعطى المسافة** q **التي يتركز الضوء المتوازي عندها بالمعادلة،**

$$\frac{1.333}{q}=\frac{1.333-1}{5}$$

أو

$$q==\frac{1.333\times 5}{0.333}=20\text{ mm}$$

تقع نقطة البؤرة الأمامية F **للعين المصغرة أمام القرنية بـ 15 مم أمام القرنية. هذه هي النقطة التي عندها يتركز الضوء المتوازي الناشئ داخل العين عندما يخرج منها (انظر التمرين 6).**

بالرغم من أن العين المصغرة لا تحتوي صراحة على آلية التكيف، إلا أننا يمكننا استخدام النموذج لتحديد حجم الصورة المتكونة على شبكية العين. يبين الشكل 8-17 بناء مثل هذه الصورة. تسقط الأشعة من النقاط المحددة للجسم A **و** B **خلال النقطة العقدية على شبكية العين. تكون النقاط المحددة للصورة على شبكية العين هي** a **و** b **. هذا البناء يفترض أن كل الأشعة من نقطة** A **و** B **التي تدخل العين تتركز على الشبكية في نقطة** a **و** b **، على التوالي. تتركز الأشعة من جميع النقاط الأخرى على الجسم في المقابل بين هذه الحدود. المثلثات** AnB **و** anb **تكون متشابهة. لذا، فإن**

العلاقة بين حجم الجسم إلى حجم الصورة تعطى بالمعادلة،

$$\frac{\text{Object size}}{\text{Image size}} = \frac{\text{Distance of object from nodal point}}{\text{Distance of image from nodal point}} \qquad \textbf{8-3}$$

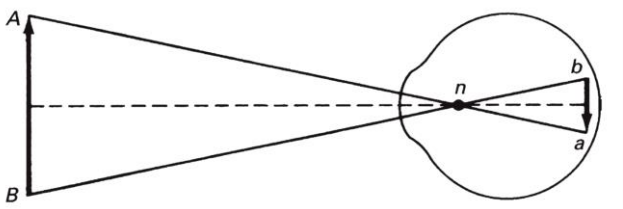
أو

$$\frac{AB}{ab} = \frac{An}{an}$$

أنظر كمثال، صورة لشخص طوله **180** سم يقف على بعد مترين من العين. يكون ارتفاع الصورة الكاملة علي الشبكية هو

$$\text{Height of image} = 180 \times \frac{1.5}{205} = 1.32 \text{ cm}$$

يكون حجم الوجه في الصورة حوالي **1.8** مم، والأنف حوالي **0.4** مم.



الشكل **8-17**: تعيين حجم الصورة على الشبكية.

8-7: الشبكية و قدرة فصل العين

8-7-1: تركيب الشبكية

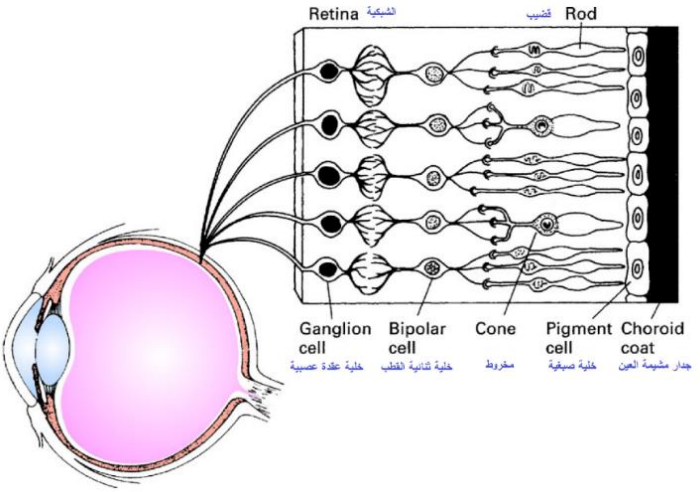
تتكون الشبكية من خلايا مستقبلة (مستقبلات) للضوء متصلة مع شبكة معقدة من الخلايا العصبونات والألياف العصبية التي ترتبط إلى الدماغ عبر العصب البصري انظر الشكل **8-18**. يولد الضوء الممتص بالخلايا المستقبلة للضوء نبضات عصبية تنتقل على طول الشبكة العصبية ومن ثم خلال العصب البصري إلى الدماغ. تقع مستقبلات الضوء خلف الشبكة العصبية، وبالتالي فإن الضوء لا بد أن يمر من خلال هذه الطبقة الخلوية قبل أن يصل إلى مستقبلات للضوء.

هناك نوعان من الخلايا المستقبلة للضوء في شبكية العين هما: المخاريط والقضبان. المخاريط هي

المسؤولة عن الرؤية الحادة للألوان في النهار، بينما توفر القضبان الرؤية في الضوء الخافت.

بالقرب من مركز الشبكية توجد انخفاض صغير بقطر يساوي **0.3** مم تقريبا يسمى النقرة أو الحفرة . أنها تتألف بشكل كامل من مخاريط معبأة معا بشكل مكثف. يكون كل مخروط بقطر يساوى **0.002** مم (**2** ميكرون) تقريبا. إن الرؤية الأكثر تفصيلا يتم الحصول عليها في جزء الصورة الساقط على النقرة. عندما تفحص العين مشهد ما، فإن تسقط المنطقة ذات الاهتمام الأكبر على النقرة.

تحتوي المنطقة المحيطة بالنقرة على كل مخاريط وقضبان، وتصبح بنية شبكية العين أكثر خشونة كلما ابتعدنا عن النقرة. تتناقص نسبة المخاريط، حتى بالقرب من الحافة تكاد تتكون الشبكية تماما من قضبان فقط. في النقرة، يملك كل مخروط مساره الخاص إلى العصب البصري، وهذا يسمح بادراك التفاصيل في الصورة المعروضة على النقرة. بعيدا عن النقرة، يقترن عدد من المستقبلات على مسار العصب نفسه، وهذا يقلل من التباين، ولكن تزداد الحساسية للضوء والحركة.



الشكل 8-18: تركيب الشبكية.

مع أخذ بنية شبكية العين في الاعتبار، دعونا نبحث كيف يمكننا رؤية مشهد من مسافة حوالي **2** متر. من هذه المسافة، يمكننا، في أي لحظة واحدة، أن نرى بوضوح كبير كائن واحد فقط بقطر **4** سم تقريبا. كائن بهذا الحجم يعطي صورة على الشبكية بحجم النقرة تقريبا.

ترى الأشـياء ذات القطر **20** سـم بوضـوح لكن ليس بالحدة الكاملة. يظهر محيط الأجسـام الكبيرة بالتدريجي أقل وضوحا. وهكذا، على سبيل المثال، إذا ركزنا على وجه الشخص يبعد مترين، يمكننا أن نرى بوضوح تفاصيل الوجه، مع ذلك يمكننا التقاط جزء ثانوي بحجم الفم فقط بشكل أكثر وضوحا. في الوقت نفسه، يمكننا أن ندرك أذرع وسيقان الشخص، مع ذلك لا يمكننا الكشف عن تفاصيل حذائه، على سبيل المثال.

8-7-2: قدرة فصل العين

حتى الآن في مناقشتنا لتشكيل صورة استخدمنا البصريات الهندسية، التي تهمل حيود الضوء. تفترض البصريات الهندسية أن الضوء من مصدر نقطي يتركز في صورة نقطية. هذه ليست القضية. عندما يمر الضوء خلال فتحة حاجز مثل القزحية، يحدث حيود، وتنتشر الموجة حول حواف فتحة الحاجز. (إذا لم توجد فتحات حواجز صغيرة في المسار البصري، فإن العدسة نفسها تعتبر حاجز.) ونتيجة لذلك، لا يتركز الضوء في نقطة حادة ولكن في نمط حيود يتكون من قرص تحيط به حلقات من متناقصة الكثافة.

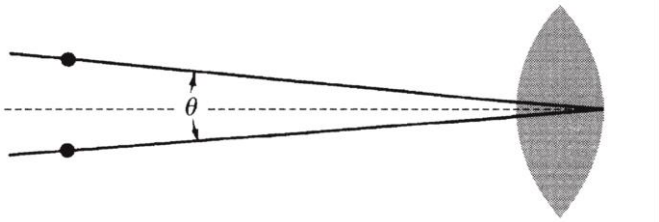
إذا نشأ ضوء من إثنين من المصادر النقطية القريبين، قد تتداخل أقراص الصورة الخاصة بهما، مما يجعل من المستحيل التمييز بين النوعين من النقاط. يمكن للنظام البصري الفصل (تبين) بين نقطتين إذا ظلت أنماط الحيود الخاصة بهما قابلة للتمييز. يتوقع هذا المعيار وحده أن النقطتين تكونا منفصلتان(متمايزتان أو متباينتان)، انظر الشكل **8-19**، إذا كان الفصل الزاوي بين الخطوط التي تصل النقاط إلى مركز العدسة يساوي أو أكبر من قيمة حرجة تعطى بالعلاقة.

$$\theta = \frac{1.22\ \lambda}{d} \qquad \textbf{8-4}$$

حيث λ هو الطول الموجي للضوء و d هو قطر الفتحة. تعطي الزاوية θ بوحدات الراديان (**1** راد = **57.3**°). مع الضوء الأخضر (**500** = λ نانومتر)، وقطر قزحية **0.5** سم، تكون هذه الزاوية هي **1.22**× **10**$^{-4}$ راد. وقد أظهرت التجارب أن العين لا تقوم بهذا بشكل جيد. فمعظم الناس لا يمكن تباين

(فصل) نقطتين بواسطة فصل زاوي أقل من **5** راد.

من الواضح أن هناك عوامل أخرى تحد من قوة تبين العين. إن العيوب الموجودة في نظام عدسة العين بالتأكيد تعرقل التبين. لكن ربما الأهم من ذلك هي القيود التي تفرضها بنية الشبكية.



الشكل **8-19**: تنفصل النقطتان اذا كانت الزاوية θ اكبر من $1.22\ \lambda / d$.

تكون المخاريط في النقرة المعبأة بشكل مكثف بقطر **2** ميكرون تقريبا. لفصل نقطتين، يجب على الضوء القادم من كل نقطة أن يركز على مخروط مختلف ويجب أن تكون المخاريط المثارة منفصلة عن بعضها البعض بمخروط واحد غير مثار على الأقل. وهكذا علي شبكية العين، تكون صور النقطتين المنفصلتين متباعدة بما لا يقل عن **4** ميكرون. إن مخروط غير مثار واحد بين نقاط الإثارة يدل على دقة زاوية مقدارها حوالي 3×10^{-4} راد (انظر التمرين 7( )). بعض الناس مع رؤية حادة تستطيع تبين النقط مع هذا الفصل، لكن لا يمكن لمعظم الناس فعل ذلك. يمكننا تفسير قيود قوة التبين التي تظهرها معظم العيون الطبيعية إذا افترضنا أنه لإدراك صور نقطية واضحة، يجب أن يكون هناك ثلاثة مخاريط غير مثارة بين مناطق الإثارة. حينئذ، تكون قوة الفصل الزاوية، كما لوحظ، هي 5×10^{-4} راد (انظر التمرين 7( )).

دعونا الآن نحسب حجم أصغر تفاصيل يمكن للعين المجردة أن تتبينه. لمراقبة أدق التفاصيل، يجب أن يوضع الجسم في أقرب نقطة يمكن للعين تركيزها. على افتراض أن هذه المسافة هي **20** سم من العين، فإن الزاوية المقابلة لنقطتين بينهما مسافة x ا،نظر الشكل**8-20**. تعطى بالعلاقة،

$$\tan^{-1}\frac{\theta}{2} = \frac{x/2}{20} \qquad \textbf{8-5}$$

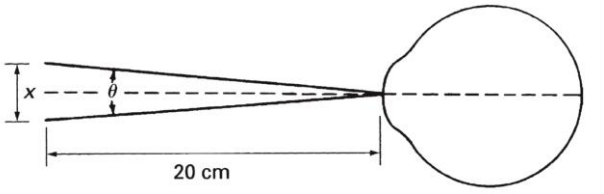
إذا θ صغيرة جدا، كما هو الحال في المسألة لدينا، فإن ظل الزاوية يساوي الزاوية نفسها و

$$\theta = \frac{x}{20}$$

بما أن أصغر زاوية قابلة للفصل هي 5×10^{-4} راد، فإن اصغر تفاصيل قابلة للتباين x هي

$$x = 5 \times 10^{-4} \times 20 = 100\,\mu\text{m} = 0.1\,\text{mm}$$

باستخدام المعيار نفسه، يمكننا أن نبين (انظر التمرين **8**) أن السمات الوجهية مثل بياض العين تكون مرئية بوضوح من مسافة تبعد **20** سم.



الشكل 8-20: مفهوم قوة تبين العين.

8-8: حد ومد الرؤية

لا يمكن تفسير الرؤية بالكامل بواسطة البصريات الطبيعية للعين. هناك العديد من المستقبلات الضوئية في شبكية العين أكثر من الألياف في العصب البصري. لذلك، من الواضح أن الصورة المعروضة على شبكية العين لا تنقل ببساطة نقطة بنقطة إلى الدماغ. هناك كمية كبيرة من معالجة الإشارات تحدث في الشبكة العصبية للشبكية قبل أن تنتقل الإشارات إلى الدماغ. الشبكة العصبية "تقرر" أي سمات للصورة هي الأهم وتؤكد انتقال تلك السمات. في الضفادع، على سبيل المثال، تنظم العصبونات في شبكية العين للاستجابة الأكثر نشاطا لحركات الأجسام الصغيرة.

الذبابة التي تطير عبر مجال رؤية الضفدعة سوف تولد استجابة عصبية شديدة، وإذا كانت الذبابة قريبة بما فيه الكفاية، فإن الضفدع سوف تضرب بلسانها لالتقاط الذبابة. على الجانب الأخر، عندما يتحرك كائن كبير، ليس غذاء للضفدع، في مجال الرؤية نفسه فإنه لن يثير أي استجابة عصبية. من الواضح أن نظام المعالجة البصرية للضفدع يعزز قدرتها على التقاط الحشرات الصغيرة

في حين يخفض احتمال التعرض للكائنات الأكبر، والتي ربما تكون مخلوقات خطرة تمر بالجوار.

تمتلك العين البشرية أيضا آليات معالجة هامة. لقد تبين أن حركة الصورة تكون ضروري لرؤية الإنسان كذلك. في عملية معالجة رؤية كائن، تنفذ العين حركات صغيرة سريعة، 30-70 حركة في الثانية الواحدة، والتي تغير مكان الصورة تغير طفيف على شبكية العين. تحت الظروف التجريبية، يكوون من الممكن منع حركة العين وثبيت مكان الصورة على الشبكية، ولقد وجد أنه في ظل هذه الظروف، تتلاشى الصورة التي يراها الشخص بشكل تدريجي.

8-8-1: حد الرؤية

يحدث الإحساس بالرؤية عندما يتم امتصاص الضوء بواسطة القضبان والمخاريط الحساسة للضوء. عند المستويات المنخفضة للضوء، تكون مستقبلات الضوء الرئيسية هي القضبان. يولد ضوء تغيرات كيميائية في خلايا المستقبلات والتي تقلل من حساسيتها. للحصول على أقصى قدر من الحساسية يجب أن تبقى العين في الظلام (تكيف الظلام) لمدة 30 دقيقة لاستعادة التركيب الكيميائي للخلايا المستقبلة للضوء.

تحت الظروف المثلى، تكون العين كاشف حساس جدا للضوء. على سبيل المثال، تستجيب العين البشرية للضوء من شمعة تبعد 20 كم. عند حد (عتبة) الرؤية، تكون شدة الضوء صغيرة جدا لدرجة أنه يجب أن نصفها بدلالة الفوتونات. تشير التجارب إلى أن مستقبل الضوء الفردي (قضيب) يكون حساس لكم واحد من الضوء. ومع ذلك، هذا لا يعني أن العين يمكن أن ترى فوتون واحد يسقط على القرنية. في مثل المستويات المنخفضة للضوء هذه، تكون عملية الرؤية إحصائية.

في الواقع، تبين القياسات أن حوالي 60 كمة ضوء يجب أن تصل على شبكية للعين لتستقبل ومضة. يتم إمتصاص ما يقرب من نصف الضوء أوينعكس خلال الوسط العيني. تنتشر الفوتونات الـ 30 الواصلة إلى شبكية العين على مساحة تحتوي على حوالي 500 من القضبان. تم تقدير أن 5 فقط من هذه الفوتونات تمتص فعليا بواسطة قضبان. لذلك، يبدو أنه لا يقل عن 5 خلايا مستقبلة للضوء

يجب أن تكون محفزة لكي تدرك الضوء.

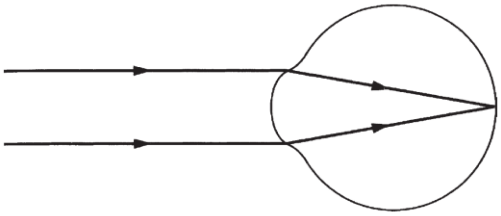
الطاقة الموجودة في فوتون واحد تكون صغيرة جدا. بالنسبة للضوء الأخضر، الذي يبلغ طوله الموجي **500** نانومتر، تكون طاقة الفوتون هي،

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63\times10^{-27}\times3\times10^{10}}{5\times10^{-5}}$$
$$= 3.98\times10^{-12}\ \text{erg}$$

مع ذلك، تكون هذه الكمية من الطاقة كافية لبدء تغيير كيميائي في جزيء واحد الذي حينئذ يقدح سلسلة من الأحداث التي تؤدي إلى توليد النبضة العصبية.

8-8-2: عيوب الرؤية

هناك ثلاثة عيوب شائعة في الرؤية المرتبطة بنظام تركيز العين: حسر البصر (قصر النظر، **Myopia**)، مد البصر (طول النظر، **Hyperopia**)، والإستجماتزم (**astigmatism**). أول اثنين من هذه العيوب من الأفضل يتم تفسيرهما بفحص تصوير الضوء المتوازي بواسطة العين.

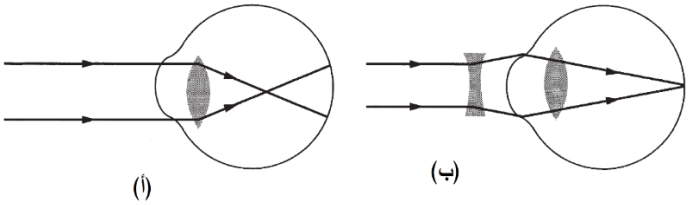


الشكل **8-21**: العين الطبيعية.

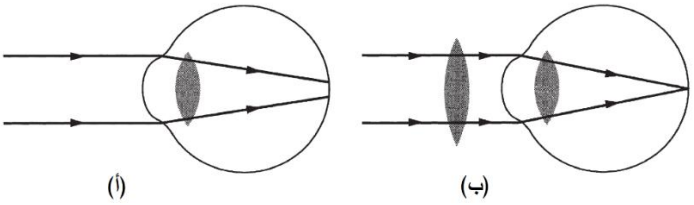
تركز العين العادية المسترخية الضوء المتوازي على شبكية العين، الشكل **8-21**. في العين المصابة بقصر النظر يركز النظام العدسي الضوء المتوازي أمام شبكية العين، الشكل **8-22**(أ). عادة ما يتسبب سوء التركيز هذا، باستطالة مقلة العين أو بالانحناء المفرط للقرنية. في مد البصر تنعكس المشكلة، انظر الشكل **8-23**(ب) ، ويتركز الضوء المتوازي خلف شبكية العين. تحدث المشكلة هنا بواسطة مقلة عين أقصر من المعتاد أو عدم كفاية قوة التركيز العين. يمكن للعين المصابة بطول النظر

أن تستوعب الأشياء الموجودة في اللانهاية، ولكن نقطتها القريبة تكون أبعد مما هي في العين الطبيعية. بالتالي، يكون طول النظر مشابه لطول النظر الشيخوخي. يمكن تلخيص هذين العيبين كما يلي: تجمع العين المصابة بقصر النظر الضوء أكثر من اللازم، والعين المصابة بطول النظر لا تجمع الضوء بالشكل الكافي.

الإستجماتزم هو خلل تسببه القرنية غير الكروية. على سبيل المثال، القرنية البيضاوية-الشكل تكون أكثر انحناء على طول مستوى واحدة منه للمستوى الآخر؛ وبالتالي، فإنها لا يمكنها أن تشكل صورا حادة في وقت واحد لخطين متعامدين. يكون أحد الخطوط دائما خارج التركيز، مما يؤدى إلى تشوش الرؤية.

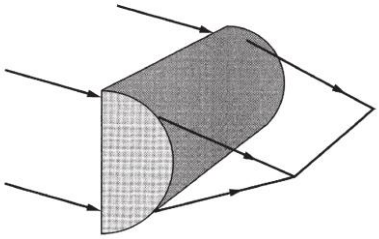


الشكل 8-22: (أ) قصر النظر. (ب) تصحيحه.



الشكل 8-23: (أ) طول النظر. (ب) تصحيحه.

يمكن تصحيح كل العيوب الثلاثة عن طريق عدسات توضع أمام العين. يحتاج قصر النظر عدسة مفرقة لتعويض الانكسار الزائد في العين. يتم تصحيح طول البصر بواسطة عدسة مجمعة، الأمر الذي يزيد من قوة تركيز العين. يتم تعويض انحناء القرنية غير المتكافئ في الإستجماتزم بواسطة عدسة أسطوانية (الشكل 8-24)، والذي يركز الضوء على طول محور واحد فقط وليس على طول المحور الآخر.



الشكل 8-24: عدسة أسطوانية لمعالجة الإستجماتزم.

8-8-3: تصحيح عيوب الرؤية

عدسة لقصر النظر

دعونا نفترض أن أبعد جسم يمكن أن تراه العين المصابة قصر النظر بشكل صحيح يكون على بعد 2 متر من العين، وهذا ما يسمى بأبعد نقطة للعين. الضوء من الأجسام الأبعد من هذه المسافة يتركز أمام شبكية العين (الشكل 8-22(أ)). هنا الغرض من النظارة الطبية (عدسات تصحيح) هو جعل الضوء المتوازي يبدو كما لو كان يأتي من أبعد نقطة للعين (في هذه الحالة، 2 متر). مع مثل عدسات التصحيح هذه، تكون العين قادرة على تشكيل صور الأشياء الموجودة على طول الطريق إلى ما لا نهاية.

يتم الحصول على البعد البؤري للعدسة باستخدام المعادلة 6-ج، على النحو،

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$$

هنا p ما لا نهاية، وهي المسافة الفعالة لمصادر الضوء المتوازي. يكون المكان المطلوب q للصورة التقديرية هو -200 سم. بالتالي، يكون البعد البؤري للعدسة المفرقة (انظر المعادلة 4-ج) هو،

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{\infty}+\frac{1}{-200} \quad \text{or} \quad f=-200\ \text{cm}\equiv 0.5\ \text{diopters}$$

عدسة لطول النظر الشيخوخي ولمد البصر

في هذه العيوب، لا يمكن للعين أن تركز بشكل صحيح على الأشياء القريبة. النقطة القريبة تكون

بعيدة جدا من العين. الغرض من هذه العدسة هو جعل الضوء من الأشياء القريبة يبدو كما لو كان يأتي من نقطة قريبة لعين سليمة. دعونا نفترض أن عين مصابة بطول النظر لها نقطة قريبة عند **150** سم. العدسة المطلوبة هي التي تسمح للعين برؤية الأشياء الموجودة على مسافة **25** سم. يتم الحصول على البعد البؤري للعدسة، مرة أخرى، من المعادلة **6**-ج،

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$$

p هنا مسافة الجسم وتساوي **25** سم و p تساوي -**150** سم، وهي مسافة الصورة التقديرية عند النقطة القريبة، ويكون البعد البؤري للعدسة المجمعة هو،

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{25\text{cm}}-\frac{1}{150\text{cm}} \quad \text{or}$$
$$f = 30\text{ cm} = 33.3\text{ diopters}$$

8-9: تمديد الرؤية بواسطة البصريات

إن مدى رؤية العين يكون محدود. لا يمكن رؤية تفاصيل الأجسام البعيدة بسبب أن صورها على شبكية العين تكون صغيرة جدا. فالصورة على الشبكية لشجرة ترتفع **20** مترا وموجودة على مسافة **500** متر يكون ارتفاعها **0.6** مم فقط. لذلك لا يمكن تبين الأوراق على هذه الشجرة بواسطة العين المجردة (انظر التمرين **9**). إن رصد الأجسام الصغيرة يكون مقيدا بقوة تكيف العين. لقد أظهرنا بالفعل أنه، نظرا لأن العين المتوسطة لا يمكن أن تركز الضوء من الأجسام الأقرب من حوالي **20** سم، فإن قوة تبينها تقتصر على **100** ميكرون تقريبا.

البصريات هي الأجهزة التي تستخدم الضوء وتساعد على رؤية ما لم تراه العين المجردة. على مدى السنوات الـ **300** الماضية، تم تطوير نوعين من الأجهزة البصرية لتوسيع (لتمديد) نطاق الرؤية هما: المنظار والمجهر. تم تصميم المنظار لرصد الأجسام البعيدة، بينما يستخدم المجهر لرصد الأجسام

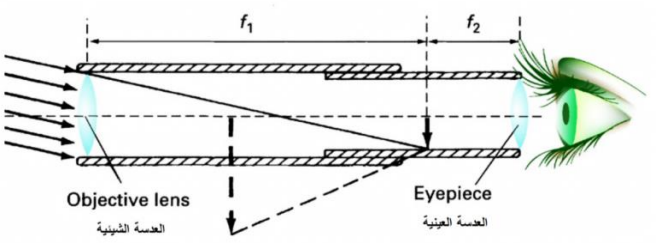
الصغيرة التي لا يمكن رؤيتها بوضوح بالعين المجردة. تستند كل من هذه الأدوات على خصائص التكبير للعدسات. وسيلة المساعدة للرؤية الثالثة الأحدث هي المنظار الليفي الذي يستخدم الانعكاس الكلي الداخلي للتمكن من تصوير الأشياء الخفية في العادة عن الأنظار.

9-8-1: المنظار

يبين الشكل 8-25 رسم تخطيطي يبين عمل المنظار (التليسكوب) البسيط. يدخل الضوء المتوازي القادم من الجسم إلى العدسة الأولى، وتسمى العدسة الشيئية أو الشيئية، والتي تشكل صورة حقيقية مقلوبة للجسم البعيد. ونظرا لأن الضوء من الجسم البعيد يكون متوازي تقريبا، تتشكل الصورة في المستوى البؤري للعدسة الشيئية. (يظهر الرسم أشعة الضوء من نقطة واحدة فقط على الجسم.) العدسة الثانية، وتسمى العدسة العينية، تضخم الصورة الحقيقية. يتم ضبط المنظار بحيث تسقط الصورة الحقيقية التي شكلتها العدسة الشيئية بالكاد ضمن البؤري لعدسة العينية. ترى العين صورة التقديرية المكبرة المتكونة بالعدسة العينية. يعطى التكبير الكلي (نسبة حجم الصورة إلى حجم الجسم) بالعلاقة،

$$\text{Magnification} = -\frac{f_1}{f_2} \qquad \textbf{8-6}$$

حيث f_1 و f_2 هما الأبعاد البؤرية للعدسات الشيئية والعينية على التوالي. كما يمكن أن يرى من المعادلة 8-6، يتم الحصول على أكبر تكبير مع البعد البؤري الأطول للشيئية والبعد البؤري الأقصر للعينية.

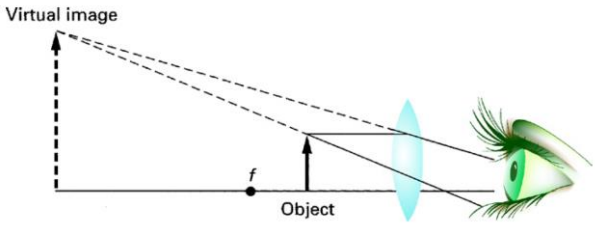


الشكل 8-25: مخطط يبين تركيب المنظار.

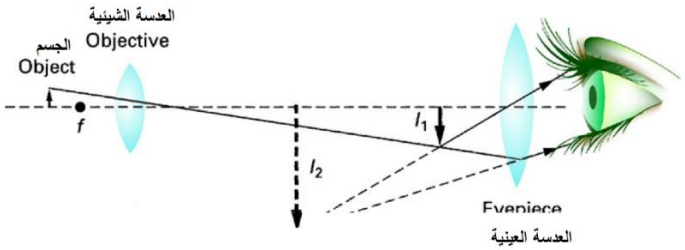
9-8-2: المجهر

يتكون المجهر (الميكروسكوب) البسيط من عدسة واحدة لتكبير الجسم. مع ذلك، يمكن الحصول على نتائج أفضل مع المجهر المركب المتكون من نظام العدستين، كما هو موضح في الشكل **8-16**. المجهر المركب، مثل المنظار، يتكون من عدسة شيئية وعدسة عينية، ولكن للعدسة الشيئية في المجهر بعد بؤري القصير. انه يكون صورة حقيقية، I_1 ، للجسم. ترى العين الصورة النهائية المكبرة، I_2 ، التي تكونها العدسة العينية.

المجهر هو أداة هامة في مجال علوم الحياة. لقد كان اختراعه في عام **1600**م إيذانا ببدء دراسة الحياة على المستوى الخلوي. انتج المجهر المبكر صورا مشوهة للغاية، لكن مع سنوات من التطوير أتقن الجهاز تقريبا إلى مستواه النظري العالي. في دراسة خصائص حيود الضوء تتشابه أفضل المجاهر الحديثة في القوة، وقد تحددت نصف الطول الموجي للضوء تقريبا. بعبارة أخرى، مع مجهر حديث جيد، يمكننا رصد أجسام صغيرة بحجم نصف طول موجة الضوء المستخدم.



الشكل **8-26**: تركيب المجهر البسيط.



الشكل **8-27**: مخطط توضيحي للمجهر المركب.

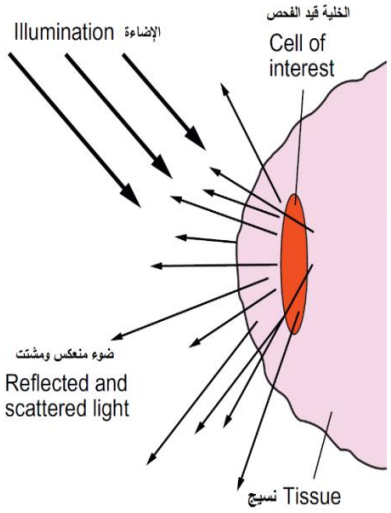
لن نقدم هنا تفاصيل المجهر، حيث يمكن العثور علي هذه التفاصيل في كثير من نصوص الفيزياء الأساسية. مع ذلك، سوف نصف مجهر المسح المتحد-البؤر.

9-8-3: المجهرية المتحدة-البؤرة

مع المجاهر التقليدية، لا يمكن رصد الأجسام الصغيرة المغروسة في مواد شفافة. على سبيل المثال، الخلايا التي تقع تحت سطح الأنسجة، مثل الخلايا المدفونة في مخ الحيوانات الحية، لا يمكن ملاحظتها بصورة مرضية بواسطة المجاهر التقليدية.

بشكل خاص، يمكن للضوء أن ينفذ خلال الأنسجة. يمكن البرهنة على هذا ببساطة عن طريق إدخال مصباح يدوي في الفم ومراقبة الضوء المار خلال الخدين. لذلك، ومن حيث المبدأ، يجب أن نكون قادرين على تكوين صورة مكبرة لخلية داخل نسيج. يمكن عمل ذلك من خلال تسليط ضوء على النسيج وتجميع الضوء المنعكس من الخلية. للأسف هناك مشكلة تتعلق بالاستخدام المباشر لهذه التقنية. تتلخص هذه المشكلة في أن الضوء ينعكس ويتشتت ليس فقط بواسطة الخلية قيد الدراسة ولكن أيضا بواسطة سطح النسيج وبواسطة الخلايا الموجودة أمام وخلف الخلية قيد الفحص. ينحصر هذا الضوء الزائف أيضا في المجهر ويخفي صورة الطبقة الوحيدة-الخلية داخل النسيج، انظر الشكل 8-28.

على مر السنين، تم تصميم عدد من المجاهر في محاولة لحل هذه المشكلة. كان المجهر المتحد-البؤرة أنجح هذه المجاهر.

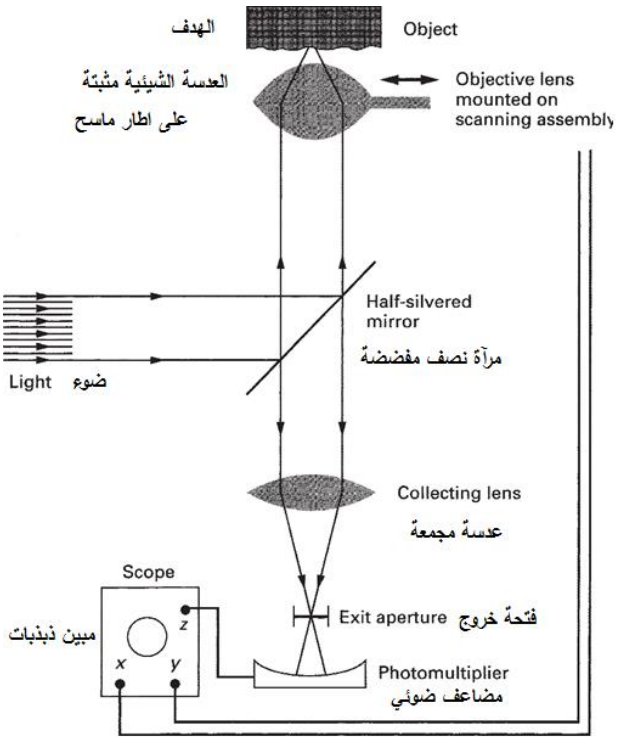


الشكل 8-28: الضوء المشتت والمنعكس من النسيج.

تم تصميم المجهر المتحد-البؤرة ليتقبل ضوء من شريحة رقيقة داخل الأنسجة فقط ورفض الضوء المنعكس والمتناثرة من المناطق الأخرى. يبين الشكل **2-29**، رسم تخطيطي لمجهر ديفيدوفيتس وإجير. على الرغم من أن الجهاز لا يشبه المجهر التقليدي إلا أنه بالتأكيد يولد صورا مكبرة. يتطلب هذا المجهر شعاع متوازي للضوء لإنارة الهدف. كمصدر للضوء المتوازي استخدمنا الليزر بطاقة منخفضة نسبيا بحيث لا تضر الأنسجة تحت الملاحظة. ينعكس شعاع الليزر من خلال مرآة نصف مفضضة (أو نصف شفافة) إلى العدسة الشيئية، والتي تركز شعاع في نقطة داخل النسيج. ونظرا لأن الضوء متوازي، يتم جلب الشعاع إلى البؤرة الرئيسية للعدسة. يمكن تغيير عمق هذه النقطة في النسيج عن طريق تغيير المسافة بين العدسة والنسيج.

يتشتت الضوء وينعكس من كل نقطة في مسار الضوء الداخل، ويتم اعتراض جزء من هذا الضوء العائد بواسطة العدسة الشيئية. مع ذلك، ينفذ الضوء الناشئ من نقطة البؤرة فقط من عدسة على شكل شعاع متوازي، في حين الضوء من جميع النقاط الأخرى إما أن يتجمع نحو أو يتباعد عن محور العدسة. يمر الضوء العائد عبر المرآة النصف مفضضة ويتم اعتراضه بواسطة عدسة مجمعة. تتركز مركبة الضوء المتوازي فقط في فتحة خروج صغيرة موضوعة في البؤرة الرئيسية للعدسة

المجمعة. يتم بعثرة الضـــوء غير-المتوازي عند فتحة الخروج. يوضـــع مضـــاعف ضـــوئي خلف فتحة الخروج ويولد جهد يتناســـب مع شـــدة الضـــوء المار من فتحة الخروج. بعد ذلك يتم اســـتخدام هذا الجهد للتحكم في شدة شعاع إلكتروني في مبين الذبذبات.



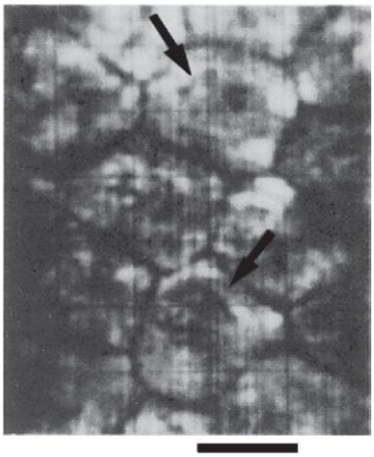
الشكل 8-29: المجهر المتحد-البؤرة.

حتى الآن، يكون لدينا بقعة واحدة مضيئة على شاشة مبين الذبذبات والتي شدة سطوعها تتناسب مع انعكاســية نقطة واحدة داخل النســيج. لكي نرى خلية بأكملها أو منطقة من الخلايا، يجب أن نمســح المنطقة نقطة بنقطة، ويتم ذلك عن طريق تحريك العدسـة في مسـتواها الخاص بحيث تمسح النقطة المحورية بمســح منطقة داخل النســيج. لا تؤثر حركة العدســة على توازي الضــوء الناشــئ في بؤرة العدسة الشيئية. لذلك، في كل لحظة، يتناسب خرج المضاعف الضوئي والسطوع المقابل للبقعة على الشــاشــة مع انعكاســية النقطة التي يتم مســحها ضــوئيا. أثناء مســح الهدف، يتم تحريك الشــعاع الإلكتروني في مبين الذبذبات في تزامن مع حركة العدسـة الشـيئية. هكذا، يظهر على الشـاشـة صـورة

لمقطع رقيق جدا داخل الأنسجة.

تكبير هذا المجهر هو ببساطة نسبة رحلة الشعاع الإلكتروني على وجه مبين الذبذبات إلى رحلة عدسة المسح الضوئي. في حالة رحلة عدسة يساوي **0.1** مم، يمكن ضبط الشعاع الإلكتروني ليتحرك **5** سم. بالتالي يكون التكبير هو **500**. تتحدد قوة فصل (تبين) الجهاز بواسطة حجم البقعة المركزة بواسطة العدسة الشيئة. إن خصائص حيود الضوء تحد من حجم البقعة إلى حوالي نصف الطول الموجي للضوء المستخدم. بالتالي، تكون قوة التباين الأمثل هي نفسها كما هو الحال في المجاهر التقليدية.

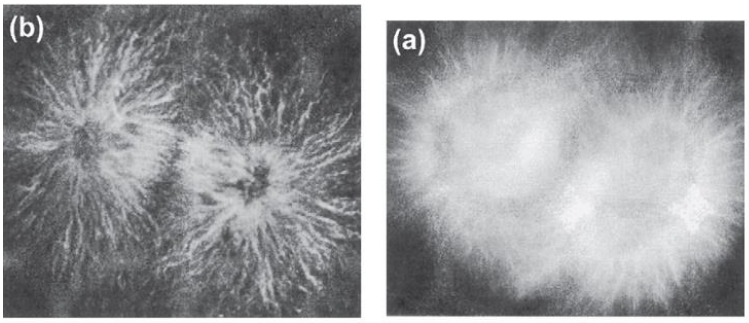
كانت أول الملاحظات الهامة من الناحية البيولوجية مع المجهر المتحد-البؤرة هي ملاحظات الخلايا البطانية (**endothelial**) داخل قرنية ضفدع حي. لا يمكن عمل هذه الملاحظات بواسطة المجاهر التقليدية لأن الضوء المنعكس من السطح الأمامي القرنية تحجب الانعكاسات الضعيفة من الخلايا البطانية. تم الحصول على صورة هذه الخلايا المبينة في الشكل **8-30**، عن طريق تصوير الصورة على شاشة مبين الذبذبات.



الشكل 8-30: الخلايا البطانية في قرنية ضفدع حي. تشير الأسهم الى الخطوط العريضة للنواة في اثنين من الخلايا. شريط المعايرة يعادل 25 ميكرون.

أصبح المجهر المتحد-البؤرة الآن أداة الرصد الرئيسية في معظم المختبرات البيولوجية. في الإصدارات

الأحدث للأداة يتم فحص الجسم بتحريك مرآة ومعالجة الصورة بواسطة أجهزة الكمبيوتر. تم الحصول على تحسين الصورة بواسطة المجهر المتحد-البؤرة الحديث المبين في الشكل 8-31.



(ب) (أ)

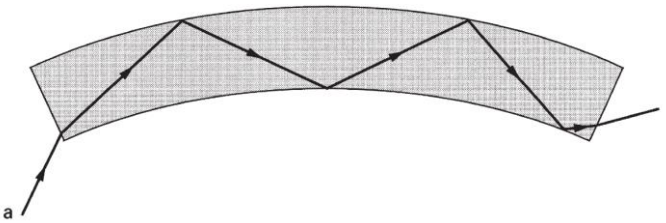
الشكل 8-31: صور مجهرية لأجنة قنفذ البحر تم الحصول عليها بواسطة (أ) مجهر تقليدي يظهر طمس خارج نطاق التركيز و (ب) بواسطة المجهر المتحد-البؤرة الحديث.

9-8-4: الألياف البصرية

تستخدم أجهزة الألياف البصرية الآن في مجموعة واسعة من التطبيقات الطبية. إن مبدأ عملها بسيط. كما نوقش في الملحق ج فيما يتصل بنشأتها مع قانون سنيل، ينعكس الضوء المسافر في المادة ذات معامل الانكسار الأعلى انعكاسا كليا عندما يسقط على مادة ذات معامل انكسار أقل بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة، θ_c. وبهذه الطريقة، يمكن للضوء أن يقتصر على السفر داخل أسطوانة زجاجية كما هو مبين في الشكل 8-32. عرفت هذه الظاهرة منذ الأيام الأولى لعلم البصريات. مع ذلك، تطلب الأمر الكثير من العمل في تكنولوجيا المواد قبل أن تصبح هذه الظاهرة قابلة للاستخدام على نطاق واسع.

تمكنت تكنولوجيا الألياف البصرية، التي تطورت في 1960م و1970م من تصنيع ألياف بصرية منخفضة-الفقد، ورقيقة، وذات درجة مرونة عالية ويمكنها أن تحمل الضوء لمسافات طويلة. بلغ طول ليف بصري نموذجي بقطر حوالي 10 ميكرون ومصنوع من زجاج السليكا عالي النقاوة. الليف مغلفة بكسوة لزيادة احتباس الضوء. يمكن لمثل هذه الألياف حمل الضوء على طول مسارات ملتوية

لعدة كيلومترات دون فقد كبير.



الشكل 8-32: ضوء محصور يسافر داخل أسطوانة زجاجية (ليفه) بطريقة الانعكاس الكلي الداخلي.

المناظير الليفية أو المناظير الداخلية هي أبسط أجهزة الألياف البصرية الطبية. تستخدم هذه المناظير لتصوير ودراسة الأعضاء الداخلية مثل المعدة والقلب والأمعاء. يتكون المنظار الليفي من حزمتين من الألياف البصرية معصوبة في وحدة واحدة مرنة. في الحالة النموذجية، كل حزمة تكون في العادة بقطر ملليمتر واحد تقريبا وتتكون من حوالي **10000** ليف. بالنسبة لبعض التطبيقات، تكون الحزم أكثر سمكا، ويصل قطرها إلى حوالي **1.5** سم. اعتمادا على استخدامها، يختلف طول الحزم ويتراوح بين **0.3** إلى **1.2** متر.

يتم إدخال اثنتين من الحزم كوحدة واحدة في الجسم من خلال الفتحات، أو العروق، أو الشرايين ويتم دفعها نحو العضو المراد فحصه. يتم تركيز ضوء من مصدر ذي كثافة عالية، مثل مصباح قوس زينون، في إحدى الحزم والتي تحمل الضوء إلى العضو المراد فحصه. كل ليف من الألياف في الحزمة الأخرى يجمع الضوء المنعكس من منطقة صغيرة من العضو ويحمله عائدا إلى المراقب. هنا يتركز الضوء إلى صورة يمكن النظر إليها بالعين أو عرضها على شاشة أشعة الكاثود أو أي نوع آخر من الشاشات الإلكترونية. في الشكل المعتاد، تحيط حزمة الإضاءة حزمة الضوء المجمع. الآن، تستخدم معظم المناظير كاميرات فيديو مصغرة مرتبطة لتكوين صور للأعضاء الداخلية للعرض على شاشات تلفزيون.

توسع استخدام أجهزة الألياف البصرية بشكل كبير عن طريق ربط المنظار بأدوات مصغرة يتم التحكم فيها عن بعد لإجراء عمليات جراحية دون شقوق جراحية كبرى. تشمل التطبيقات الأكثر حداثة

للألياف الضوئية قياس الضغط في الشرايين والمثانة والرحم باستخدام أجهزة استشعار بصرية وجراحة الليزر حيث يتم توجيه ضوء ليزر قوي خلال احدى الحزم إلى النسيج الذي يدمر بشكل انتقائي.

ملخص الباب

- الضوء هو إشعاع كهرومغناطيسي في منطقة الطول الموجي بين **400** و**700** نانومتر. ويبدأ المدى باللون البنفسجي وينتهي باللون الأحمر.
- البصريات هي واحدة من أقدم فروع الفيزياء الذي يدرس الضوء. يشمل موضوعات مثل المجاهر والتلسكوبات، الرؤية، والألوان والأصباغ، والإضاءة، والتحليل الطيفي، وأشعة الليزر.
- للضوء خصائص مادية مكون من الفوتونات التي لها كتلة وزخم وخصائص موجية بما لها من تردد وطول موجي.
- الضوء ينتشر من مصدره بسرعة محددة $C = 3\times10^8 m/\sec$. لا تتوقف هذه السرعة على تردد الإشعاع نفسه. تتوقف على كثافة الوسط الضوئية الذي تنتقل فيه.
- الرؤية هي أهم مصادرنا للمعلومات التي تصلنا عبر العالم الخارجي. العين هي المكان الذي تتم فيه عملية الرؤية.
- المكونات الثلاثة للرؤية هي: التحفيز، والذي هو الضوء، والمكونات البصرية للعين، التي هي صورة الضوء، والجهاز العصبي، الذي يعالج ويفسر الصور المرئية.
- تتم رؤية الألوان بواسطة نوع معين من الخلايا الحساسة لألوان الضوء، تلك هي خلية مخروطية: نوع من تلك الخلايا المخروطية يرى اللون الأحمر، ونوع يرى اللون الأزرق ونوع ثالث يرى اللون الأخضر. هذا يكفي العين أن تميز جميع الألوان التي نراها للأشياء.
- كل عيون الفقاريات تكون متشابهة في التركيب ولكن تختلف في الحجم. يلعب حجم العين دور بارز في مساعدة هذه المخلوقات لتلائم معيشتها.
- تتم الرؤية عندما يدخل الضوء العين من خلال القرنية، وهي الجزء الشفاف في الغطاء الخارجي

من مقلة العين. يتركز الضوء بواسطة النظام العدسي للعين إلى صورة مقلوبة علي شبكية العين، التي تغطي السطح الخلفي من العين. هنا يولد الضوء نبضات عصبية تنقل المعلومات إلى الدماغ.

- تكيف العين هي العملية التي من خلالها يتم تغيير سماكة وانحناء العدسة بواسطة العضلة الهدبية,التي تمكنالفقاريات من تصحيح الرؤية عند ما يتحرك الهدف الي تبصره.
- هناك العديد من التطبيقات الحيوية على التكيف مثل تكيف العين البشرية وتكيف أعين بعض الكائنات الحية.
- تتشابه الكثير من الصفات بين العين والكاميرا، كل منهما يتكون من نظام عدسي يركز صورة حقيقية معكوسة على سطح حساس.
- القزحية هي الفتحة البصرية للعين، وحجمها يتغير وفقا للضوء المتوفر. إذا كان هناك ضوء كاف، فإن وجودة الصورة تكون أفضل مع أصغر فتحة ممكنة. وهذا ينطبق على كل من العين والكاميرا.
- تقل قوة الانكسار للقرنية إلى حد كبير عندما تكون متصلة مع الماء. تكون عدسة العين كروية في الأسماك والتي تطورت للرؤية تحت الماء.
- تتكون الشبكية من خلايا مستقبلة (مستقبلات) للضوء متصلة مع شبكة معقدة من الخلايا العصبونات والألياف العصبية التي ترتبط إلى الدماغ عبر العصب البصري .
- هناك نوعان من الخلايا المستقبلة للضوء في شبكية العين هما: المخاريط والقضبان. المخاريط هي المسؤولة عن الرؤية الحادة للألوان في النهار، بينما توفر القضبان الرؤية في الضوء الخافت.
- إذا نشأ ضوء من إثنين من المصادر النقطية القريبين، قد تتداخل أقراص الصورة الخاصة بهما، مما يجعل من المستحيل التمييز بين النوعين من النقاط.
- نظام المعالجة البصرية للضفدع يعزز قدرتها على التقاط الحشرات الصغيرة في حين يخفض احتمال التعرض للكائنات الأكبر، والتي ربما تكون مخلوقات خطرة تمر بالجوار.

- يحدث الإحساس بالرؤية عندما يتم امتصاص الضوء بواسطة القضبان والمخاريط الحساسة للضوء. عند المستويات المنخفضة للضوء، تكون مستقبلات الضوء الرئيسية هي القضبان. في حين تكون المخاريط هي تكون مستقبلات الضوء الرئيسية في حالة الإضاءة الحادة.
- هناك ثلاثة عيوب شائعة في الرؤية المرتبطة بنظام تركيز العين: حسر البصر (قصر النظر)، (طول النظر)، والإستجماتزم. يمكن تصحيح كل العيوب الثلاثة عن طريق عدسات توضع أمام العين.
- يحتاج قصر النظر عدسة مفرقة لتعويض الانكسار الزائد في العين. يتم تصحيح طول البصر بواسطة عدسة مجمعة، الأمر الذي يزيد من قوة تركيز العين. يتم تعويض انحناء القرنية غير المتكافئ في الإستجماتزم بواسطة عدسة أسطوانية، والذي يركز الضوء على طول محور واحد فقط وليس على طول المحور الآخر.
- الحاجة إلى أجهزة مد الرؤية ناتج عن كون إن مدى رؤية العين يكون محدود. لا يمكن رؤية تفاصيل الأجسام البعيدة بسبب أن صورها على شبكية العين تكون صغيرة جدا.
- المجاهر التقليدية، لا يمكنها رصد الأجسام الصغيرة المغروسة في مواد شفافة. مثل الخلايا الأمر الذي استدعى الحاجة إلى مجهرية متحدة البؤرة.
- تستخدم أجهزة الألياف البصرية الآن في مجموعة واسعة من التطبيقات الطبية (جراحة المناظير)..
- المناظير الليفية هي أبسط أجهزة الألياف البصرية الطبية. تستخدم هذه المناظير لتصوير ودراسة الأعضاء الداخلية مثل المعدة والقلب والأمعاء. يتكون المنظار الليفي من حزمتين من الألياف البصرية معصوبة في وحدة واحدة مرنة، كل حزمة تكون في العادة بقطر ملليمتر واحد تقريبا وتتكون من حوالي **10000** ليف.

اختبر معلوماتك

تخير الإجابة الصحيحة للأسئلة التالية — الإجابة

1- الضوء هو إشعاع كهرومغناطيسي في منطقة الطول الموجي بين. ( )

أ) 400الى 700 ملليمتر ب) 400الى 700 ميكروميتر

ج) 400الى 700 نانو متر د) خلاف ذلك

2- الطيف المرئي هو الطيف المحصور باللونين: ( )

أ) فوق البنفسجي وتحت الأحمر

ب) البنفسجي وينتهي باللون الأحمر

ج) (أ&ب) د)خلاف ذلك

3- البصريات هي فرع العلم الذي يدرس الضوء والأجهزة البصرية مثل: ( )

أ) المجاهر والتلسكوبات ب) الألياف البصرية

ج) (أ&ب) د)خلاف ذلك

4- من طبيعة الضوء فإنه يتكون من: ( )

أ) موجات كهربية ب) فوتونات كمية

ج) موجات كهرو مغناطيسية د) (أ&ت)

5- ينتشر من مصدره بسرعة وتكون: ( )

أ) سريعة وغير محدودة ب) سريعة ومحدودة

ج) لا نهائية د) خلاف ذلك

6- سرعة الضوء تكون ثابتة عند مروره في أوساط ذات كثافة ضوئية: ( )

أ)مختلفة ب) متميزة

ج)(أ&ب) د)متجانسة

7- اقصى قيمة لسرعة الضوء C تقاس في الفراغ وكانت تساوي : ( )

أ) $C = 299,792,458 m/\sec$ ب) $C = 299.792458 m/\sec$ ج)(أ&ب)

د)خلاف ذلك

8- تبلغ مدخلات الشخص الحسية التي يتم الحصول عليها من خلال العين قرابة: ( )

أ)99% ب) 85% ج)58% د)70%

9- المكونات الثلاثية للرؤية هي الجهاز العصبي والمكونات البصرية و: ( )

أ) الضوء ب) التحفيز ج) (أ&ب) د)خلاف ذلك

10- الخلايا المخروطية ثلاثة أنواع مخصصة لرؤية الألوان الأخضر والأزرق و: ( )

أ) الأصفر ب) البنفسجي ج) النيلي د)خلاف ذلك

11- بؤرة العدسة البلورية قابلة للتغيير، مما يسمح للعين برؤية الأشياء في مدى. ( )

أ) معتدل ب) واسع ج) ضيق د)وحاد

12- الجزء الأمامي من العين، بين العدسة والقرنية، يكون مملوء بسائل مائي يسمى. ( )

أ) الزجاجي الهلامي ب) القرنية
ج) العدسة د)الخلط المائي

13- الفراغ بين العدسة والشبكة يكون مملوء بسائل يسمى. ( )

أ) الزجاجي الهلامي ب) القرنية
ج) العدسة د)الخلط المائي

14- تسمى العملية التي من تساعد عين الفقاريات بتغيير الطاقة الضوئية الداخلة الها بـ: ( )

أ) الأبصار ب) التكيف
ج) (أ&ب) د)خلاف ذلك

15- يسمى تركيز العين المحكوم بتغيير سماكة وانحناء العدسة بواسطة العضلة الهدبية بـ: ( )

أ) التركيز اللوني ب) التركيز الحجمي
ج) التركيز بالتكيف د)خلاف ذلك

16- عندما تسترخي العضلة الهدبية، تصبح العدسة البلورية مسطحة إلى حد ما بمعنى قوتها: ( )

أ) تقل ب) تزيد
ج) لا تتأثر د)خلاف ذلك

17- العين المستخاة تكون مهيئة لمشاهدة الأشياء: ( )

أ) القريبة ب) الضخمة
ج) البعيدة د)خلاف ذلك

18- للعين البشرية لشاب تغيير بؤرة العدسة من مسافة إلى 7 سم من العين في 350 مللي ثانية. هذا التغيير المثير في قوة بؤرة العين حوالي: ( )

أ) 212 ديوبتر ب) 21 ديوبتر
ج) 121 ديوبتر د) 12 ديوبتر

19- ترتبط أقرب نقطة على العين مع المسافة اللازمة للقراءة بأنها تكون: ( )

أ)أكثر قربا ب) أكثر بعدا
ج) متساوية معها د) خلاف ذلك

20- قرد التارسير له مقدرة غير عادية في الصيد ويرجع ذلك الى : ( )

أ)ضخامة جسمه ب) ضخامة مخالبه
ج) ضخامة عينيه د) كل ما سبق

21- يمكن للحرباء توجيه كل عين لمكان مختلف عن الآخر بشكل مستقل، وبهذه الطريقة يمكنها: ( )

أ)تفحص الفريسة ب) اخذ الحيطة من الأعداء
ج) الرؤية بمجال بصري(o 360) د) كل ما سبق

22- يمكن الحبار العملاق عمق 2000 متر وذلك بفضل عينية التي يبلغ قطر كل منهما: ( )

أ)10 متر ب) 15 سنتيمتر
ج) 30 سنتيمتر د) كل ما سبق

23- تتكون عيون اليعسوب من وحدات تسمى أوميتيديا يبلغ عددها في عينية حوالي: ( )

أ) 230000 ب) 30000
ج) 20000 د) كل ما سبق

24- النظام العدسي الذي يركز صورة حقيقية معكوسة على سطح حساس يكون في: ( )

أ) الكاميرا ب) العين البشرية
ج) (أ&ب) د) خلاف ذلك

25- الفتحة البصرية للعين والتي يتغير حجمها وفقا للضوء المتوفر تسمى: ( )

أ) القزحية ب) الشبكية

ج) القرنية د) كل ما سبق

26- تطورت عدسة العين في الأسماك لتلائم الرؤية تحت الماء فاتخذت شكلا: ( )

أ) اسطواني ب) مقعر
ج) مكور د) كل ما سبق

27- السطح الأمامي للقرنية، والذي شيد ليكون له قطريساوي: ( )

أ) 5 ملليمتر ب) 10 ملليمتر
ج) 15 ملليمتر د) خلاف ذلك

28- هناك نوعان من الخلايا المستقبلة للضوء في شبكية العين هما: ( )

أ)5المخاريط (A,B) ب) القضبان(A,B)
ج) المخاريط والقضبان د) خلاف ذلك

29- تعمل المخاريط على تهيئة العين للرؤية في حالة الإضاءة: ( )

أ) القوية ب) الضعيفة
ج) (أ&ب) د) خلاف ذلك

30- تعمل القضبان على تهيئة العين للرؤية في حالة الإضاءة: ( )

أ) القوية ب) الضعيفة
ج) (أ&ب) د) خلاف ذلك

31- الذي يلعب دورا هاما في مقدرة العين على الفصل بين نقاط الصورة هو: ( )

أ) المخاريط ب) القضبان
( ) المخاريط والقضبان د) خلاف ذلك

32- نظام المعالجة البصرية للضفدع يعمل على: ( )

أ) تعزيز قدرتها على التقاط الحشرات الصغيرة
ب) انخفاض التعرض للكائنات الأكبر
( ) (أ&ب)
د) خلاف ذلك

33- تسمى الحالة التي عندها شدة الضوء صغيرة جدا لدرجة وتوصف بالفوتونات بـ: ( )

أ) حد عتبة الرؤية ب) حد العتمة

( ) (أ&ب) د) خلاف ذلك

34- للحصول على أقصى قدر من الحساسية يجب أن تبقى العين في الظلام لمدة : ( )

أ) 10 دقيقة ب) 15 دقيقة
( ) نصف ساعة د) خلاف ذلك

35- عندما تجمع العين الضوء أكثر من اللازم، أو لا تجمع الضوء بالشكل الكافي. ( )

أ) بقصر النظر ب) طول النظر
( ) (أ&ب) د) خلاف ذلك

36- يتم تعويض انحناء القرنية غير المتكافئ في الإستجماتزم بواسطة عدسة. ( )

أ) أسطوانية ب) مفرقة
ج) مجمعة د) خلاف ذلك

37- صورة شجرة ترتفع 20 مترا وموجودة على مسافة 500 متر: ( )

أ) يكون ارتفاعها على الشبكية 6 ملليمتر فقط
ب) يكون ارتفاعها على الشبكية 6 ملليمتر فقط
ج) يكون ارتفاعها على الشبكية 0.06 متر
د) يكون ارتفاعها على الشبكية 0.6 ملليمتر

38- في المنظار تسمى العدسة الأولى بالشيئية وهي التي تشكل صورة. ( )

.أ) حقيقية مقلوبة ب) تقديرية معتدلة
( ) حقيقية معتدلة د) تقديرية مقلوبة

39- في المنظار الصورة المتكونة بالشيئية تبعد من العدسة العينية بمقدار: ( )

أ) ضعف البعد البؤري ب) نصف البعد البؤري
( ) البعد البؤري د) خلاف ذلك

40- عولجت مشكلة انعكاس وتشتت الضوء بواسطة الخلية قيد الدراسة وبواسطة الخلايا الموجودة أمام وخلف الخلية قيد الفحص بواسطة: ( )

أ) المنظار ب) المجهر المركب
ج) المجهرية متحدة البؤرة د) خلاف ذلك

41- يمكن حمل الضوء على طول مسارات ملتوية لعدة كيلومترات دون فقد كبير عن طريق: ( )

أ) الألياف البصرية ب) العدسات الإلكترونية
ج) (أ&ب) د) خلاف ذلك

42- تعتمد جراحة المناظير الطبية على: ( )

أ) العدسات الإلكترونية ب) الألياف البصرية
ج) (أ&ب) د) خلاف ذلك

التمارين

1- احسب التغير في مكان الصورة المشكلة بواسطة عدسة بطول بؤري يساوي 1.5 سم عندما يتم تحريك مصدر الضوء من مكانه عند 6 متر من العدسة إلى ما لا نهاية.

2- مصدر ضوء نقطي ليس في البؤرة (التركيز) بالضبط وينتج صورة قرصية علي شبكية العين. بفرض أن الصورة تكون مقبولة شريطة أن قطر صورة المصدر النقطي غير-المركز هو أقل من a. بين أن عمق المجال يتناسب عكسيا مع قطر الفتحة.

3- باستخدام البيانات الواردة في النص، احسب قوة التركيز للقرنية وللعدسة البلورية.

4- أحسب قوة انكسار القرنية عندما تكون متصلة مع الماء. معامل الانكسار للمياه هو 1.33.

5- أحسب قوة تركيز العدسة في عين السمكة. افترض أن العدسة تكون كروية ولها قطر يبلغ 2 مم. (تكون معاملات الانكسار كما في الجدول 8-1.) معامل الانكسار للمياه هو 1.33.

6- أحسب بعد النقطة الموجودة أمام القرنية والتي عندها يتركز الضوء المتوازي الناشئ داخل العين المصغرة.

7- باستخدام أبعاد العين المصغرة (الشكل 8-5)، أحسب قوة التبين الزاوي (استخدم الشكل 8-6 كوسيلة مساعدة): ( ) مع مخروط واحد غير مثار بين نقاط الإثارة ( ) مع أربعة مخاريط غير مثارة بين مناطق الإثارة.

8- احسب المسافة التي منها يمكن لشخص له رؤية جيدة أن يرى بياض عيون شخص آخر. استخدام البيانات الواردة في النص وافترض أن حجم العين هو 1 سم.

9- احسب حجم الصورة على الشبكية لورقة شجرة حجمها 10 سم موجودة على مسافة 500 متر.

ملاحق الكتاب

حل أسئلة اختبر معلوماتك

الباب الاول

1	ث	2	ب	3	ت	4	أ	5	ب
6	أ	7	ت	8	ب	9	ث	10	ب
11	أ	12	ت	13	ب	14	أ	15	أ
16	ث	17	ب	18	ث	19	ث	20	أ
21	أ	22	ث	23	ب	24	ب	25	ت
26	ت	27	أ	28	أ	29	ب	30	أ
31	ب	32	ت	33	ب	34	أ	35	أ
36	ب								

الباب الثاني

1	أ	2	ج	3	ج	4	د	5	ب
6	د	7	ب	8	ب	9	د	10	د
11	ج	12	د	13	أ	14	د	15	د
16	ج	17	أ	18	ب	19	ج	20	أ
21	ج	22	ج	23	أ	24	ب	25	أ
26	ج	27	ب	28	ج	29	ج	30	أ
31	ب	32	ج	33	ج	34	ب	35	د
36	ج	37	ب	38	ج	39	د	40	أ
41	ب	42	ج	43	د	44	أ	45	ج
46	ب	47	ج	48	أ	49	ج	50	د
51	ج	52	ج	53	ب	54	أ	55	د
56	ج	57	ج	58	أ	59	ج	60	ج
61	د	62	أ	63	ب	64	د	65	ب
66	د	67	ب	68	ج	69	ج	70	د

71	د	72	د	73	ج	74	ب	75	د

الباب الثالث

1	د	2	ج	3	ب	4	ج	5	ب
6	ب	7	ب	8	ب	9	ب	10	ب
11	أ	12	أ						

الباب الرابع

1	ث	2	ث	3	أ	4	ب	5	أ
6	ت	7	ب	8	ا	9	ث	10	أ
11	ت	12	ب	13	أ	14	ت	15	ب
16	أ	17	ت	18	ب	19	أ		

الباب الخامس

1	د	2	ج	3	ج	4	ج	5	ج
6	ج	7	ج	8	د	9	ب	10	ب
11	د	12	أ	13	ب	14	ج	15	ب
16	ب	17	ب	18	ج	19	أ	20	ب
21	ب	22	ج	23	د	24	ب	25	ج
26	د	27	أ	28	أ	29	د	30	أ
31	ج	32	ب	33	ج	34	د	35	ب
36	ج	37	ج						

الباب السادس

1	أ	2	ج	3	ب	4	أ	5	ب
6	أ	7	أ	8	ب	9	أ	10	أ
11	ب	12	د	13	د	14	د	15	ب
16	أ	17	ج	18	ج	19	د	20	د
21	ب	22	د	23	أ	24	أ	25	ج
26	أ	27	د	28	ج	29	د	30	د

الباب السابع

1	ب	2	أ	3	ت	4	ب	5	ب
6	ت	7	ب	8	أ	9	أ	10	ب
11	أ	12	ب	13	ت	14	ب	15	أ
16	أ	17	ث	18	ب	19	أ	20	ت
21	ت	22	ث	23	أ	24	ث	25	ت
26	ت								

الباب الثامن

1	ج	2	ج	3	ج	4	ج	5	ب
6	د	7	أ	8	د	9	د	10	د
11	ب	12	د	13	د	14	ب	15	ج
16	أ	17	ج	18	د	19	ب	20	ج
21	د	22	ج	23	ب	24	ب	25	أ
26	ج	27	أ	28	أ	29	أ	30	ب
31	أ	32	أ	33	أ	34	ج	35	ج
36	أ	37	د	38	أ	39	ج	40	ج
41	أ	42	ب						

الباب التاسع

1	د	2	أ	3	أ	4	ج	5	د
6	ج	7	د	8	ب	9	د	10	ب
11	أ	12	أ	13	أ	14	أ	15	ت
16	ب	17	ب	18	ت	19	أ	20	ب
21	ت	22	أ	23	ت	24	أ	25	ب
26	أ	27	ب	28	ت	29	ث	30	ت
31	ب								

اجابة الاسئلة الرقمية

ملحوظة الإجابة على التمارين العددية التي تم تقديمها في النص، لم يتم سردها هنا.

الباب الاول

2. $V = 29.3\ 4$

3. (a). $t = 10^{-2}$ **sec; (b).** $t = 10^{-5}$ **sec**

5. $N = 1.08 \times 10^{20}$ **molecules/sec**

6. No. breaths/min. = 10.4

7. (a). Rate = 1.71×10^{-5} **liter/hr-cm^2; (b). diameter = 0.5 cm**

8. $\Delta P = 2.87$ **atm**

16. $t = 373$ **hours**

17. $v = 4.05\ m^3$

18. $t = 105$ **days**

19. Weight loss = 0.892 kg

20. $H = 18.7$ **Cal/h**

22. (b). Change = 22%; (c). $K_r = 6.0$ **Cal/m^2-h-C**

23. Heat removed = 8.07 Cal/h

24. Heat loss = 660 Cal/m^2-h

25. $H = 14.4$ **Cal/h**

الباب الثاني

2. $P = 7.8$ **W**

3. $v = [gV(\rho_w - \rho)/A\rho_w]^{1/2}$; $P = 1/2[W\{(\rho_w/\rho) - 1\}^{3/2}]/(A\rho_w)^{1/2}$

5. $P = 1.51 \times 10^7 \text{dyn/cm}^2 = 15$ **atm** **6. Volume of swim bladder = 3.8%**

7. $\rho_2 = \rho_1(W_1/W_1 - W_2)$

8. $p = 1.46 \times 10^5 \text{ dyn/cm}^2$

11. Perimeter = 9.42 km

12. (b). Speed = 115 cm/sec

13. $\Delta P = 3.19 \times 10^{-2}$ **torr**

14. $\Delta P = 4.8$ **torr**

15. $h = 129$ **cm**

16. (a). $p = 61$ **torr; (b).** $p = 200$ **torr**

17. (b). $R_1/R_2 = 0.56$

18. $v = 26.5$ **cm/sec**

19. $N = 5.03 \times 10^9$

20. $\Delta p = 79$ **torr**

21. $P = 10.1$ **W**

22. (a). $P = 0.25$ **W; (b).** $P = 4.5$ **W**

الباب الثالث

1. (b). $F = 254$**N (57.8 lb)**

3. $\theta = 72.6^\circ$

4. Maximum weight = 335 N (75 lb)

5. (a). $F_m = 2253$**N (508 lb),** $F_r = 2386$ **N (536 lb)**

6. F_m = 720 N, F_r = 590 N

7. (a). F_m = 2160 N, F_r = 1900 N

8. ΔF_m = 103 N, ΔF_r = 84 N

10. Δx = 19.6 cm,v of tendon = 4 cm/sec, v of weight = 38 cm/sec

11. F_m = 0.47 W, F_r = 1.28 W

12. (a). F_m = 2000 N, F_r = 2200 N; (b). F_m = 3220 N, F_r = 3490 N

13. F_A = 2.5 W, F_T = 3.5 W

14. (a). Distance = 354 m; (b). Independ of mass

15. μ = 0.067

16. (a). μ = 1.95; (b). with μ = 1.0,θ = 39.4 , with μ = 0.01,θ = 0.6°

الباب الرابع

1. P = 4120 watt

2. H^{r} = 60 cm

3. F_r = 1.16 W,θ = 65.8

4. T = 0.534 sec

5. (a). R = 13.5 m; (b). H = 3.39 m; (c). 4.08 sec

6. v = 8.6 m/sec

7. r = 1.13 m

8. (a). v = 8.3 m/sec; (b). 16.6 cm/sec

9. Energy expended/sec = 1350 J/sec

10. P = 371 watt

12. $F = 10.1$ N

13. $\omega = 1.25$ rad/sec; linear velocity $= 6.25$ m/sec

14. $\omega = 1.25$ rad/sec $= 33.9$ rpm

15. $v = 31.4$ m/sec

16. Speed $= 1.13$ m/sec $= 4.07$ km/h $= 2.53$ mph

17. $T = 1.6$ sec

18. $E = 1.64\ mv^2$

19. Fall time $= 1$ sec

الباب الخامس

1. $v = 2.39$ m/sec (5.3 mph)

2. $v = 8$ m/sec; with 1 cm^2 area $v = 2$ m/sec

3. $h = 5.1$ m

4. $t = 3 \times 10^{-2}$ sec

5. $v = 17$ m/sec (37 mph)

6. Force/$cm^2 = 4.6 \times 10^6$ dyn/cm^2, yes

7. $v = 0.7$ m/sec, no

8. $F = 2W$

9. $\ell = 0.052$ mm

10. $h = 18.4$ cm

11. $\ell = 10.3$ **cm**

الباب السادس

1. (a). No. of ions $= 1.88 \times 10^{11}$**; (b). no. of** Na^+ **ions** $= 7.09 \times 10^{14}$**/m; No. of** K^+ **ions** $= 7.09 \times 10^{15}$**/m**

8. (a). no of cells in series $= 5000$**; (b). no of cells in parallel** $= 2.7 \times 10^9$

9. $i = 13.3$ **amp**

الباب السابع

1. $R = 31.6$ **km**

2. 1.75 times

3. $p = 2.9 \times 10^{-4}$ **dyn/cm**^{2}

6. $D = 11.5$ **m**

8. Min. size $= 1.7 \times 10^{-2}$ **cm**

الباب الثامن

1. Change in position $= 0.004$ **cm**

3. For cornea 41.9 diopters; for lens, min power $= 18.7$ **diopters, max power** $= 24.4$ **diopters**

4. $1/f = -0.39$ **diopters**

5. Focusing power $= \pm 70$ **diopters**

6. $p = 1.5$ **cm**

7. (a). Resolution $= 2.67 \times 10^{-4}$ **rad; (b). Resolution** $= 6.67 \times 10^{-4}$ **rad**

8. $D = 20$ **m**

9. $H = 3 \times 10^{-4}$ **cm**

الملحق أ-المبادئ الأساسية في الميكانيكا

في هذا الفصل، سوف نعرف بعض المبادئ الأساسية في الميكانيكا. يفترض أن القارئ ملم ببعض من هذه المفاهيم وهنا يكون الملخص البسيط كافيا. يمكن إيجاد المناقشة التفصيلية في كتب الفيزياء الأساسية، والبعض منها مدون في قائمة المراجع.

أ-1 السرعة ومقدار السرعة

تعرف السرعة بأنها معدل تغير المكان بالنسبة للزمن. يكون كل من المقدار والاتجاه ضروريان لتحديد السرعة. لذلك، فإن السرعة هي كمية متجهة. في حالات خاصة تكون السرعة مقدار ثابت، وتعطى المسافة s المقطوعة في الزمن t بالعلاقة،

$$s = v\,t \qquad \text{أ-1}$$

في هذه الحالة، يمكن التعبير عن السرعة بالعلاقة،

$$v = \frac{s}{t} \qquad \text{أ-2}$$

عندما تتغير السرعة على طول المسار، فإن التعبير s/t يعطي السرعة المتوسطة.

أ-2 العجلة (التسارع)

عندما تتغير سرعة جسم على طول مساره من نقطة إلى نقطة، يقال أن الحركة معجلة (متسارعة أو متباطئة). تعرف العجلة بانها معدل تغير السرعة بالنسبة للزمن. في حالة خاصة تكون العجلة منتظمة، وتكون السرعة النهائية للجسم v التي عجلت في الزمن t هي،

$$v = v_0 + a\,t \qquad \text{أ-3}$$

v_0 هنا هي السرعة الابتدائية للجسم، و a هي العجلة.

يمكن التعبير عن العجلة بالعلاقة،

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$ أ-4

يمكن لكل من السرعة والعجلة ان تتغير على طول المسار. بشكل عام، تعرف السرعة بانها المشتقة الأولى للمسافة على طول مسار الجسم بالنسبة للزمن، أي ان،

$$v = \lim_{\Delta t \to a_0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$$

كما يمكن تعريف العجلة بنها المشتقة الأولى للسرعة على طول المسار، اي ان،

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{ds}{dt}\right) = \frac{d^2 s}{dt^2}$$

في حالة العجلة المنتظمة، يمكن ببساطة اشتقاق عدة علاقات مفيدة. تكون السرعة المتوسطة خلال الفترة الزمنية t هي،

$$v_{av} = \frac{v + v_0}{2}$$ أ-5

وتكون المسافة المقطوعة في هذا الزمن هي،

$$s = v_{av}\, t$$ أ-6

من المعادلات أ-4 و أ-5 نحصل على،

$$s = v_0\, t + \frac{a\, t^2}{2}$$ أ-7

وبالتعويض بـ $t = (v - v_0)/a$ (من المعادلة أ-4) في المعادلة أ-5 نحصل على،

$$v^2 = v_0^2 + 2as$$ أ-8

أ-3 القوة

القوة هي عبارة عن الدفع او الجذب المطبق على جسم ما ويجعله يغير حالة حركة الجسم.

أ-4 الضغط

الضغط هو القوة المطبقة على وحدة المساحة.

أ-5 الكتلة

لقد ذكرنا انه عند تطبيق قوة على جسم فإنها تميل الى تغيير حالة حركته. تملك كل الاجسام خاصية مقاومة التغير في حالة حركتها. الكتلة هي المقياس الكمي للقصور الذاتي او مقاومة التغير في الحركة.

أ-6 الوزن

تمارس كل كتلة قوة جذب على كل الكتل الأخرى. تسمى هذه القوة بالقوة الجذبية. وزن الجسم (الثقل) هو القوة تمارسها كتلة الأرض على الجسم. يتناسب وزن الجسم تناسب طرديا مع كتلته ($W = m\,g$). الوزن هو كمية متجهة، تشير إلى أسفل في الاتجاه الخط الرأسي.

يرتبط الوزن بالكتلة ولكن خصائصهما تكون مختلفة لجسم ما، فعندما يكون الجسم معزول عن كل الأجسام الأخرى سوف لا يكون له وزن، ولكنه ما زال لديه كتلة.

أ-7 العزم الخطي

العزم الخطي لجسم ما هو حاصل ضرب كتلته في السرعة، أي أن،

$$\text{Linear momentum} = m\,v \qquad \text{أ-9}$$

أ-8 قوانين نيوتن للحركة

يرجع الفضل في ظهور علم الميكانيكا إلى قوانين نيوتن الثلاثة للحركة. تستند القوانين على الملاحظة ولا يمكن اشتقاقها من المبادئ الأكثر أساسية. يمكن النص على هذه القوانين كما يلي:

القانون الأول: يبقي الجسم سالكنا أو في حالة حركة منتظمة في خط مستقيم إن لم تؤثر علية قوة.

القانون الثاني: معدل تغير العزم الخطي لجسم بالنسبة للزمن يساوي القوة F المطبقة عليه. ماعدا

عند السـرعات العالية، حيث يجب اخذ التأثيرات النسـبية في الاعتبار، يمكن التعبيرعن القانون الثاني بدلالة الكتلة m وعجلة الجسم a على النحو،

$$F = ma \qquad \text{أ-10}$$

هذه واحدة من أشـهر المعادلات اسـتخداما في الميكانيكا. إنها تبين أنه عند تطبيق قوة وفي حال كتلة الجسـم تصـبح معلومة، يمكن حسـاب العجلة. عندما تكون العجلة معلومة، يمكن حسـاب المسـافة المقطوعة من المعادلات السابقة المعطاة.

يمكن التعبيرعن القانون الثاني بدلالة مشتقة العزم بالنسبة للزمن، بمعنى،

$$\text{Force} = \left| \lim_{\Delta t \to 0} \frac{mv(t+\Delta t) - mv(t)}{\Delta t} = \frac{d}{dt}(mv) = m\frac{dv}{dt} = ma \right.$$

إن قوة جذب الأرض، كبقية كل القوى الأخرى، تسبب عجلة. بملاحظة حركة السقوط الحر للاجسام، يمكن قياس هذه العجلة. بالقرب من سطح الأرض تكون هذه العجلة **9.8** متر/ث^2 تقريبا.

ونظرا لان عجلة الجاذبية الأرضـية تسـتخدم بشـكل متكرر في الحسـابات، فإنها تأخذ رمز خاص وهو، g . بالتالي تكون قوة الجاذبية الأرضية التي تؤثر على جسم كتلته m هي،

$$F_{\text{gravity}} = mg \qquad \text{أ-11}$$

بالطبع هذه القوة هي أيضا وزن الجسم.

القانون الثالث: لكل فعل يوجد رد فعل مسـاوي له في المقدار ومضـاد له في الاتجاه. يشـير هذا القانون إلى انه عندما يتفاعل جسمان A و B بحيث أن الجسم A يؤثر بقوة على الجسم B ، فإن الجسم B يؤثر بقوة مماثلة لكن معكوسـة على الجسـم A . يحتوي النص على عدد من أشـكال التطبيقات للقانون الثالث.

أ-9 مبدأ حفظ العزم الخطي

يترتب على قوانين نيوتن أن العزم الزاوي الكلي لنظام من الأجسـام يبقى دون تغيير ما لم تؤثر على

النظام قوة خارجية.

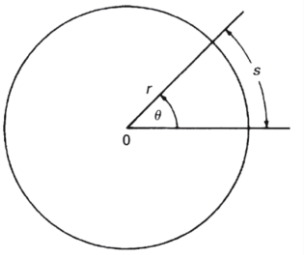
أ-10 الراديان

في تحليل الحركة الدائرية يكون من المناسب قياس الزوايا بوحدات تسمى الراديان. بالإشارة إلى الشكل أ-1 تعرف الزاوية بالراديان على النحو،

$$\theta = \frac{s}{r} \qquad \text{أ-12}$$

حيث s هو طول القوس الدائري، و r هو نصف قطر الدوران. في الدائرة الكاملة يكون طول القوس هو المحيط $2\pi r$. بالتالي تكون الزاوية الكلية للدائرة بوحدات الراديان هي

$$\theta = \frac{2\pi r}{r} = 2\pi \text{ rad}$$



الشكل أ-1 تعريف الراديان

بالتالي فإن،

$$1 \text{ rad} = \frac{360^o}{2\pi} = 57.7^o$$

أ-11 السرعة الزاوية

السرعة الزاوية ω هي الازاحة الزاوية لوحدة الزمن، بمعنى، إذا دار الجسم خلال زاوية θ (بوحدات الراديان) في زمن زمن قدره t ، فإن السرعة الزاوية تكون،

$$\omega = \frac{\theta}{t} \text{ (rad/sec)} \qquad \text{أ-13}$$

أ-12 العجلة الزاوية

العجلة الزاوية α هي معدل تغير السرعة الزاوية بالنسبة للزمن. اذا كانت السرعة الزاوية الابتدائية ω_0 والسرعة الزاوية النهائية بعد زمن t هي ω_f ، فإن العجلة الزاوية تكون،

$$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_0}{t} \qquad \text{أ-14}$$

من الممكن ان يتغير كل من السرعة والعجلة الزاوية على طول المسار. بشكل عام، تعرف السرعة والعجلة الزاوية اللحظية على النحو،

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad , \quad \alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

أ-13 العلاقات بين الحركة الزاوية والخطية

مع دوران الجسم حول محور ما فإن كل نقطة في الجسم تتحرك على طول محيط الدائرة وبالتالي فإن كل نقطة في حركة خطية. المسافة الخطية المقطوعة s في الحركة الدائرية تكون على الصورة،

$$s = r\theta$$

تكون السرعة الخطية v لنقطة تدور بسرعة زاوية ω مسافة r من مركز الدوران هي،

$$v = \omega r \qquad \text{أ-15}$$

يكون اتجاه المتجه v عند كل النقاط مماسا للمسار s . العجلة الخطية على طول المسار s تكون،

$$a = r\ \alpha \qquad \text{أ-16}$$

أ-14 معادلات العزم الزاوي

تكون معادلات الحركة الزاوية مثل معادلات الحركة الانتقالية. في حالة جسم يتحرك بعجلة زاوية ثابتة α وكانت السرعة الزاوية الابتدائية هي ω_0 ، فإن العلاقات تكون كما هو مدون بالجدول أ-1.

الجدول أ-1 معادلات الحركة الزاوية (العجلة الزاوية ثابتة)

$\omega = \omega_0 + \alpha t$
$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2$
$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta$
$\omega_{av} = \frac{(\omega_0+\omega)}{2}$

أ-15 العجلة المركزية

عندما يدور جسم بشكل منتظم حول محور فإن مقدار السرعة الخطية يبقي ثابت، لكن اتجاه الحركة الخطية يتغير باستمرار. يشير اتجاه السرعة دائما نحو مركز الدوران. بالتالي يعجل الجسم الدائر نحو مركز الدوران. تسمى هذه العجلة بالعجلة المركزية (أي التي تبحث عن المركز). يعطى مقدار العجلة المركزية بالعلاقة،

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r \qquad \text{أ-17}$$

حيث r هو نصف قطر الدوران و v السرعة المماسية لمسار الدوران. وبما أن الجسم يعجل نحو مركز الدوران، نستنتج انه من قانون نيوتن الثاني أن القوة الموجهة نحو مركز الدوران يجب أن تؤثر في الجسم. هذه القوة تسمى القوة المركزية F_c وتعطى بالعلاقة،

$$F_c = ma_c = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r \qquad \text{أ-18}$$

حيث m هي كتلة الجسم الدوار.

عندما يدور جسم على طول مسار منحني فإنه يجب أن يتأثر بقوة طرد مركزي. في غياب مثل هذه القوة، يتحرك الجسم في خط مستقيم، كما يمليه قانون نيوتن الأول. على سبيل المثال، افترض جسم مربوط في نهاية خيط. تطبق قوة طرد مركز على الجسم بواسطة الخيط. من قانون نيوتن الثالث تطبق قوة رد فعل بواسطة الجسم على الخيط مساوية في المقدار ومضادة في الاتجاه. يسمى رد فعل القوة المركزية بقوة الطرد المركزي. هذه القوة تكون في اتجاه عكس مركز الدوران. دائما القوة المركزية والتي تكون ضرورية لحفظ في دوران تؤثر عموديا على اتجاه الحركة ولذلك لا تبذل شغل (انظر

المعادلة أ-28). في غياب الاحتكاك، لا حاجة للطاقة لحفظ الجسم يدور بسرعة زاوية ثابتة.

أ-16 عزم القصور الذاتي

يكون عزم القصور الذاتي في الحركة الزاوية مشابه للكتلة في الحركة الانتقالية. يعطي عزم القصور الذاتي I لعنصر كتلته m موضوع على مسافة r من مركز الحركة على الصورة،

$$I = m r^2 \qquad \text{أ-19}$$

بشكل عام، عندما يكون الجسم في حركة زاوية فإن عناصر الكتلة في الجسم تكون موضوعة على مسافات مختلفة من مركز الدوران. عزم القصور الذاتي الكلي يكون عبارة عن مجموع عزوم القصور لعناصر الكتلة في الجسم.

على خلاف الكتلة، والتي تكون ثابتة لجسم معين، يعتمد عزم القصور الذاتي على مكان مركز الدوران. بشكل عام، يتم حساب عزم القصور الذاتي باستخدام حساب التكامل. في الجدول أ-2 تم تدوين عزوم القصور الذاتي لبعض الأجسام المفيدة وذلك للاستفادة منها في حساباتنا.

أ-17 الازدواج Torque

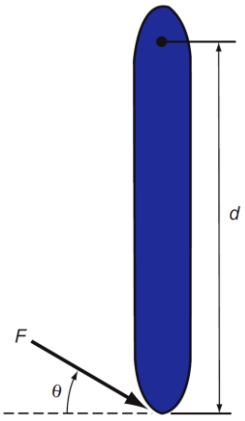
يعرف الازدواج بأنه ميل القوة إلى توليد دوران حول محور. يرمز للازدواج في العادة بالحرف L ، ويعطى بحاصل ضرب القوة العمودية والمسافة d من نقطة التطبيق إلى محور الدوران، أي أن (انظر الشكل أ-2)،

$$L = F\ \cos\theta \times d \qquad \text{أ-20}$$

تسمى المسافة d بذراع الرافعة أو ذراع العزم.

الجدول أ-2 عزوم القصور الذاتي لبعض الأجسام البسيطة.

Body	Location of axis	Moment of inertia
A thin rod of length l	Through the center	$ml^2/12$
A thin rod of length l	Through one end	$ml^2/3$
Sphere of radius r	Along a diameter	$2mr^2/5$
Cylinder of radius r	Along axis of symmetry	$mr^2/2$



الشكل أ-2 الازدواج الناتج بواسطة قوة.

أ-18 قوانين نيوتن للحركة الزاوية

القوانين التي تحكم الحركة الزاوية تشـــبه قوانين الحركة الانتقالية. الازدواج يشـــبه القوة، وعزم القصور الذاتي يشبه الكتلة.

القانون الأول: سيستمر الجسم الدائر في الدوران بسرعة زاوية ثابتة ما لم يؤثر عليه ازدواج خارجي.

القانون الثاني: يشـــبه التعبير الرياضـــي للقانون الثاني في الحركة الزاوية المعادلة أ-20. إنه ينص على إن الازدواج يساوي حاصل ضرب عزم القصور الذاتي والعجلة الزاوية، بمعنى،

$$L = I\ \alpha \qquad \text{أ-21}$$

القانون الثالث: لكل ازدواج يوجد رد فعل ازدواج مساوي له في المقدار ومضاد له في الاتجاه.

أ-19 العزم الزاوي

يعرف العزم الزاوي بالعلاقة،

$$\text{Angular Momentum} = I\,\omega \qquad \text{أ-22}$$

من قوانين نيوتن، يمكن بيان أن العزم الزاوي لجسم يكون محفوظ إذا لم يوجد ازدواج غير متزن يؤثر في الجسم.

أ-20 جمع القوى الازدواجات

يمكن تطبيق أي عدد من القوى الازدواجات في نفس الوقت على جسم ما. ونظرا لأن القوى الازدواجات عبارة عن متجهات تتميز بكل من مقدار واتجاه، فإن التأثير المحصل يمكن الحصول عليه بالجمع الاتجاهي. عندما يكون مطلوب القوة الكلية التي تؤثر في جسم ما، يكون من المريح في الغالب تحليل كل قوة إلى مركباتها المتعامدة. تم تمثيل هذا في حالة ثنائية البعد في الشكل أ-3. هنا قمنا باختيار المحور الأفقي كمحور-x والمحور الرأسي كمحور-y كمحاور متعامدة. في الحالة الأكثر تعقيد، حالة الأبعاد الثلاثة يتم اعتبار المحور الثالث من اجل التحليل.

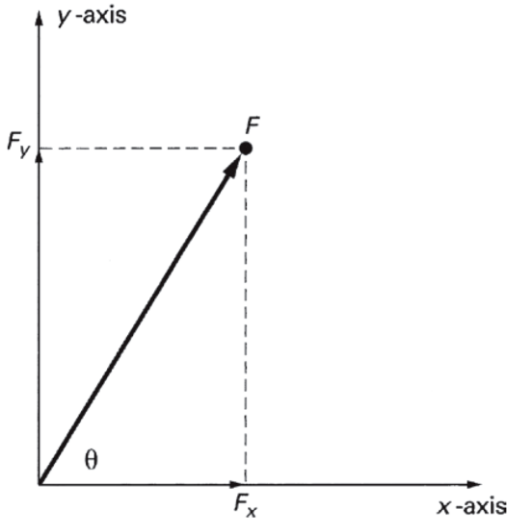
تكتب المركبتين المتعامدتين للقوة على النحو،

$$F_x = F\,\cos\theta$$

$$F_y = F\sin\theta \qquad \text{أ-23}$$

يعطى مقدار القوة على الصورة،

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \qquad \text{أ-24}$$



الشكل أ-3 تحليل القوة إلى مركبة أفقية وأخرى عمودية.

عند جمع عدد من القوى ($F_1, F_2, F_3, \ldots$) يتم تحليل القوى الى المركبات المتعامدتة وجمع كل المركبات في كل محور والحصول على القوة الكلية كالأتي،

$$\begin{aligned} (F_T)_x &= (F_1)_x + (F_2)_x + (F_3)_x + \ldots\ldots \\ (F_T)_y &= (F_1)_y + (F_2)_y + (F_3)_y + \ldots\ldots \end{aligned} \qquad \text{أ-25}$$

ويكون مقدار القوة الكلية على النحو،

$$F_T = \sqrt{(F_T)_x^2 + (F_T)_y^2} \qquad \text{أ-26}$$

يؤثر الازدواج الناتج عن القوة لتوليد دوران في إما في اتجاه او عكس اتجاه عقارب الساعة. إذا رمزنا لأحد الاتجاهين بإشارة موجب يكون الأخر سالب، ويتم الحصول على الازدواج الطكلي المؤثر في الجسم بجمع الازدواجات الفردية كل بإشارته.

أ-21 الإتزان الساكن

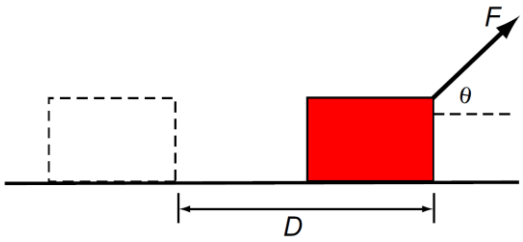
يكون الجسم في اتزان ساكن (استاتيكي) إذا كان كل من العجلة الخطية والزاوية له صفر. لتحقيق هذا الشرط، يجب أن يكون مجموع القوى المؤثرة على الجسم F ، وكذلك مجموع الازدواجات المتولدة بهذه القوي L يساوي صفر، أي أن،

$$\sum F = 0 \quad \text{and} \quad \sum L = 0$$ أ-27

أ-22 الشغل

في اللغة اليومية، تشير كلمة شغل الى أي مجهود سواء كان فيزيائي أو ذهني. في الفيزياء، تكون الحاجة الى تعريف محدد. هنا يعرف الشغل بإنه حاصل ضرب القوة والمافة التي خلالها تؤثر القوة. القوة الموازية لإتجاه الحركة هي فقط التي تبذل شغل عل الجسم. يبين الشكل أ-4 هذا المفهوم. تجذب القوة F المطبقة بزاوية θ الجسم هلى امتداد السطح للمسافة d . يكون الشغل المبذول بواسطة القوة على الصورة،

$$\text{Work} = F\ \cos\theta \times D$$ أ-28



الشكل أ-4 الشغل المبذول بواسطة قوة.

أ-23 الطاقة

الطاقة مفهوم مهم. توجد إشارة للطاقة فيما يتعلق بظواهر مختلفة متباينة. نحن نتحدث عن الطاقة الذرية، الطاقة الحرارية، طاقة الوضع، الطاقة الشمسية، طاقة الحركة. حتى إننا نقول عن الناس بأنهم مشحونين بالطاقة. العامل المشترك الذي يربط كل هذه الاشكال معا هو إمكانية الحصول على شغل من هذه المصادر. إن العلاقة بين الشغل والطاقة علاقة بسيطة. تكون الطاقة مطلوبة لبذل الشغل، وتقاس الطاقة بنفس وحدات الشغل. فعلى سبيل المثال نقول إنها تأخذ طاقة 2 جول لبذل شغل مقداره 2 جول. في كل العمليات الفيزيائية تكون الطاقة محفوظة. من خلال الشغل، يمكن أن تتحول الطاقة من شكل إلى شكل أخر، مع ذلك تبقى الكمية الكلية للطاقة كما هي (دون تغيير).

أ-24 أشكال الطاقة

أ-24-1 طاقة الحركة

الأجسام المتحركة يمكن ان تبذل شغل بفضل حركتها. على سبيل المثال، عندم يصطدم جسم متحرك بآخر ساكن، فإن الجسم الساكن يكتسب عجلة. هذا يدل على أن الجسم المتحرك طبق قوة على الجسم الساكن وبذل شغل عليه. تعطى طاقة الحركة (KE) لجسم كتلته m ويتحرك بسرعة v بالعلاقة،

$$KE = \frac{1}{2} m v^2 \qquad \text{أ-29}$$

في الحركة الدائرية، تكون طاقة الحركة هي،

$$KE = \frac{1}{2} I \omega^2 \qquad \text{أ-30}$$

أ-24-1 طاقة الوضع Potential Energy

طاقة الوضع لجسم هي مقدرته على بذل شغل بسبب مكانه أو شكله (ترتيبه). عندما يرفع جسم وزنه W الى ارتفاع H بالنسبة للسطح يصبح له طاقة وضع تعكى على الصورة،

$$PE = WH \qquad \text{أ-31}$$

هذه هي كمية الشغل الذي بذل لرفع الجسم الى الارتفاع H . يمكن استراجاع نفس الطاقة عند السماح للجسم بالهبوط عائدا الى السطح مرة أخرى.

إن شد أو ضغط زنبرك يعطي طاقة وضع. إن القوة اللازمة لشد أو ضغط الزنبرك تتناسب طرديا مع طول الاستطالة أو الانضغاط (S)، بمعنى أن،

$$F = k s \qquad \text{أ-32}$$

k هنا هو ثابت الزنبرك. تعطى طاقة الوضع المختزنة في الزنبرك المشدود أو المضغوط بالعلاقة،

$$PE = \frac{1}{2} k s^2 \qquad \text{أ-33}$$

أ-24-3 الحرارة

الحرارة هي شكل من اشكال الطاقة، ويمكن ان تتحول الى شغل أو الى شكل من الاشكال الأخرى. مع ذلك، في لا تساوي في القيمة الاشكال الأخرى للطاقة. بينما يمكن تحويل الشغل والاشكال الأخرى من الطاقة الى حرارة بشكل كلي، يمكن تحويل الحرارة الى الاشكال الأخرى من الطاقة بشكل جزئي فقط.

تقاس الحرارة غالبا بوحدات السعر. السعر الواحد (cal) هو كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 جرام من الماء درجة مئوية واحدة. تسمى الطاقة الحرارية اللازمة لرف وحدة الكتلة من المادة درجة مئوية واحدة بالحرارة النوعية. سعر واحد يساوي 4.184 جول. وحدة الحرارة التي تستخدم كثيرا في الكيمياء والتقنية الغذائية هي الكيلو سعر (Cal) وهى تساوي 1000 سعر.

أ-25 القدرة

تسمى كمية الشغل المبذول (أو كمية الطاقة المستهلكة) في وحدة الزمن بالقدرة. يتم التعبير عن القدرة بالعلاقة،

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \qquad \text{أ-34}$$

حيث ΔE الطاقة المستهلكة في الفترة الزمنية Δt .

أ-26 الوحدات والتحويلات

أ-26-1 الطول

SI unit: meter (m)
Conversions: 1 m = 100 cm (centimeter) = 1000 mm (millimeter)
1000 m = 1 km
1 m = 3.28 feet = 39.37 in
1 km = 0.621 mile
1 in = 2.54 cm

علاوة على ذلك، يستخدم الميكرون والأنجستروم في الفيزياء والأحياء كثيرا.

1 micron (μm) $= 10^{-6}$ m $= 10^{-4}$ cm

1 angstrom (Å)* $= 10^{-8}$ cm

أ-26-2 الكتلة

SI unit: kilogram (kg)

Conversions: 1 kg = 1000 g

The weight of a 1-kg mass is 9.8 newton (N).

أ-26-3 القوة

SI unit: kg m s^{-2}, name of unit: newton (N)

Conversions: 1 N $= 10^5$ dynes (dyn) $= 0.225$ lbs

أ-26-4 الضغط

SI unit: kg $m^{-1} s^{-2}$, name of unit: pascal (Pa)

Conversions: 1 Pa $= 10^{-1}$ dynes/cm^2 $= 9.87 \times 10^{-6}$ atmosphere (atm)

$= 1.45 \times 10^{-4}$ lb/in^2

1 atm $= 1.01 \times 10^5$ Pa $= 760$ mmHg (torr)

أ-26-5 الطاقة

SI unit: kg $m^{-2} s^{-2}$, name of unit: joule (J)

Conversions: 1 J $= 1$ N-m $= 10^7$ ergs $= 0.239$ cal $= 0.738$ ft-lb

أ-26-6 القدرة

SI unit: J s^{-1}, name of unit: watt (W)

Conversions: 1 W $= 10^7$ ergs/sec $= 1.34 \times 10^{-3}$ horsepower (hp)

الملحق ب - مراجعة على الكهربية

ب-1 الشحنة الكهربية

تتكون المادة من ذرات، وتتكون الذرة من نواة محاطة بإلكترونات. النواة ذاتها مكونة من بروتونات ونيوترونات. الشحنة الكهربية هي خاصية البروتونات والإلكترونات. هذان هما نوعان الشحنة الكهربية: موجب وسالب. البروتون يكون موجب الشحنة، في حين يكون الإلكترون سالب. تكون كل الظواهر الكهربية ناتجة عن هذه الشحنات الكهربية.

الشحنات تمارس قوى على بعضها البعض، حيث تتجاذب الشحنات المختلفة وتتنافر الشحنات المتشابهة. تكون الإلكترونات ممسوكة حول النواة بتجاذب كهربي مع البروتونات. بالرغم أن البروتون يكون اثقل من الإلكترون بـ **2000** مرة تقريبا، إلا انهما يحملان نفس القدر من الشحنة. يكون عدد البروتونات المشحونة بالموجب مثل عدد الإلكترونات المشحونة بالسالب، وتكون الذرة ككل متعادلة كهربيا. تتحدد ذرة العنصر بعدد البروتونات الموجودة في نواتها. بالتالي، على سبيل المثال، يملك الهيدروجين بروتون واحد، والنتروجين **7** بروتونات، والذهب **79** بروتون.

من الممكن إزالة إلكترون من الذرة وتركها مشحونة بالموجب. تسمى مثل هذه الذرة التي ينقصها إلكترون أيون موجب. أيضا يمكن إضافة إلكترون للذرة وهذا يجعلها أيون سالب.

تقاس الشحنة الكهربية بوحدات الكولوم (**C**). مقدار الشحنة على البروتون أو الإلكترون يساوي 1.6×10^{-19} C. تتناسب القوة F بين جسمين مشحونين تناسب طردي مع حاصل ضرب شحناتهما Q_1 و Q_2 وعكسي مع مربع المسافة R بينهما، أي أن،

$$F = \frac{-K Q_1 Q_2}{R^2} \qquad \text{ب-1}$$

تعود الإشارة السالبة الى ان الشحنات المتشابهة تتنافر، وستختفي الإشارة عندما تتجاذب شحنات مختلفة. تعرف هذه المعادلة بقانون كولوم. عند قياس R بالمتر، يكون الثابت K مساويا ل

9×10^{9} C ، ويتم الحصول على القوة بالنيوتن.

ب-2 المجال الكهربي Electric Field

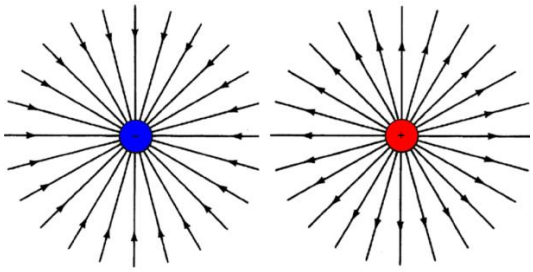
تمارس الشحنة الكهربية قوة على الشحنة الكهربية الأخرى، كما تمارس الكتلة قوة على كتلة أخرى، ويمارس المغناطيس قوة على مغناطيس أخر. كل هذه القوى تملك سمة مشتركة مهمة. لا تحتاج ممارسة القوة الى الاتصال المادي بين الجسام المتفاعلة، حيث تؤثر القوى عن بعد، ويكون مفهوم خطوط القوى أو المجال مهم في تصور هذه القوى التي تؤثر عن بعد.

يمكن تخيل أي جسم يؤثر على جسم أخر كما لو كان يملك خطوط قوة تخرج منه. يسمى شكل الخط الكامل بمجال القوة. تشير الخطوط الى اتجاه القوة وتتناسب كثافتها عند أي نقطة في الفضاء مع مقدار القوة عند تلك النقطة.

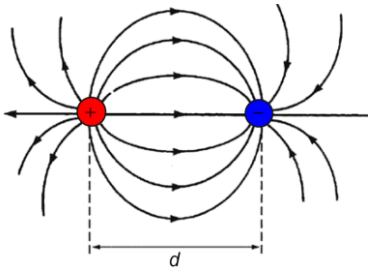
تخرج خطوط القوة من الشحنة الكهربية بشكل منتظم في كل الاتجاهات. جرى العرف على اعتبار ان الخطوط تشير الى اتجاه القوة التي يمارسها مصدر شحني على شحنة موجبة. هكذا، فإن خطوط القوى تخرج مبتعدة عن الشحنة الموجبة وتدخل مقتربة في الشحنة السالبة (انظر الشكل ب-1). يتناسب عدد خطوط القوى الخارجة من الشحنة مع مقدار الشحنة الكهربية بحيث لو تضاعفت شحنة المصدر يتضاعف عدد الخطوط.

ليس بالضرورة ان تكون خطوط القوى مستقيمة، وكما ذكرنا من قبل، فإنها تشير الى الاتجاه الذي تؤثر فيه القوة. كمثال، يمكننا اعتبار المجال المحصل الناتج عن شحنتين تنفصلا بمسافة d . لحساب المجال يجب ان نحسب المسافة ومقدار القوة المحصلة على الشحنة الموجبة عند كل النقاط في الفضاء. يمكن عمل هذا بالجمع الاتجاهي لخطوط القوى نتيجة كل شحنة. يبين الشكل ب-2 مجال القوة نتيجة شحنة وموجبة وأخرى سالبة متساويتان في المقدار ومنفصلتان بمسافة d . هنا، تكون خطوط القوى منحنية. بالطبع، هذا يكون اتجاه القوة المحصلة على شحنة موجبة في المنطقة المحيطة بالشحنتين الثابتتين. يسمى المجال المبين في الشكل ب-2 بمجال ثنائي القطب، وهو شبيه

بالمجال المتولد بواسطة المغناطيس القضيبي.



الشكل ب-1 تمثيل ثنائي البعد للمجال الكهربي الناتج من (أ) شحنة نقطية موجبة، (ب) شحنة نقطية سالبة.



الشكل ب-2 مجال القوة نتيجة شحنة وموجبة وأخرى سالبة وبينهما مسافة d .

ب-3 فرق الجهد

يقاس المجال الكهربي بوحدات الفولت لكل متر (أو فولت/سم). حاصل ضرب المجال الكهربي والمسافة التي يمتد على طولها المجال يعتبر متغير مهم يسمى فرق الجهد أو الجهد. يعتبر الجهد (V) بين نقطتين مقياسا للطاقة المنتقلة عندما تتحرك الشحنة بين النقطتين. يقاس فرق الجهد بالفولت. عندما يوجد فرق جهد بين نقطتين، تؤثر قوة على الشحنة الموضوعة في المنطقة بين النقطتين. إذا كانت الشحنة موجبة، تميل القوة إلى تحريك الشحنة بعيدا عن الشجنة الموجبة وقريبا نحو الشحنة السالبة.

ب-4 التيار الكهربي

يتولد التيار الكهربي عن طريق حركة الشحنات. يعتمد مقدار التيار على كمية الشحنة المتدفقة عبر

نقطة معينة في زمن معين. يقاس التيار الكهربي بواحدات الامبير (*A*). واحد امبير يساوي واحد كولوم (*C*) من الشحنة المتدفقة عبر النقطة في زمن مقداره ثانية واحدة (sec).

ب-5 الدوائر الكهربية

تتناسب كمية التيار المتدفق بين نقطتين في مادة ما مع فرق الجهد بين النقطتين ومع الخصائص الكهربية للمادة. يتم تمثيل الخصائص الكهربية في العادة بثلاثة متغيرات: المقاومة، والسعة والحث الذاتي. المقاومة تقيس معاكسة مرور التيار، ويعتمد هذا المتغير على خاصية للمادة تسمى المقاومة النوعية. المقاومة النوعية تشبه الاحتكاك في الحركة الميكانيكية. السعة تقيس مقدرة المادة على إختزان الشحنات الكهربية، بينما يقيس الحث الذاتي معاكسة المادة على التغيرات في تدفق التيار. تظهر كل المواد بدرجة ما كل هذه الخصائص الأربعة: بالرغم من انه في العادة تكون واحدة من هذه الخصائص سائدة. من الممكن تصنيع عناصر بقيم معينة للمقاومة، أو للسعة أو للحث الذاتي، وتسمى هذه المكونات بالمقاومات، المكثفات وملفات الحث الذاتي، على الترتيب.

يبين الشكل ب-3 الرموز التخطيطية لهذه العناصر الكهربية الثلاثة. يمكن توصيل العناصر الكهربية معا لتكوين دائرة كهربية. يمكن التحكم في التيارات بالاختيار المناسب للمكونات وشكل التوصيل في الدائرة. يبين الشكل ب-4 مثال للدائرة الكهربية. تم تطوير تقنيات مختلفة لتحليل مثل هذه الدوائر وحساب الجهود والتيارات عند كل النقاط في الدائرة.

ب-5-1 المقاومة

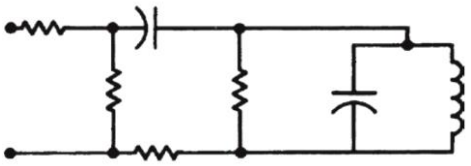
المقاومة هي عنصر دائرة يعاكس تدفق التيار. تقاس المقاومة (R) بوحدات الأوم (Ω). تعطى العلاقة بين التيار (I) والجهد (V) بقانون أوم على الصورة،

$$V = I\,R \qquad \text{ب-2}$$

الشكل ب-3 عناصر الدائرة.

تسمى المواد لها مقاومة صغيرة جدا لتدفق التيار بالموصلات، بينما تسمي المواد التي لها مقاومة عالية جدا بالعوازل. يكون تدفق التيار خلال المقاومة مصحوب دائما باستهلاك طاقة على هيئة طاقة كهربية تتحول الى حرارة. تعطى الطاقة المستهلكة (P) في المقاومة بالعلاقة،

$$P = I^2 R \qquad \text{ب-3}$$



الشكل ب-4 مثال لدائرة كهربية.

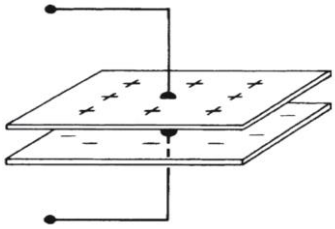
يسمى مقلوب المقاومة يسمى بالتوصيل، ويرمز لها عادة بالرمز G . يقاس التوصيل بوحدات مقلوب الأوم (Ω^{-1})، ويسمى أيضا بالسيمنز. تكون العلاقة بين التوصيل والمقاومة على الصورة،

$$G = \frac{1}{R} \qquad \text{ب-4}$$

ب-5-2 المكثف

المكثف هو عنصر دائرة يختزن الشحنات الكهربية. في ابسط اشكاله، يتكون المكثف من لوحين موصلين متوازيين يفصلهما مادة عازلة (انظر الشكل ب-5). تقاس سعة المكثف (C) بالفاراد. تعطى العلاقة بين الشحنة المختزنة وفرق الجهد عبر طرفي المكثف على الصورة،

$$Q = CV \qquad \text{ب-5}$$



الشكل ب-5 تركيب مكثف بسيط.

في المكثف المشحون، تكون الشحنات الموجبة على احد اللوحين والشحنات السالبة على اللوح الأخر. تعطى كمية الطاقة الكهربية المختزنة في مثل هذا الشكل بالعلاقة،

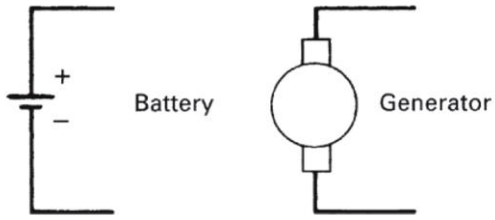
$$E = \frac{1}{2}CV^2 \qquad \text{ب-6}$$

ب-5-3 الملف الحثي

الملف الحثي هو جهاز يعاكس تغير تدفق التيار خلاله. يقاس الحث الذاتي بوحدات الهنري.

ب-6 مصادر الجهد والتيار

يمكن ان تتولد الجهود والتيارات بواسطة البطاريات والمولدات المختلفة. تستند البطاريات على التفاعلات الكيميائية التي تنتج فصل للشحنات الموجبة والسالبة خلال المادة. المولدات تولد الجهود عن طلايق حركة موصلات في مجالات مغناطيسية. يبين الشكل ب-6 رموز الدائرة لهذه المصادر.



الشكل ب-6 رموز الدائرة للبطارية والمولد.

ب-7 الكهربية والمغناطيسية

الكهربية والمغناطيسية ظواهر مرتبطة إحداهما بالأخرى. تغيير المجال الكهربي دائما يولد مجال

مغناطيسي، والعكس صحيح. يمكن اعزاء كل الظواهر الكهرومغناطيسية إلى هذا الارتباط الأساسي.

بعض من النتائج المترتبة على هذا التفاعل يكون كما يلي:

1- يولد التيار الكهربي دائما مجال مغناطيسي في اتجاه عمودي على تدفق التيار.

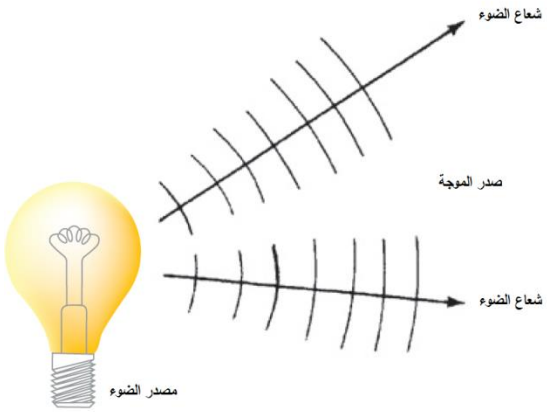
2- يتولد تيار بالحث في الموصل الذي يتحرك عمودي على مجال مغناطيسي.

3- الشحنة الكهربية المتذبذبة تبعث موجات كهرومغناطيسي بتردد الضوء. ينتشر هذا الإشعاع مبتعدا من المصدر بسرعة الضوء. موجات الراديو، الضوء، والأشعة السينية هي امثله للإشعاع الكهرومغناطيسي.

الملحق ج- مراجعة على الضوء

ج-1 الضوء الهندسي

يمكن اشتقاق مميزات المكونات الضوئية، مثل المرايا والعدسات، بالكامل من الخصائص الموجية للضوء. مع ذلك، في العادة تكون الحسابات التفصيلية معقدة جدا لأنه يجب على المرء تتبع مسار صدر الموجة بدقة على طول كل نقطة في العنصر الضوئي. يمكن تبسيط المسألة إذا كانت العناصر الضوئية أكبر من الطول الموجي للضوء بكثير. يتضمن التبسيط إهمال لبعض الخصائص الموجية للضوء واعتبار الضوء كشعاع يسافر عمودي على صدر الموجه (كما هو مبين في الشكل ج-1). في الوسط المتجانس، يسافر شعاع الضوء في خط مستقيم، ويغير اتجاهه فقط عند الأسطح بين وسطين. هذه المعالجة المبسطة تسمى الضوء الهندسي.



الشكل ج-1 أشعة الضوء تكون عمودية على صدر الموجة.

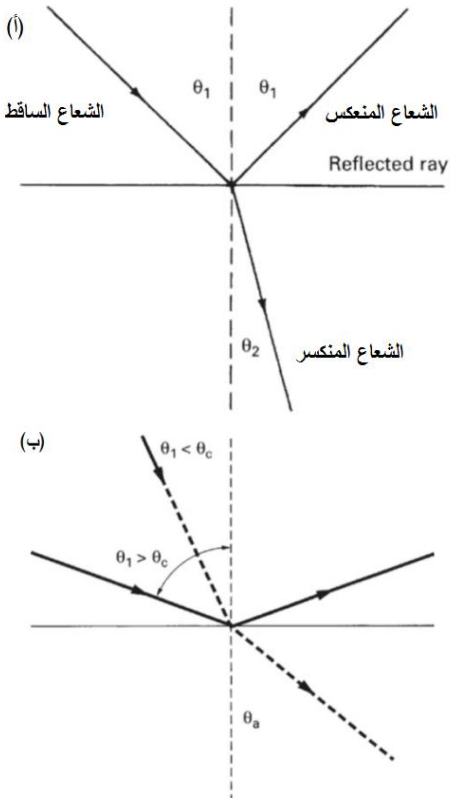
تعتمد سرعة الضوء على الوسط الذي ينتشر فيه. في الفراغ، يسافر الضوء بسرعة 300000 كيلومتر في الثانية أي 3×10^8 m/sec. في الوسط المادي، تكون سرعة الضوء أقل في العادة. تتميز سرعة الضوء في المادة بمعامل الانكسار (n) والذي يعرف على النحو التالي،

$$n = \frac{c}{v} \qquad \text{ج-1}$$

حيث C هي سرعة الضوء في الفراغ و V سرعة الضوء في المادة. عندما يدخل الضوء من وسط إلى آخر، يتغير اتجاه انتشاره (انظر الشكل ج-2). تسمى هذه الظاهرة بالانكسار. تعطى العلاقة بين زاوية السقوط (θ_1) وزاوية الانكسار (θ_2) على الصورة،

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \qquad \text{ج-2}$$

تسمى العلاقة في المعادلة السابقة بقانون سنيل (Snell's law). كما هو مبين في الشكل ج-2، بعض من الضوء ينعكس أيضا. تكون زاوية الانعكاس مثل زاوية السقوط دائما.



الشكل ج-2 (أ) انعكاس وانكسار الضوء، (ب) الانعكاس الكلى الداخلي.

في الشكل ج-2(أ) تظهر زاوية السقوط θ_1 للشعاع الساقط اكبر من زاوية الانكسار θ_2 . هذا يعني أن معامل الانكسار n_2 اكبر من n_1 وهي الحالة التي يدخل فيها الضوء من الهواء إلى زجاج. على الجانب الأخر، إذا سقط الضوء من وسط معامل انكساره اكبر، كما هو مبين في الشكل ج-2(ب)، حينئذ

تكون زاوية السقوط θ_1 اصغر من زاوية الانكسار θ_2. عند قيمة معينة للزاوية θ_1 تسمى الزاوية الحرجة (يرمز لها بالرمز θ_c)، فإن الضوء يخرج مماسا للسطح، بمعنى أن $\theta_2 = 90^o$. في هذه الحالة $\sin\theta_2 = 1$، وبالتالي، $\sin\theta_1 = \sin\theta_c = n_2 / n_1$. أكبر من هذه الزاوية، أي عند θ_1 اكبر من θ_c، لا ينفذ الضوء الناشئ في الوسط الأكبر معامل انكسار بل ينعكس عائدا في نفس الوسط. تسمى هذه الظاهرة بالانعكاس الكلي الداخلي. بالنسبة للزجاج $n_2 = 1.5$ والزاوية الحرجة للسطح البيني زجاج-هواء تكون $\sin\theta_c = 1/1.5$ أو $\theta_c = 42^o$.

يمكن تشكيل المواد الشفافة مثل الزجاج إلى عدسات لتغيير مسار الضوء في اتجاه معين. تنقسم العدسات إلى صنفين رئيسين هما العدسات المجمعة والعدسات المفرقة. تقوم العدسات المجمعة بتغيير مسار الأشعة لتتجمع معا، في حين تقوم العدسات المفرقة بالعملية العكسية، بمعنى تفرق أشعة الضوء.

باستخدام الضوء الهندسي، يمكننا حساب حجم وشكل الصور المتكونة بعناصر ضوئية، لكن لا يمكننا توقع التشوه المتوقع للصور والذي يحدث كنتيجة لطبيعة الضوء الموجية.

ج-2 العدسات المجمعة

يبين الشكل ج-3 عدسات مجمعة (لامة) بسيطة. يسمي هذا النوع من العدسات بالعدسات المحدبة.تتجمع الأشعة المتوازية المارة خلال العدسات اللامة في نقطة تسمى البؤرة الرئيسية للعدسة. يسمى بعد هذه النقطة عن العدسة بالبعد البؤري f. على العكس، يمر الضوء الصادر من مصدر ضوئي موضوع عند البؤرة خلال العدسة ويخرج كحزمة متوازية. يتعين البعد البؤري للعدسات بمعامل انكسار مادة العدسات وانحناء أسطح العدسات. فيما يلي نعرض بعض الحقائق المتفق عليها عند مناقشة العدسات.

1- يسافر الضوء من اليسار إلى اليمين.

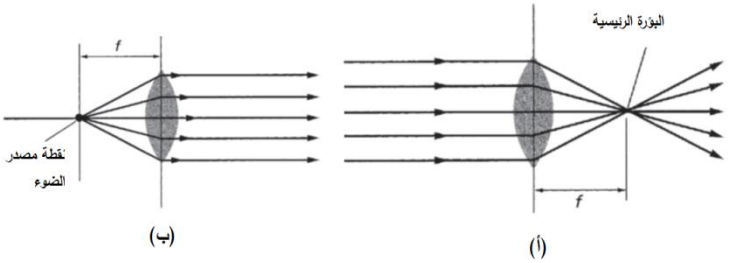
2- يكون نصف قطر التكور موجب إذا كان السطح المنحني الذي يصادفه الضوء محدب، ويكون

سالب إذا كان مقعر.

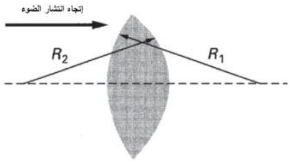
3- يمكن بيان أنه في حالة العدسة الرقيقة يعطي البعد البؤري بالعلاقة،

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \qquad \text{ج-3}$$

حيث R_1 و R_2 هي أنصاف أقطار انحناء السطح الأول والثاني على الترتيب (انظر الشكل ج-4). R_2 يكون رقم سالب.



الشكل ج-3 عدسة لامة مضاءة (أ) بضوء متوازي، (ب) بمصدر نقطي عند البؤرة.



الشكل ج-4 تعريف نصف قطر تكور العدسة.

يكون البعد البؤري مقياسا لقوة تجميع العدسات. كلما كان البعد البؤري صغير كانت قوة العدسة أكبر. في العادة، يتم التعبير عن قوة تركيز العدسة بوحدات الديوبتر والذي يعرف على النحو التالي،

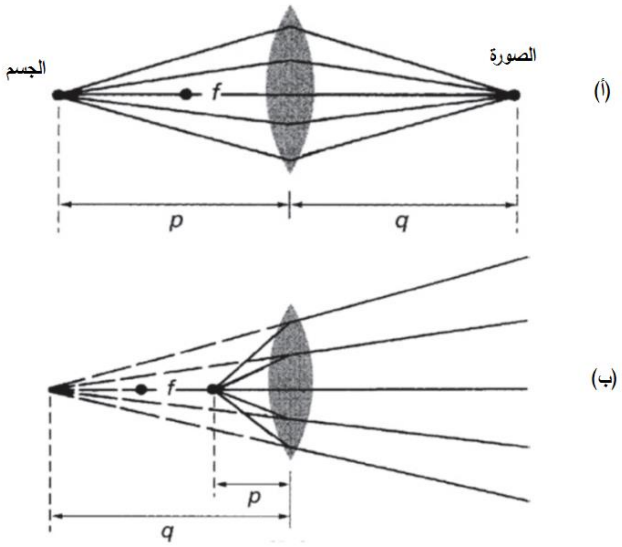
$$\text{Focusing Power} = \frac{1}{f\ (\text{meters})}\ (\text{diopters}) \qquad \text{ج-4}$$

عند وضع عدستين رقيقتين بعادهما البؤرية f_1 و f_2 قريبتين من بعضهما البعض، يكون البعد البؤري f_T للمجموعة هو،

$$\frac{1}{f_T} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \qquad \text{ج-5}$$

يظهر الضوء الصادر من مصدر نقطي موضوع خلف البعد البؤري كصورة نقطية على الجانب الاخر

من العدسة (انظر الشكل ج-5(أ). يسمى هذا النوع من الصورة صورة حقيقية لانه يمكن استقبالها على شاشة موضوعة عند نقطة التجمع.



الشكل ج-5 تكون الصورة بواسطة العدسة اللامة: (أ) صورة حقيقية، (ب) صورة تخيلية.

عندما تكون المسافة بين مصدر الضوء (الجسم) والعدسة اقل من البعد البؤري، فإن الاشعة لا تتجمع، وتظهر كما لو كانت آتية من نقطة على نفس جانب العدسة. هذه النقطة الظاهرية للتجمع تسمى صورة تقديرية (تخيلية)، كما هو مبين في الشكل ج-5 (ب).

في حالة العدسات الرقيقة، تكون العلاقة بين مسافات المصدر والصورة من العدسة على النحو التالي،

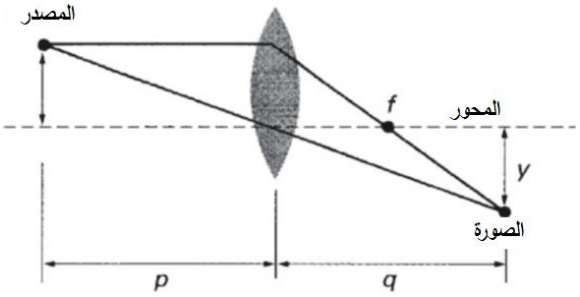
$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f} \qquad \text{ج-6}$$

p و q هنا هما مسافات المصدر والصورة من العدسة على الترتيب. جرى العرف على ان q في هذه المعادلة تكون موجبة اذا تكونت الصورة على جانب العدسة المقابل للمصدر وسالبة اذا تكونت على نفس الجانب.

تكون الاشـــعة القادمة من مصـــدر بعيد جدا تكون متوازية، بالتالي من التعريف نتوقع انها تتجمع في البؤرة الرئيســية للعدســة. يتأكد هذا بالعادلة ج-6، والتي تبين أن p تصــبح كبيرة جدا (تقترب من مالا نهاية) عند تصبح q مساوية لـ f .

عندما يبعد المصدر مسافة q من المحور، فإن الصورة تتكون على المسافة q من المحور بحيث،

$$\frac{y}{x} = \frac{q}{p}$$ ج-7



الشكل ج-6 موقع الصورة من المحور.

تم ايضاح هذا في حالة الصورة الحقيقية في الشكل ج-6. لا تزال تعطى العلاقة بين p و q بالمعادلة ج-6.

ج-3 صور الأجسام الممتدة

حتى الآن ناقشنا فقط تشكيل الصور من مصادر نقطية. ومع ذلك، يتم تطبيق المعالجة بسهولة على الأجسام ذات الحجم المحدود.

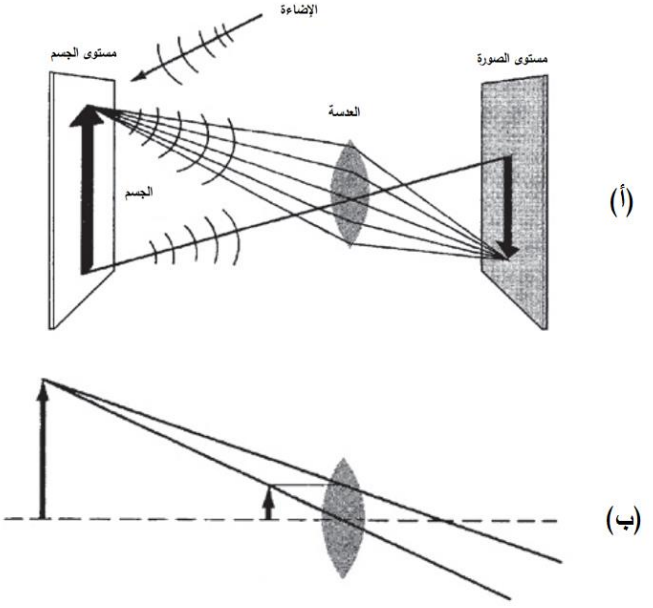
عندما يضاء جسم، تنبعث أشعة الضوء من كل نقطة على الجسم (الشكل ج-7(ا)). كل نقطة على مستوى الجسم الذي يبعد من العدسة المسافة p يتم تصويرها في النقطة المقابلة على مستوى الصورة الذي يبعد عن العدسة المسافة q . تعطي العلاقة بين مسافات الجسم والصورة عن العدسة بالمعادلة ج-6. وكما هو مبين في الشكل ج-7، تنقلب الصور الحقيقية وتكون الصور

الافتراضية معتدلة. تعطى النسبة بين ارتفاع الصورة وارتفاع الجسم بالمعادلة،

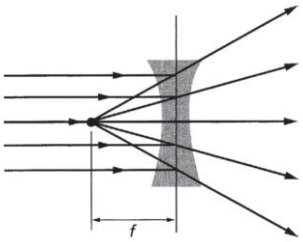
$$\frac{\text{Image height}}{\text{Object height}} = \frac{q}{p} \qquad \text{ج-8}$$

ج-4 العدسات المفرقة

يبين الشكل ج-8 مثال على العدسة المفرقة وهي عدسة مقعرة. يتباعد ضوء المتوازي بعد مروره خلال العدسة المقعرة. يكون المصدر الظاهري للأصل للأشعة المتفرقة هو نقطة البؤرة للعدسة المقعرة. تنطبق كل المعادلات التي قدمناها للعدسة اللامة في هذه الحالة أيضا، بشرط تطبيق عرف الإشارة أيضا. من المعادلة ج-3، يترتب على ذلك أن البعد البؤري للعدسة المفرقة يكون سالب دائما وتنتج العدسة صورا تقديرية فقط (الشكل ج-8).



الشكل ج-7 صورة جسم: (ا) حقيقية، (ب) تخيلية.



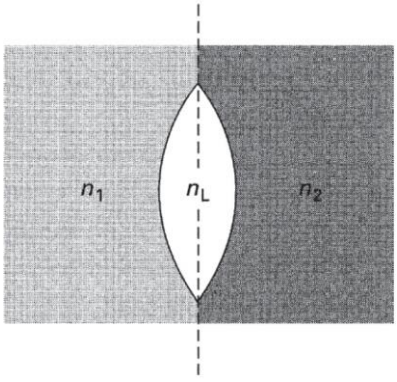
الشكل ج-8 العدسة المفرقة (المقعرة).

ج-5 العدسة المغمورة في وسط مادي

تنطبق معادلات العدسة التي قدمناها حتى الآن في الحالة عندما كانت العدسة محاطة بالهواء الذي له معامل انكسار 1 تقريب 1. دعونا ننظر الآن الوضع الأعم المبين في الشكل ج-9، الذي سنحتاج إليه في مناقشتنا للعين. العدسة هنا تكون مغمورة في وسط له معامل انكسار مختلف (n_1 و n_2) على كل جانب من جانبي العدسة.

يمكن بيان (انظر المرجع [3-15]) أنه في ظل هذه الظروف تكون العلاقة بين مسافات الجسم والصورة هي

$$\frac{n_1}{p}+\frac{n_2}{q}=\frac{n_L-n_1}{R_1}-\frac{n_L-n_2}{R_2} \qquad \text{ج-9}$$



الشكل ج-9 عدسة مغمورة في وسط مادي.

n_L هنا هو معامل انكسار مادة العدسة. يعطى البعد البؤري الفعال في هذه الحالة بالعلاقة،

$$\frac{1}{f} = \frac{n_L - n_1}{R_1} - \frac{n_L - n_2}{R_2} \qquad \text{ج-10}$$

لاحظ انه في الهواء يكون $n_1 - n_2 = 1$ وتختزل المعادلة ج-**10** الى الصورة ج-**3**.

معادلات العدســات التي قدمناها في هذا الملحق تفترض أن العدســات هي من النوع الرقيق، وهذا لا يتفق بشكل تام مع عدسات العين. خلاف ذلك تعتبر هذه المعادلات كافية لنا.

الاختصارات المستخدمة في هذا الكتاب

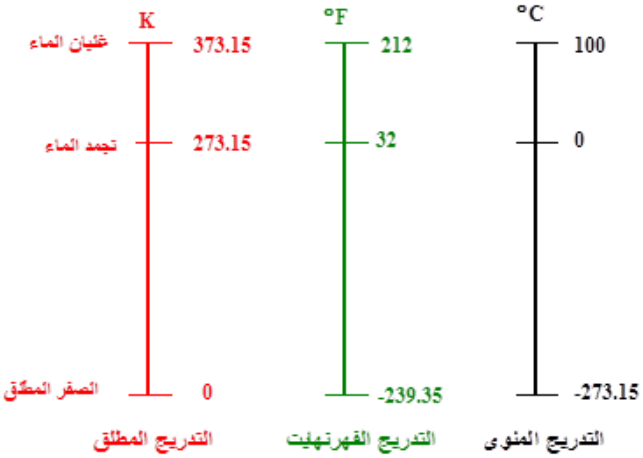
امبير	**A**
أنجستروم	Å
أوم	Ω
بوصة	**in**
تصوير بالرنين المغناطيسي	**MRI**
التوتر السطحي لرطوبة التربة	**SMT**
جرام	g
جول	**J**
جوي	**atm**
حد	**limit**
ديسيبل	dB
رنين نووي مغناطيسي	**NMR**
طاقة الوضع	**PE**
فاراد	**F**
فاراد/متر	**F/m**
فولت	**V**
قدم/ث	**ft/sec**
كالوري (جرام كالوري)	**cal**
كالوري (كيلو كالوري)	**Cal**
كيلوجرام	**kg**
كيلومتر لكل ساعة	**kph**
متر	**m**
متر/ثانية	**m/s**
متوسط	**av**
مركز الثقل	**c.g.**
ملي امبير	**mA**
ملي ثانية	**ms**
ميكرو امبير	**µA**
ميكروفولت/متر	**µV/m**
هيرتز	**Hz**

دورة/ثانية	**cps**
كولوم	**C**
دقيقة	**min**
باوند	**lb**
نيوتن	**N**
ظل الزاوية	**tan**
ساعة	**h**
كيلومتر/ساعة	**km/h**
جيب التمام	**cos**
لتر/دقيقة	**liter/mir**
قطر	**daim**
نيوتن.متر	**N.m**
باوند/مربع البوصة	**psi**
داين/سم^2	**dyn/cm^2**
قدم	**ft**
وات	**W**
داين	**dyn**
سم^2	**cm^2**
سم	**cm**
طاقة الحركة	**KE**
ميكرون	μ
أقصى	**max**
ثانية	**sec**
تصوير مقطعي محوسب	**CT**
درجة	**deg**
جيب الزاوية	**sin**
ميل/ساعة	**mph**
ميكرو فولت	**µV**
ملي فولت	**mV**
كيلومتر	**km**

بعض المراجع المفيدة

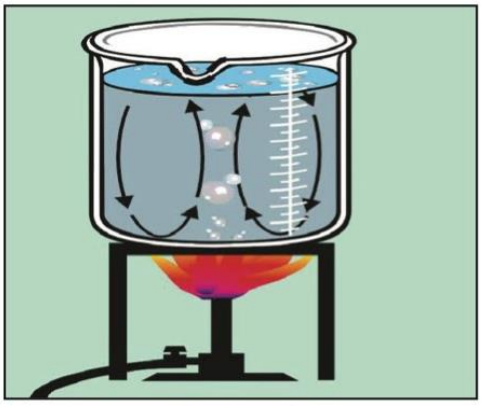
- ✓ الفيزياء العامة لغير المتخصصين، تأليف / د. يسرى مصطفى، د. الحسيني الطاهر، د. دعاء محمود، د. عفاف معوض، دار النوارس للطباعة والنشر، مصر، 2016.
- ✓ فيزياء الحالة الصلبة وتطبيقاتها، المرجع الشامل، تأليف/ د. يسرى مصطفى و د. احمد الغامدى، جامعة الملك عبد العزيز، جدة، 1436 هـ.
- ✓ الفيزياء في علم الأحياء والطب (الطبعة الرابعة) تأليف/ بول ديفيدوفيتس، السفير2008.
- ✓ الفيزياء في عالمنا، تأليف/ كيل كيركلاند، شركة حقائق في ملف، مكتبة الكونجرس، 2007.
- ✓ أساسيات الفيزياء، تأليف/ بوش جيرد، ترجمة د.سعيد الجزيريد، د. محمد أمين سليمان، مراجعة/ د. أحمد فؤاد باشا، الطبعة الأولى، الدار الدولية للاستثمار، مصر، 2005م.
- ✓ موقع موقع ويكيبيديا، الموسوعة الحرة.
- ✓ الشبكة العنكبوتية لاستعارة بعض الصور العامة والمتاحة دون قيود.

رسومات ملونة لبعض الاشكال

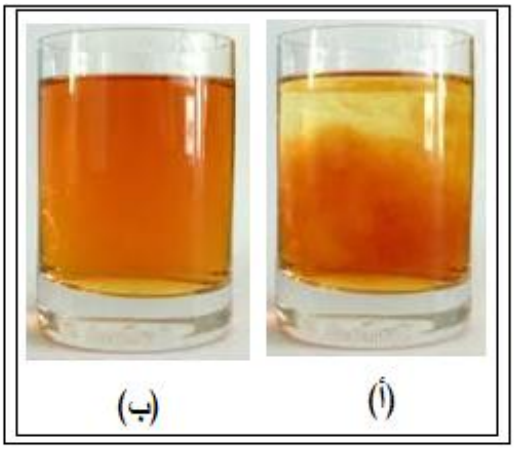


الشكل 1-2: مقارنة بين المقاييس المختلفة.

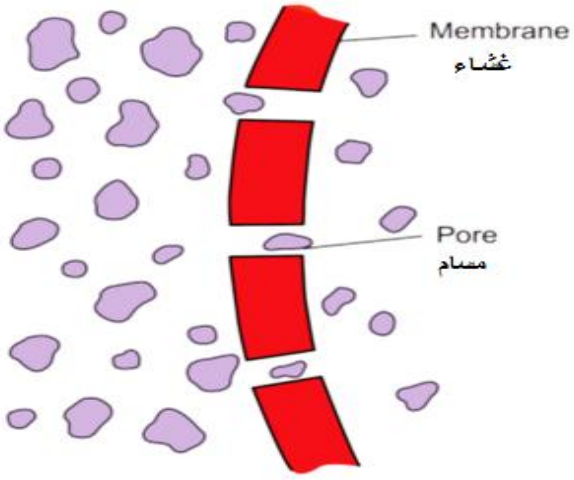
الشكل 1-3: تنتقل الحرارة من منطقة الى أخرى بالتوصيل، أو بالحمل، أو بالاشعاع.



الشكل 1-5: تيارات الحمل الحراري في السوائل والغازات.

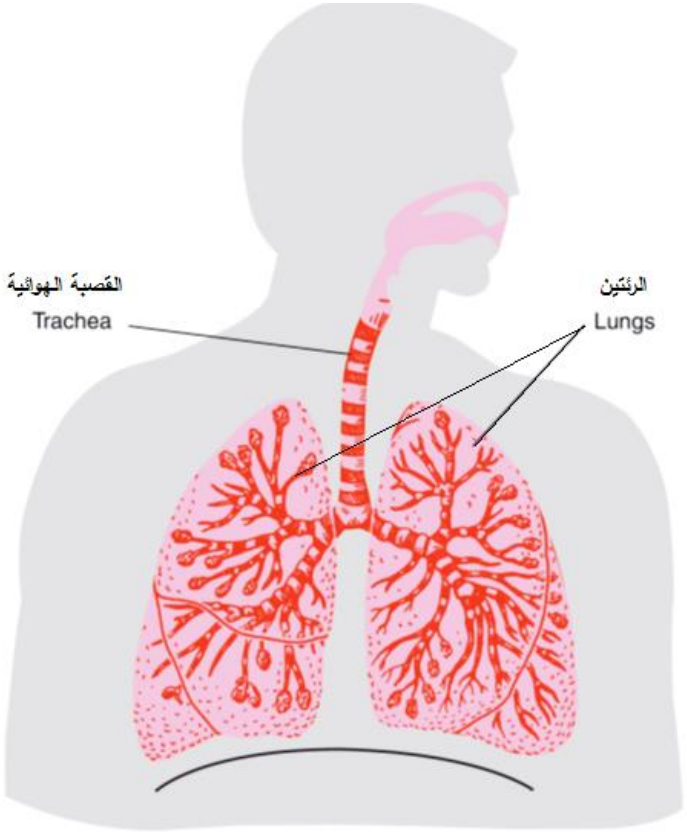


الشكل 1-6: الانتشار في السوائل.

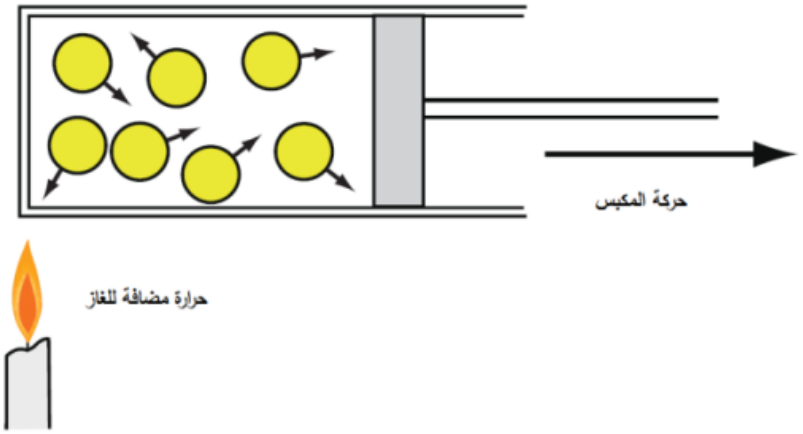


الشكل 1-9: الانتشار خلال الغشاء.

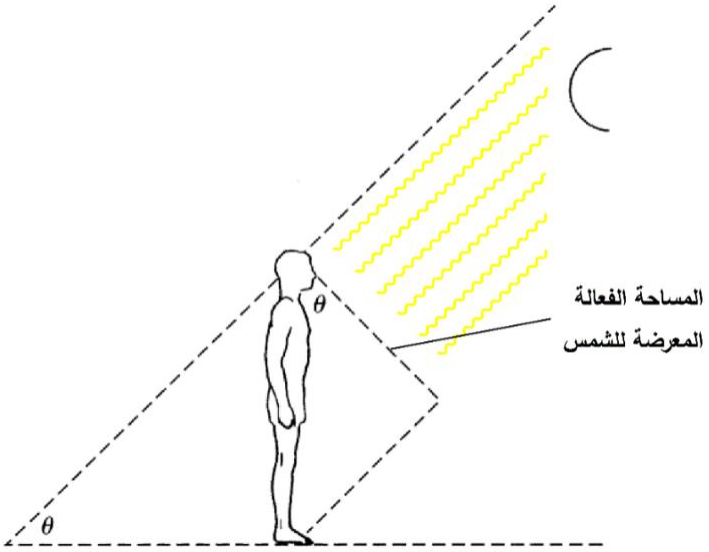
الشكل 1-11: مخطط طاقة الجسم.



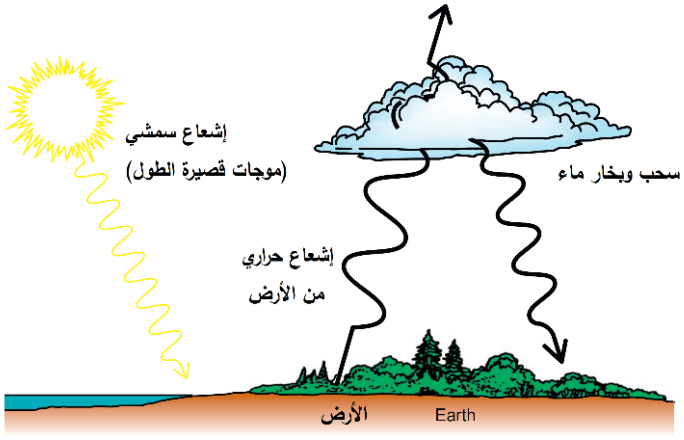
الشكل 1-10: تركيب الجهاز التنفسي.



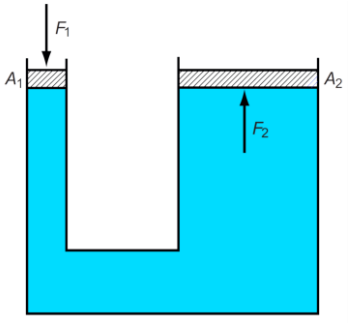
الشكل 1-12: حركة المكبس.



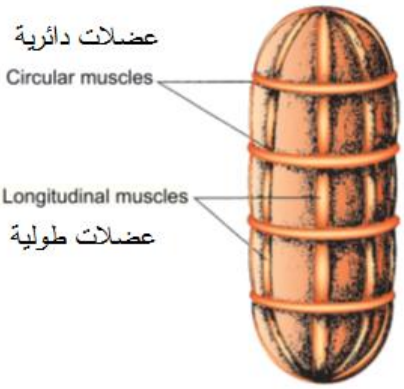
الشكل 1-17: التسخين الإشعاعي من الشمس.



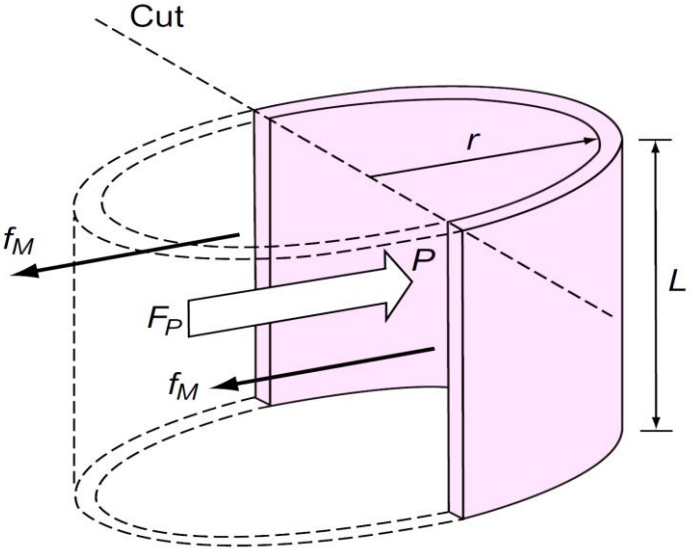
الشكل 1-18: تأثير البيت الزجاجي (الدفيئة أو الاحتباس الحراري).



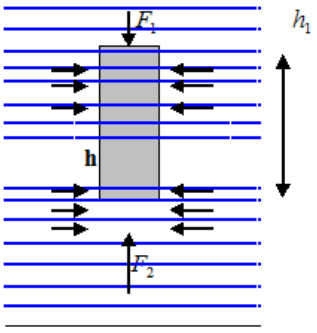
الشكل 2-2 توضيح لمبدأ بسكال.



الشكل 2-3 الهيكل الهيدروليكي الذي تبنى عليه فكرة الحركة في الحيوانات الرخوة.

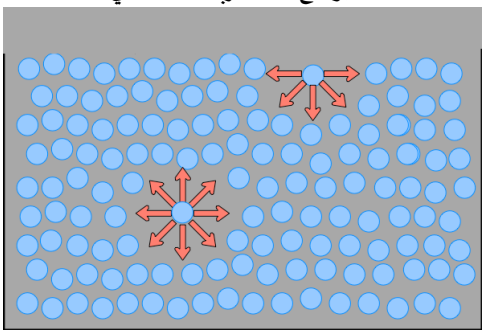


الشكل 2-4: حساب الضغط داخل الدودة.

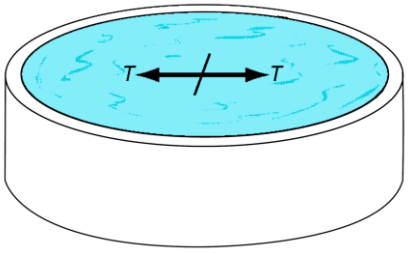


الشكل 2-5: القوة المؤثرة في الجسم المغمور في مائع.

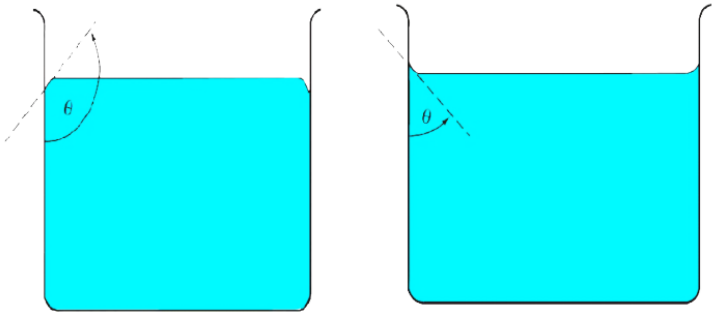
الشكل 2-6 يوضح شكل قربة السباحة في الأسماك.



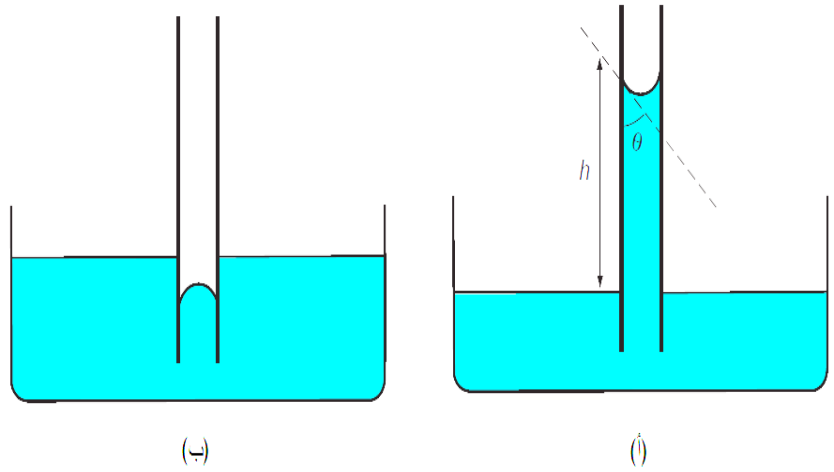
الشكل 2-7 يوضح مقارنة القوى والروابط بين جزيئات السطح والعمق في السائل.



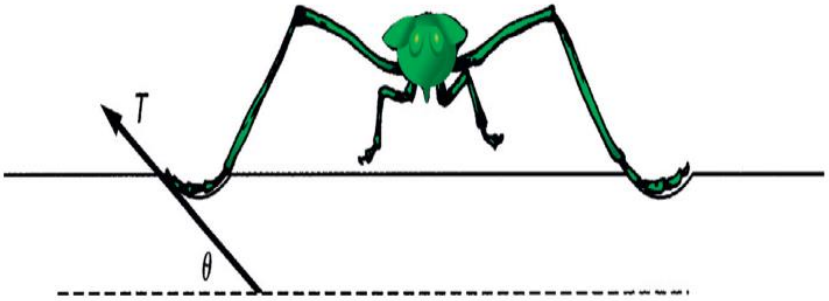
الشكل 2-8 التوتر السطحي.



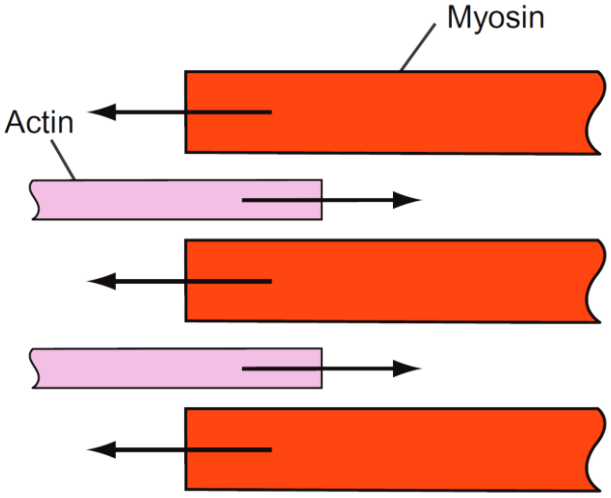
الشكل 2-9 : زاوية التلامس عندما (أ) يبلل السائل الجدار، و (ب) لا يبلل السائل الجدار.



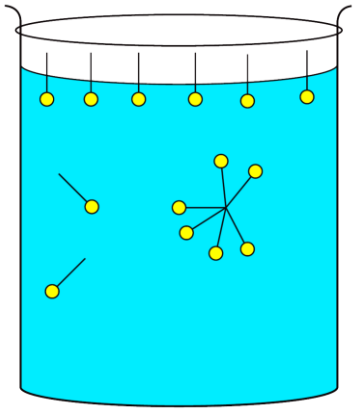
الشكل 2-10: (أ) رفع شعرية، (ب) انخفاض شعرية.



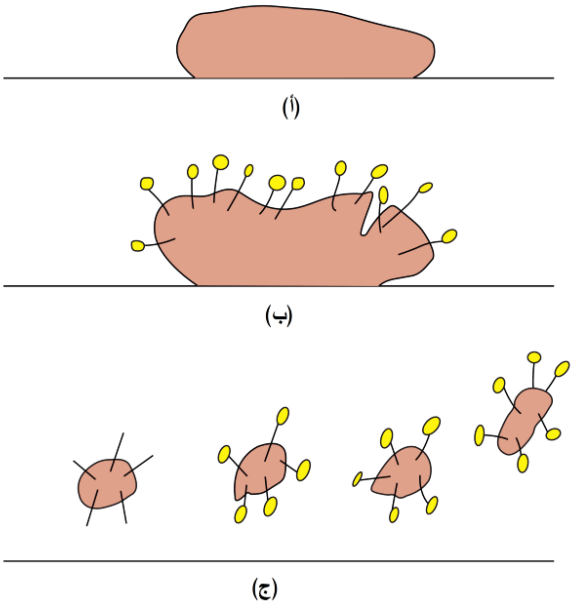
الشكل 2-12: حشرة تقف على الماء.



الشكل 2-13: مخطط يبين مفهوم تقلص العضلات.

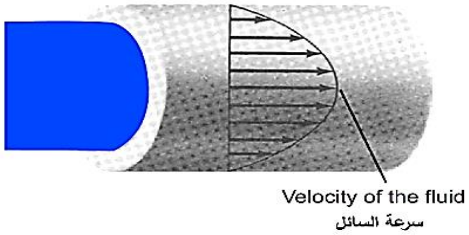


الشكل 2-15: طبقة سطحية لجزيئات منشط سطح.

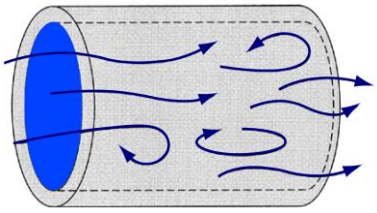


الشكل 2-16: عمل المنظفات. (أ) قطرة زيت على بقعة رطبة. (ب) النهاية الكارهة للماء لجزيء منشط سطح تدخل بقعة الزيت. (ج) تتكسر بقعة الزيت إلى أقسام أصغر تحيط بها النهايات المحبة للماء.

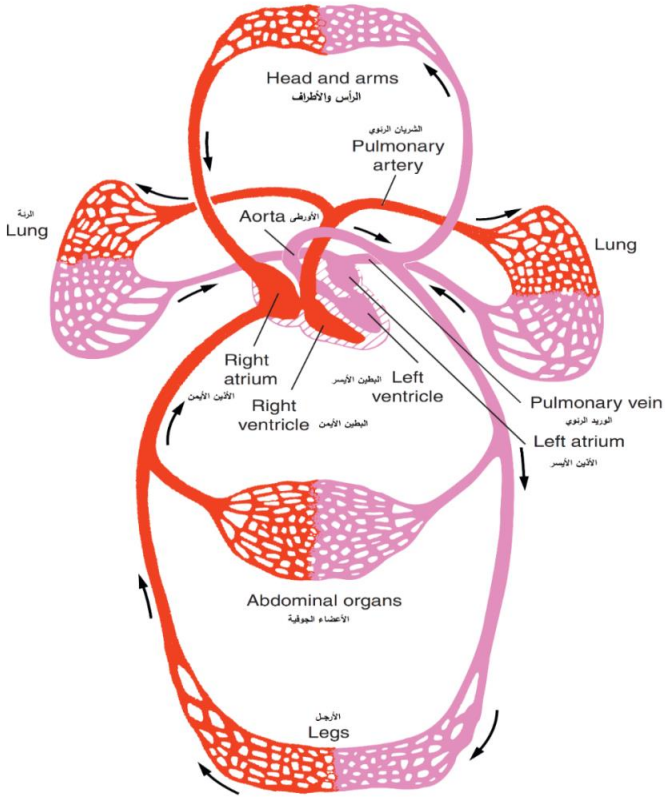
الشكل 2-17: تدفق مائع في أنبوب يتكون من جزئيين بمساحات مقطع مختلفة.



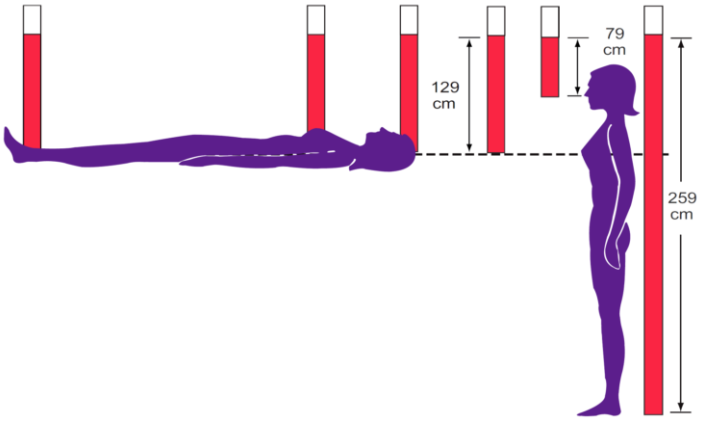
الشكل 2-18: التدفق الصفائحي. تدل أطوال الأسهم على سرعة المائع.



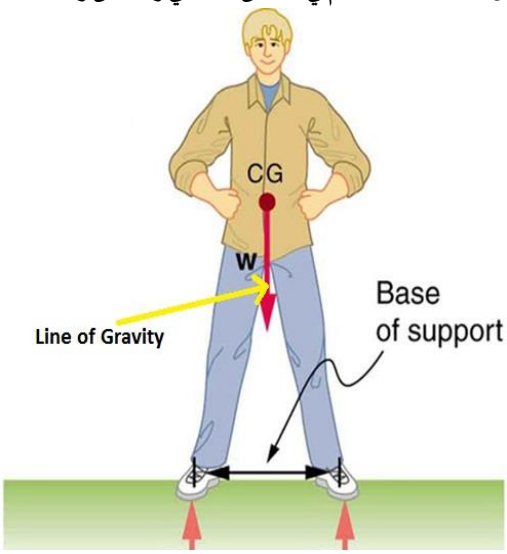
الشكل 2-19: التدفق المضطرب للمائع.



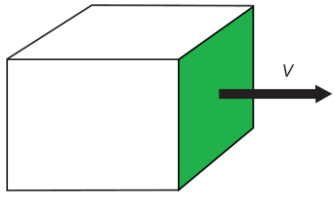
الشكل 2-20: رسم تخطيطي يبين المسارات المختلفة في الدورة الدموية.



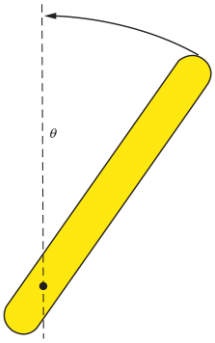
الشكل 2-21: ضغط الدم في شخص مستلقي وشخص واقف منتصب.



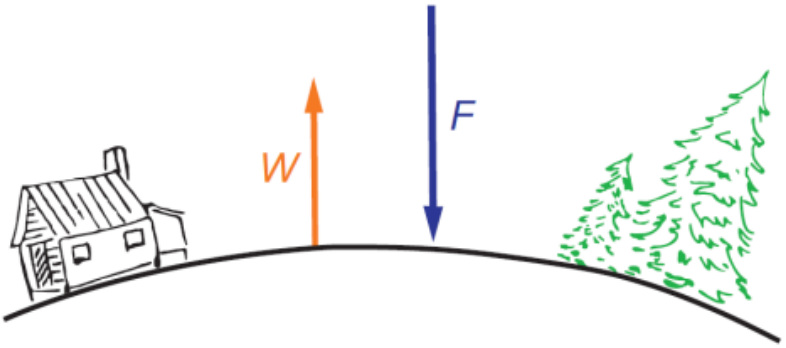
الشكل 3-3: مركز الثقل لجسم الأنسان (CG).



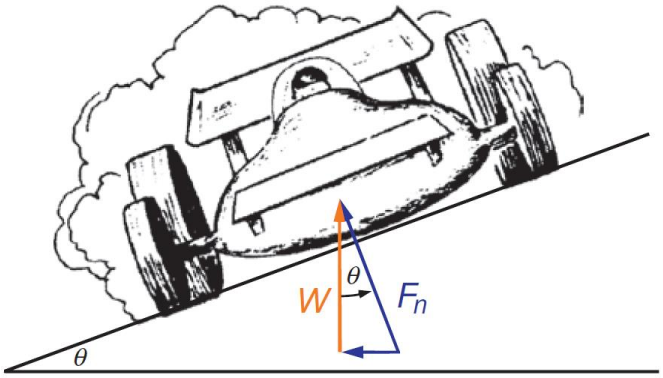
الشكل 4-1 : حركة انتقالية.



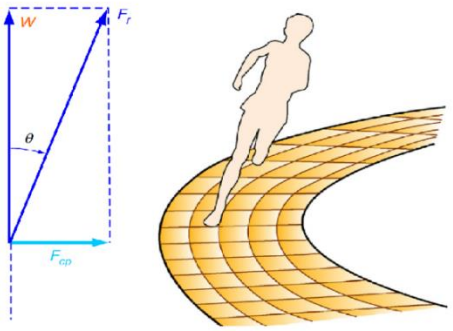
الشكل 4-2 : حركة دورانية.



الشكل 4-5 بيان القوى المؤثرة على الأرض.

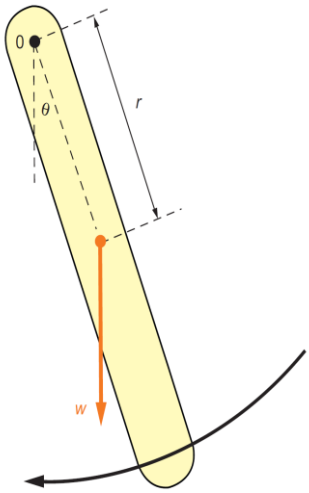


الشكل 4-8: منعطف مائل.

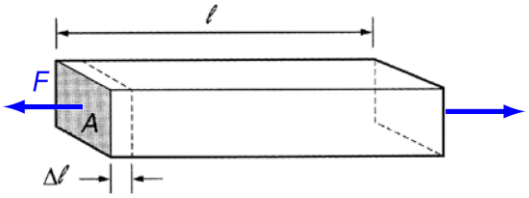


(ب) (أ)

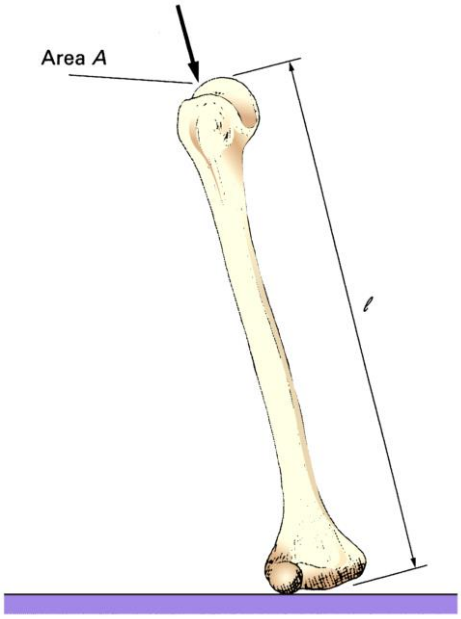
الشكل 4-9: (أ) عداء على مسار منحني. (ب) القوى المؤثرة على قدم العداء.



الشكل 4-12: البندول الفيزيائي.



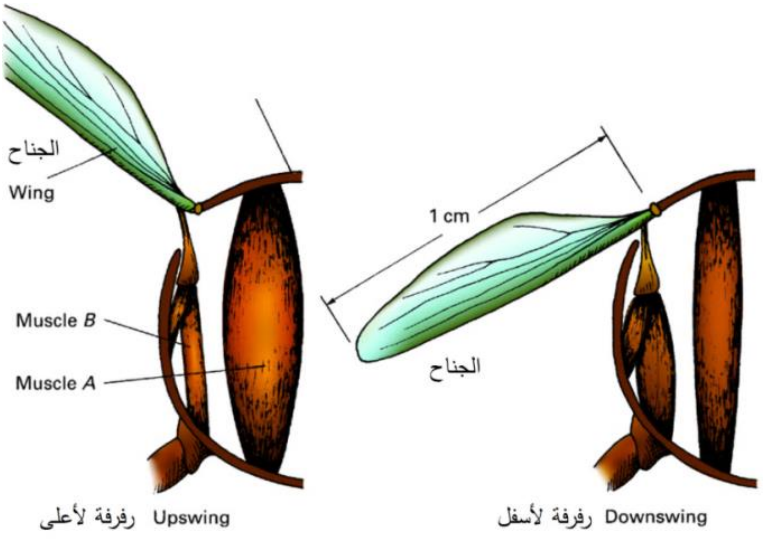
الشكل 5-1 استطالة قضيب نتيجة قوة مطبقة.



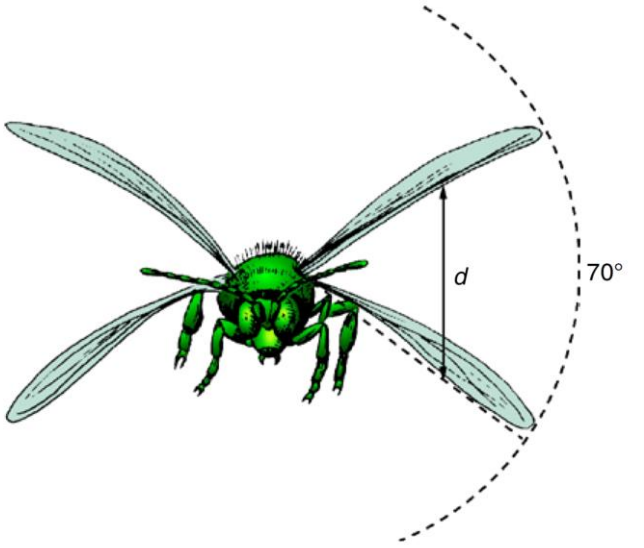
الشكل 5-4: الانضغاط في العظام.

الشكل 5-6: جهازينتفخ بالهواء للحماية من التصادم (وسادة هوائية).

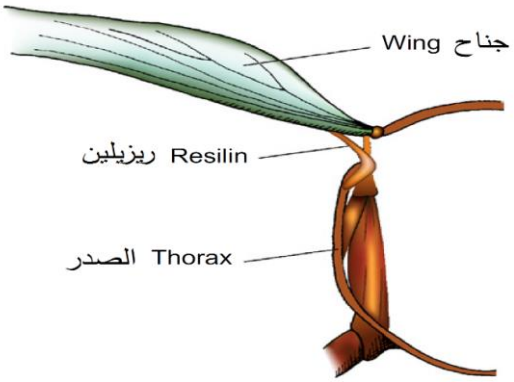
الشكل 5-7: إصابة الرقبة نتيجة الارتداد (الإصابة المصعية).



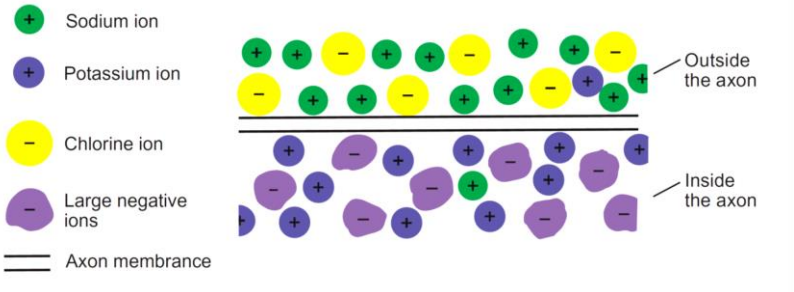
الشكل 5-9: عضلات الجناح.



الشكل 5-10: حركة جناح الحشرة.

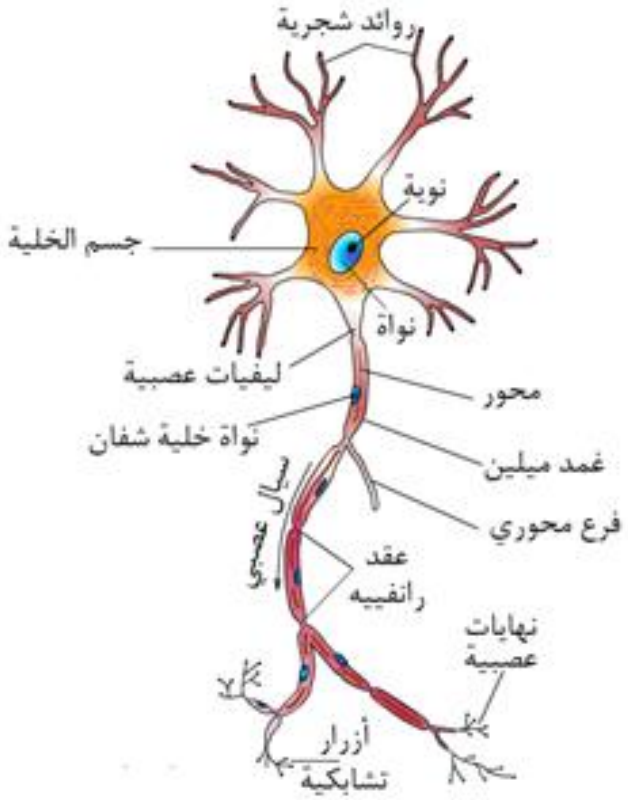


الشكل 5-11: الريزيلين في الجناح.

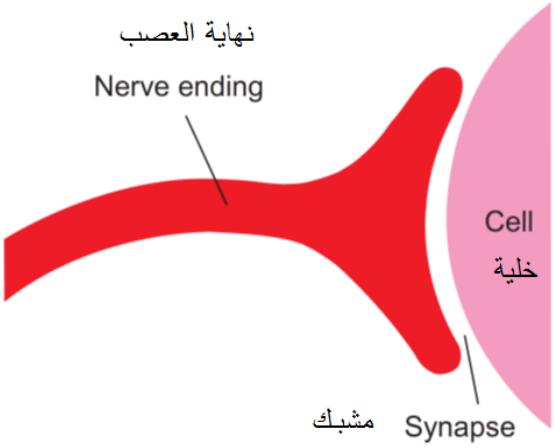


الشكل 6 -3: غشاء المحواروالأوساط المحيطة.

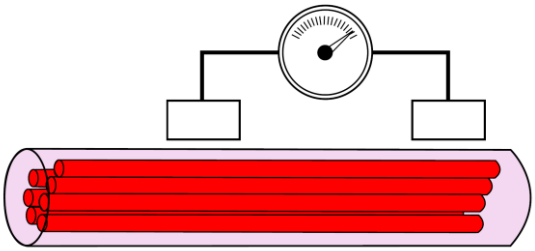
تركيب العصبون



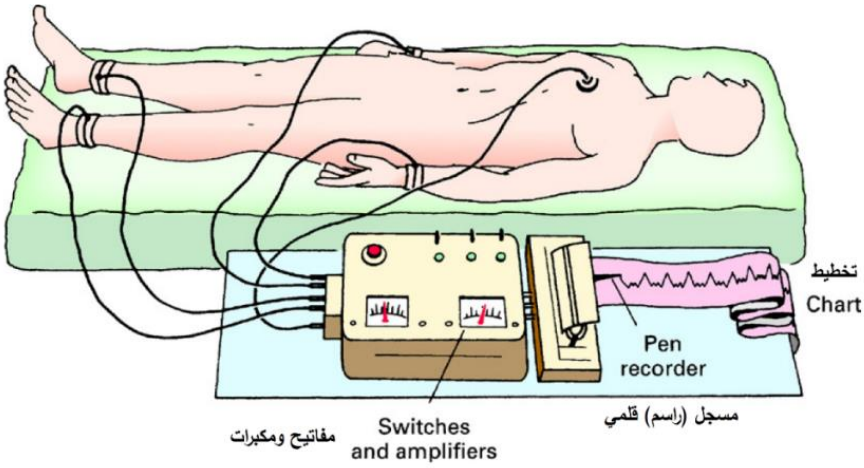
الشكل 6-1: تركيب العصبون.



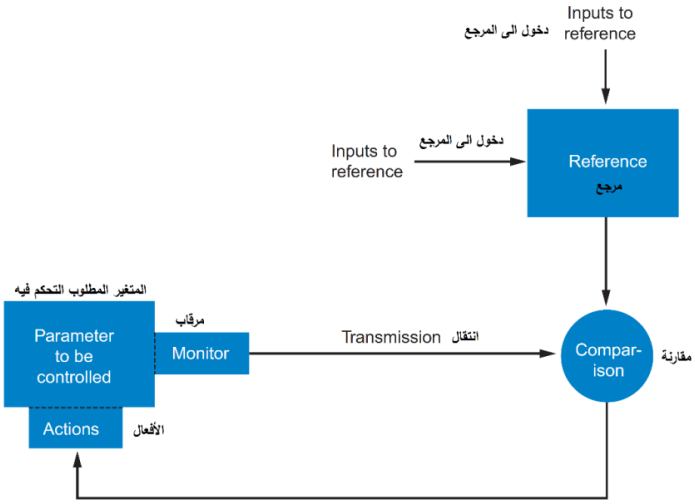
الشكل 6-10 المشبك.



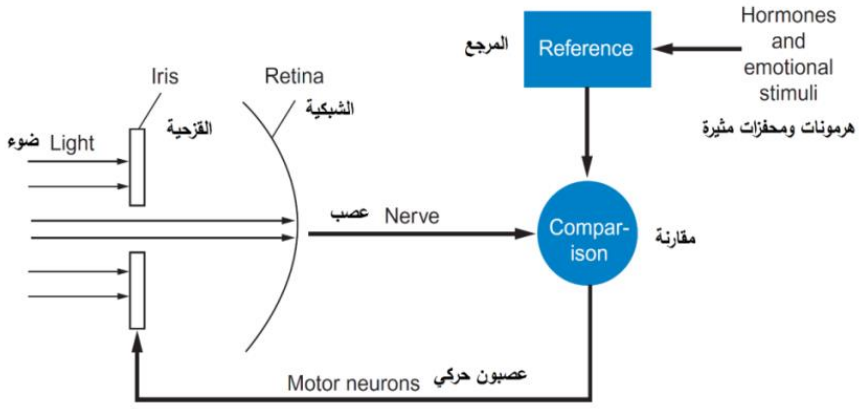
الشكل 6 -12: جهد السطح على طول حزمة عصبية.



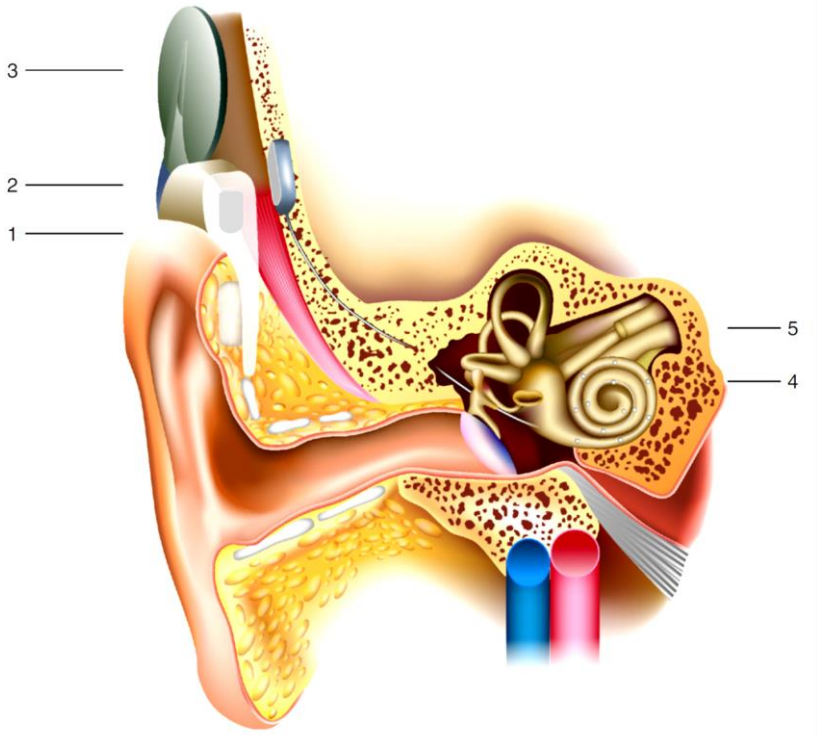
الشكل 6 -16: مخطاط كهربية القلب.



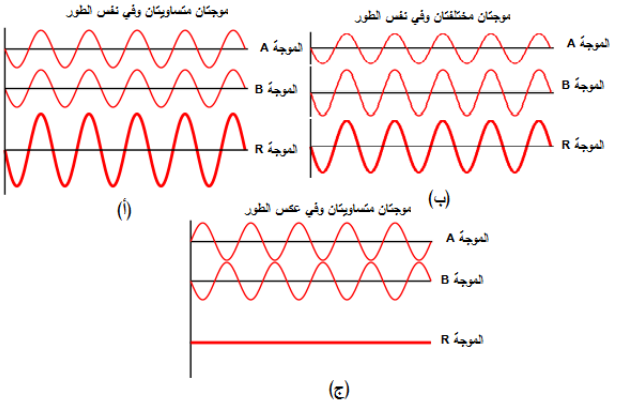
الشكل 6 -20: التحكم في العمليات الحيوية.



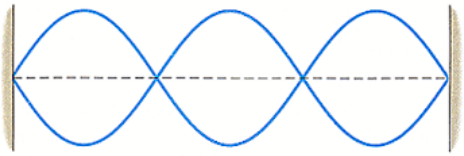
الشكل 6 -21: التحكم في شدة الضوء الواصل إلى الشبكية.



الشكل 6 -24: زراعة القوقعة. 1-يتم التقاط الأصوات بواسطة الميكروفون. 2-حينئذ يتم "ترميز" الإشارة " (تتحول إلى نمط خاص من النبضات الكهربية). 3-ترسل هذه النبضات إلى ملف وبعد ذلك تنتقل عبر الجلد لعملية الزرع. 4-يرسل الزرع نمط من النبضات الكهربية إلى الأقطاب في القوقعة. 5-يلتقط العصب السمعي هذه النبضات الكهربية ويرسلها إلى الدماغ. يدرك الدماغ هذه الإشارات كصوت.

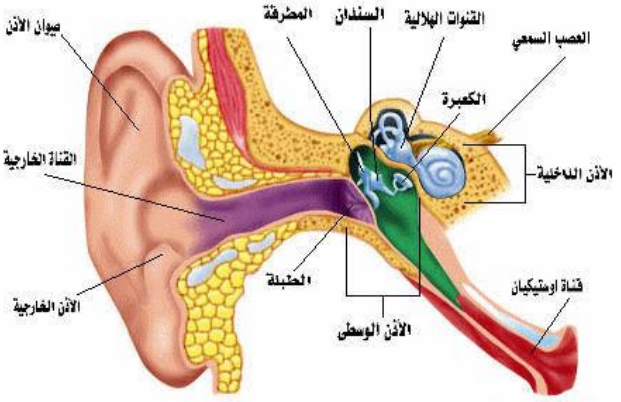


الشكل 7-2: (أ وب) تداخل بناء، (ج) تداخل هدام. R هو محصلة تداخل الموجتان A و B.

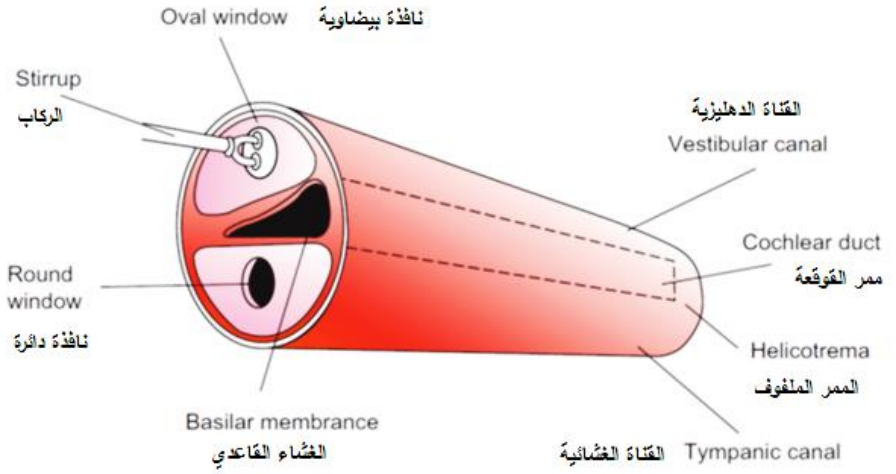


الشكل 7-3: مفهوم الموجات الموقوفة.

الشكل 7-5: نموذج اهتزازي للماء.

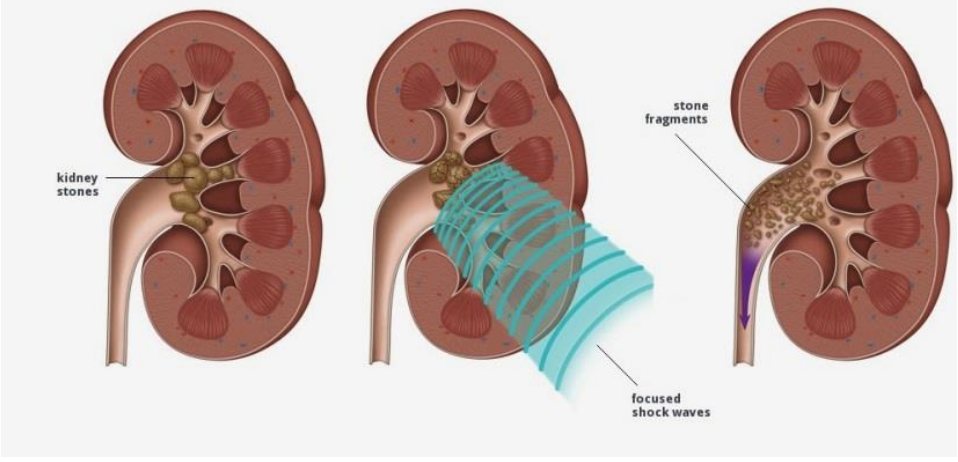


الشكل7-7 رسم نصف تخطيطي للأذن مع مختلف القطاعات والتبسيطات لإظهار العلاقات الأساسية بشكل أكثروضوحا. تم حذف عضلات الأذن الوسطى.

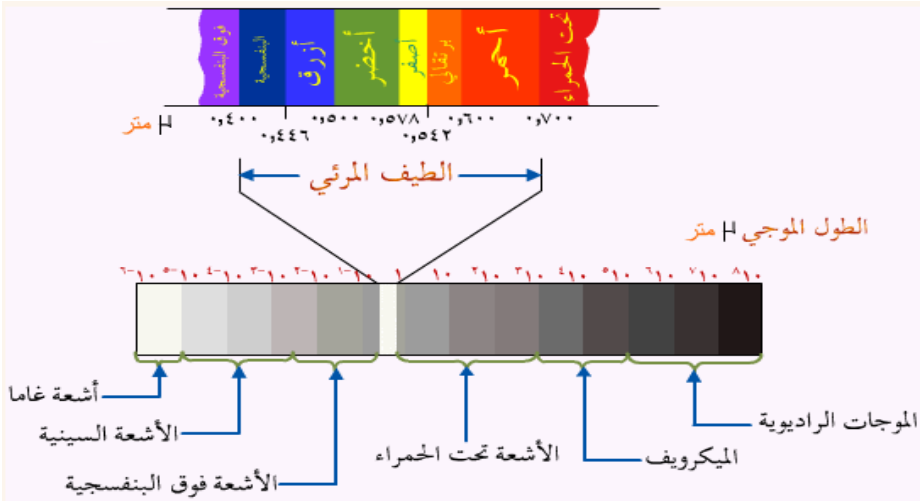


الشكل 7-8: منظر لقوقعة غير ملفوفة.

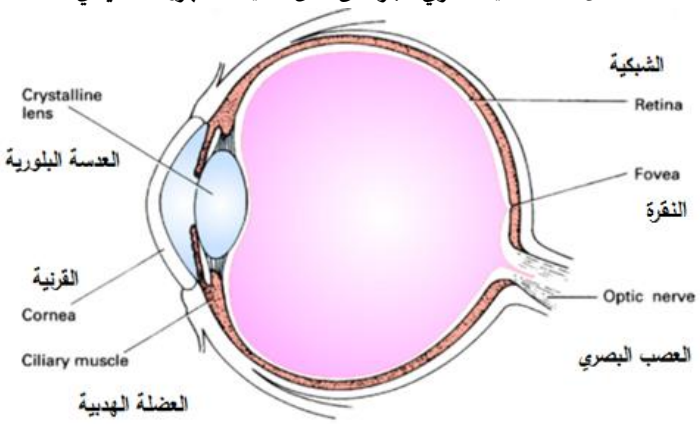
الشكل 7-12: صورة لجنين بالموجات فوق الصوتية.



الشكل 7-14: مفهوم استخدام الموجات الصوتية في تفتيت حصوات الكلى.



الشكل 8-1: الطيف المرئي كجزء من مدى الطيف الكهرومغناطيسي.



الشكل 8-2: تركيب العين البشرية.

الشكل 8-3: عيون قرد التارسير.

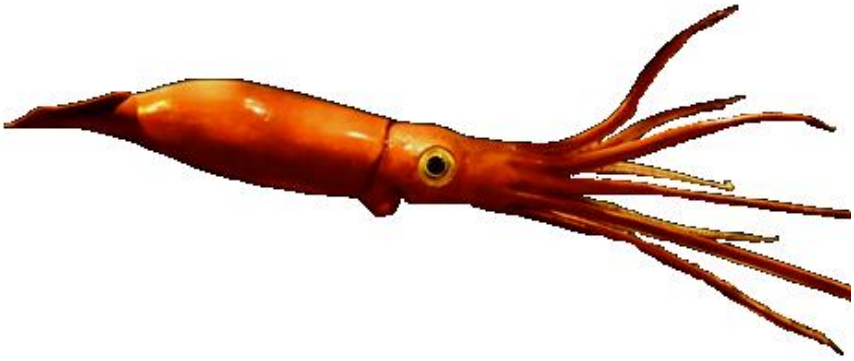
الشكل 8-4: عيون الحرباء.

الشكل 8-5: عيون الذبابة مسوقة العيون.

الشكل 8-6: عيون اليعسوب.

الشكل 8-7: عيون عنكبوت وجه الغول.

الشكل 8-8: عيون الوزغ ورقي الذيل.

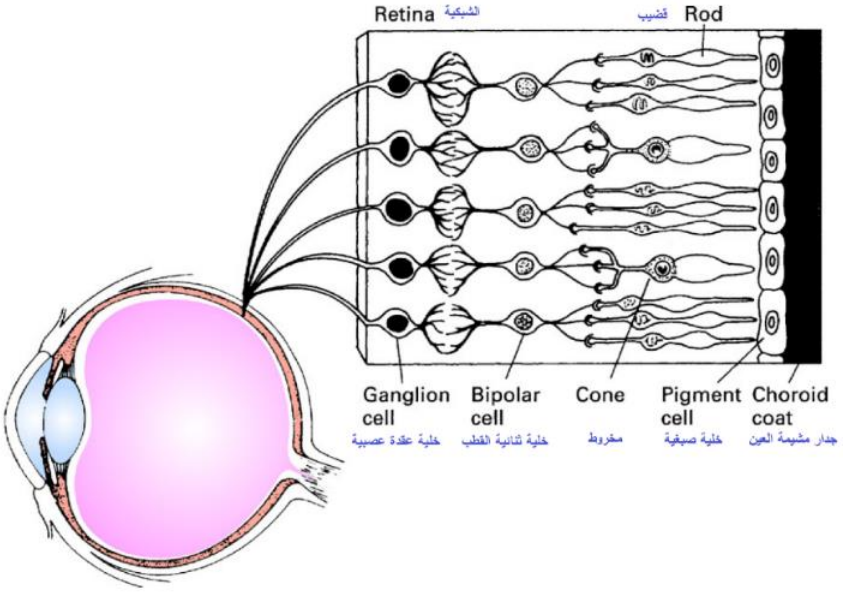


الشكل 8-9: عيون الحبار العملاق

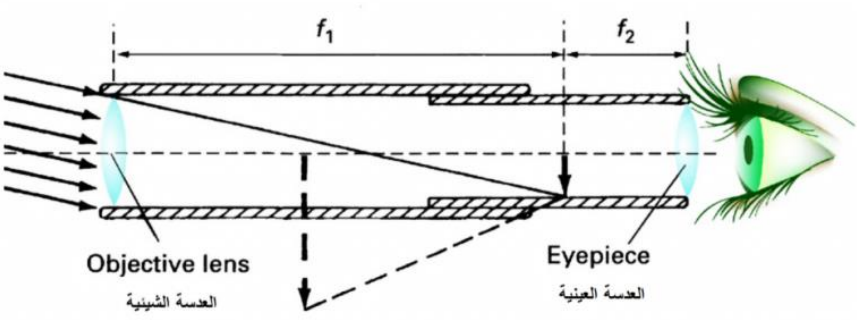
الشكل 8-10: عيون السمكة ذات الأربع عيون.

الشكل 8-11: سمكة السبوك.

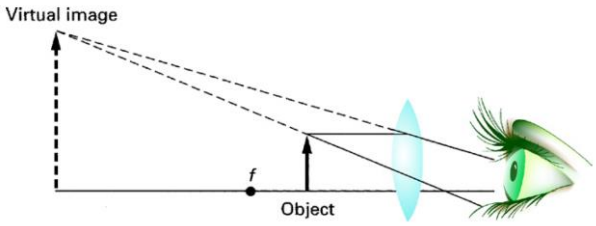
الشكل 8-12. عيون السرعوف الروبيان.



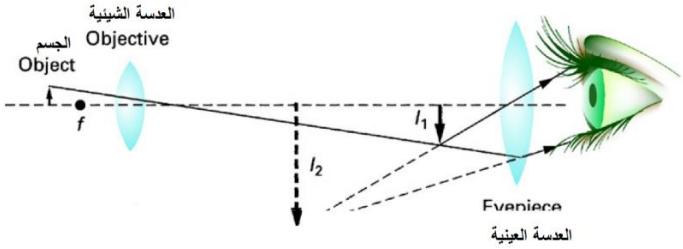
الشكل 8-18: تركيب الشبكية.



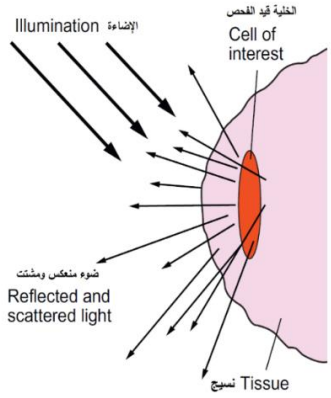
الشكل 8-25: مخطط يبين تركيب المنظار.



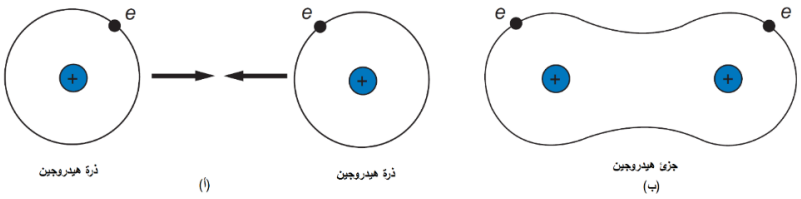
الشكل 8-26: تركيب المجهر البسيط.



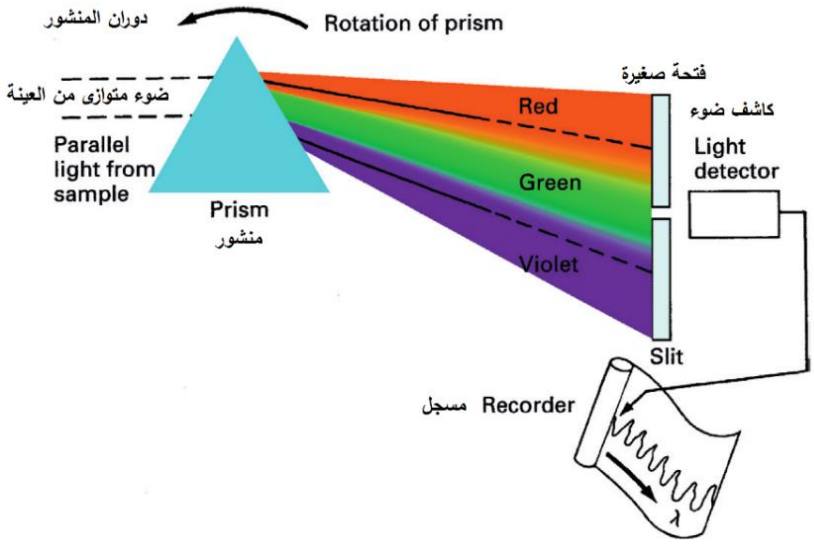
الشكل 8-27: مخطط توضيحي للمجهر المركب.



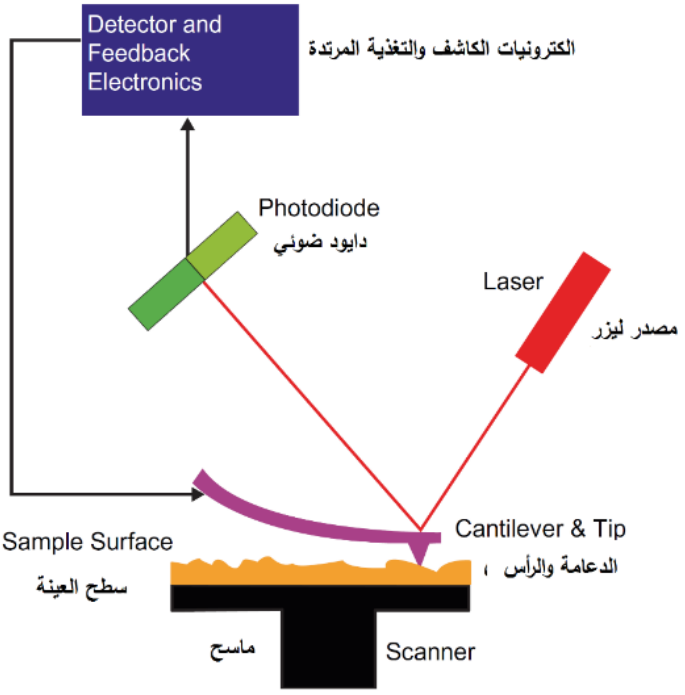
الشكل 8-28: الضوء المشتت والمنعكس من النسيج.



الشكل 9-4: تمثيل تخطيطي لتشكيل جزيء الهيدروجين. (أ) ذرتان هيدروجين منفصلتان. (ب) عندما تقترب الذرتين من بعضها البعض، تشارك إلكترونات مداركل ذرة الذرة الأخرى، مما يؤدي إلى الربط بين الذرتين في جزيء.

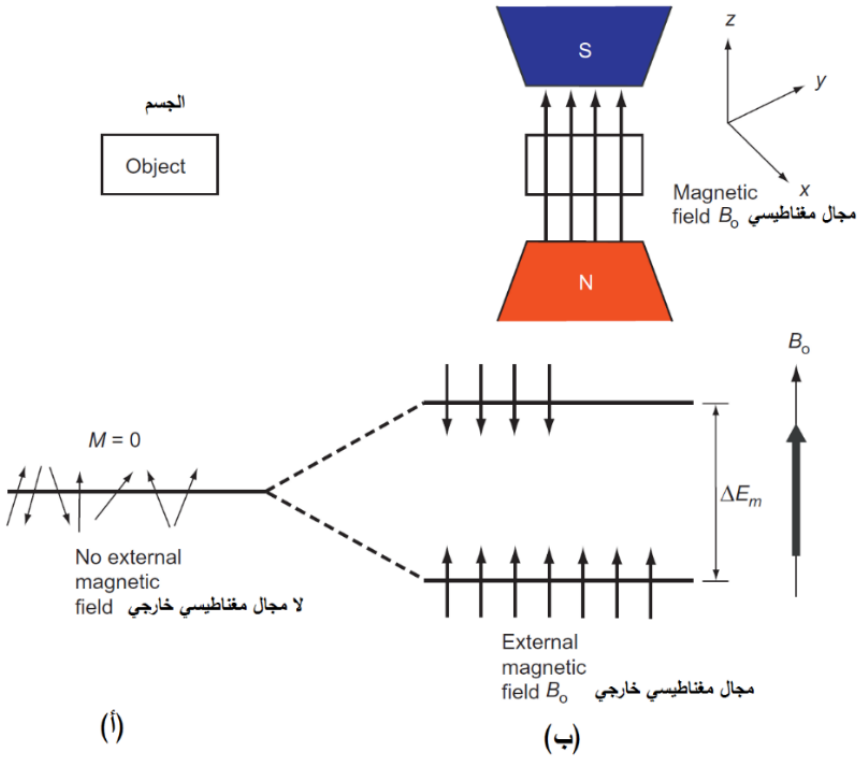


الشكل 9-5: تركيب مقياس الطيف.

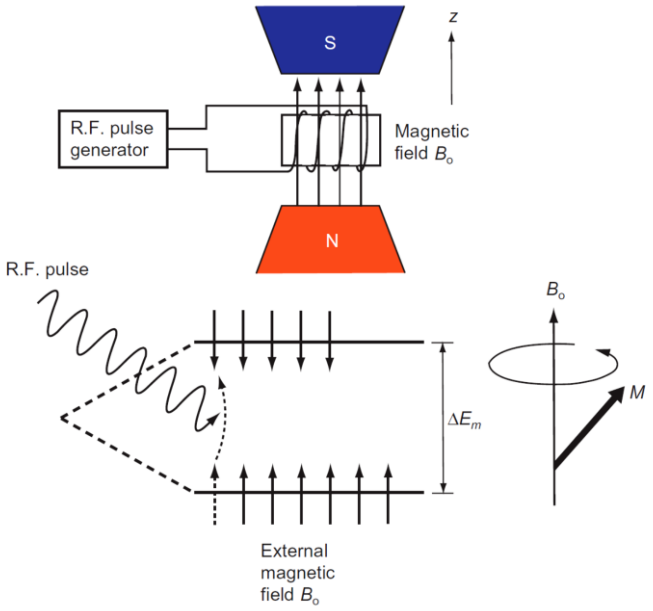


الشكل 9-13 رسم تخطيطي لمجهر القوة الذرية (**AFM**).

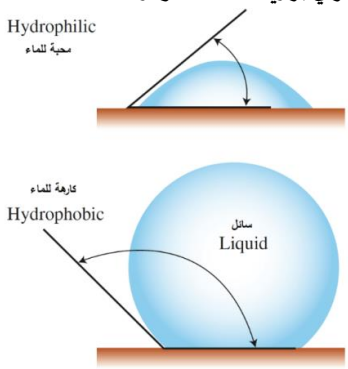
الشكل 9-14: صورة مجهر القوة الذرية لبكتيريا (العصوية الشمعية).



الشكل9-15 (أ) في حالة عدم وجود مجال مغناطيسي خارجي، وتكون الغزول النووية عشوائية. (ب) عند تطبيق مجال مغناطيسي خارجي، تظهر المادة عزوم مغناطيسية نووية، تصطف العزوم المغناطيسية النووية الصغيرة إما موازية أو عكس اتجاه المجال المغناطيسي. يكون التكوين الموازي في طاقة أقل.



الشكل 9-16: نبضة قيادة بتردد راديوي قصير عند تردد لارمور تزيح العزم مغناطيسي من المجال المغناطيسي الخارجي بزاوية تحددها قوة ومدة نبضة القيادة.



الشكل 9-21: زاوية التلامس لسطح محب للماء وسطح كاه للماء.

الشكل 9-22: صورة لورقة نبات اللوتس تظهر الكره المفرط للماء وكيفية تجمع الماء على سطح الورقة.