دولة إسرائيل
وزارة التربية والتعليم
السكرتارية التربويّة
قسم أ للعلوم

المركز الإسرائيليّ للتربية العلميّة
على اسم عاموس دي شاليط

كليّة التربية للعلوم والتكنولوجيّا
التخنيون – معهد التكنولوجيّا الإسرائيليّ

الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة

الأسس، الاستعمالات والقرارات

هاجر فاكسلر وشولاميت كابون

موافقه رقم: _____
تاريخ المُصادقة: _____

لذكرى د. ميرف كاتس – قمحي، المُنَقِّحة اللغوية للكتاب في اللغة العبريّة وصديقه عزيزة

التطوير والكتابة:
د. هاجر فاكسلر وبروفيسور شولاميت كابون

ترجمة الكتاب للغة العربية:
د. طه مصالحة

التنقيح اللغوي:
الأستاذ محمد سخنيني

التنقيح العلّميّ:
د. اسماعيل مصالحه

التنسيق الرقميّ:
المهندس محمد مصالحه

مديرة المشروع:
بروفيسور شولاميت كابون

© جميع الحقوق محفوظة لوزارة التربية، باستثناء الصور التي أشير لها غير ذلك (انظر ملحق ج)

ممنوع تكرار أو نسخ أو تصوير أو تسجيل أو ترجمة أو تخزين أيّ جزء من موادّ هذا الكتاب في قواعد البيانات أو بثّه أو حفظه بأيّ طريقة أو بأيّ وسيلة إلكترونيّة أو بصريّة أو ميكانيكيّة أو غيرها. يُمنع منعًا باتًا الاستخدام التجاري، من أيّ نوع كان، في الموادّ الواردة في هذا الكتاب إلا بإذن كتابي صريح من مؤلفتي الكتاب.

طبّع في إسرائيل

2019

المحتويات

المقدّمة 4

الفصل 1: **لماذا الأشعّة؟** 7

الفصل 2: **ما هي الموجة؟** 17

الفصل 3: **الأمواج الصوتيّة** 23

الفصل 4: **خصائص الأمواج الدوريّة** 29

الفصل 5: **الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة** 42

الفصل 6: **طيف الأمواج الإلكترومغناطيسيّة** 66

الفصل 7: **انعكاس الأمواج، واختراقها وامتصاصها** 88

الفصل 8: **الضوء المرئيّ** 96

الفصل 9: **تأثير الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة على جسم الانسان** 115

الفصل 10: **الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة في خدمة الطبّ** 134

الفصل 11: **الخاتمة – الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة وتقارير وسائل الإعلام** 145

المحلق الأوّل (أ): **وحدات القياس** 148

المحلق الثاني (ب): **قاموس المصطلحات** 150

المحلق الثالث (ج): **قائمة مصادر الصور في الكتاب** 155

المقدّمة

أدّى التطوّر التكنولوجيّ في العقود الأخيرة إلى تزايد استعمال التكنولوجيّا والأجهزة التي تَنْطَلق منها الأشعّة مثل الهواتف المحمولة، والهوائيّات (الأنتينات)، والشبكات اللاسلكيّة (واي-فاي، WiFi)، والأجهزة اللاسلكيّة (الراوتر)، وأفران الميكروويف، والأجهزة الطبّية وأجهزة التجميل الطبّية. أضف الى ذلك تعرضنا المستمرّ للأشعّة الإلكترومغناطيسيّة المُنْطَلِقة من مصادر الأشعّة الطبيعيّة كالشمس. إنّ طلّاب اليوم هم مواطنو الغد، أيضًا أولئك الذين سوف لا يتخصّصوا في دراسة الموادّ العلميّة، فإنّنا نرى انّه من الضروريّ أنّ يتعرّف جميع الطلّاب على موضوع الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة حتّى يعرفوا كيفيّة الاستخدام الصحيّح للأجهزة التي تنطلق منها الأشعّة بحكمة وتعقل. وأيضًا حتّى يتمكنوا من الإجابة عن تساؤلات يتوجّب على الإنسان طرحها وتقييم المعلومات حول هذه القضايا، وبنفس الوقت اكتساب أدوات إضافيّة تساعدهم في اتّخاذ القرارات على المستوى الشخصيّ والسياسيّ أيضًا.

يتناول "مبحث العلوم والتكنولوجيّا للجميع"[1] في فصول الأشعّة والأمواج الحديث عن مجال البحث العلّميّ واستخداماته في التطبّيقات التكنولوجيّة؛ لكننا نجد، ومع تقادم الزمن، حدوث تغييرات جمّة في المبحث. إذ لم تَعُد العديد من بنوده المستعملة في تشكيل المناهج على صلة بالواقع الجديد، وباتت هناك حاجة ماسة إلى تطوير المعرفة وتَحْدِيث المبحث. كما وقد تغيرت أساليب التدريس؛ وتطوّرت، خلال العقود الأخيرة، طرائق متنوّعة ساهمت في تَحْديث أساليب التدريس، إلا أنّ بعضها وإلى الآن لم يزل غير مأخوذ به في بناء المبحث كالتَّعلّم في المختبر، وحلّ المُعضِلات، وتطوير مهارة اتّخاذ القرارات السلوكيّة، أو استعمال شبكة الإنترنيت. يعتمد مبحثنا على دمج المعرفة العلميّة بالتطوّر التكنولوجيّ وعلوم التربية المُعْتَمدة وِفقًا لأبحاث التربية العلميّة المتداولة حديثا. تمّ جمع المعارف المهنيّة في مبحث "العلّم للجميع"[2] والذي يهدف إلى تطوير التعليم الفعّال.

عند تدريس موضوع الأشعّة ينشأ العديد من التحديات التربويّة، وذلك نظراً لتَشَعُّب المحتوى العلّميّ والحاجة إلى تعليم الطلّاب كيفيّة استخدام هذه المعرفة خارج الصّف وكيفيّة اتّخاذ قرارات سلوكيّة بناءً عليها، وهذا رغم ظروف عدم اليقين أو وجود تناقضات بين آراء المهنيين وآراء أصحاب المَصْلحة في بعض المواضيع. اجتهدنا في هذا الكتاب بتقديم محتويات يواجِهُها المواطنون في حياتهم من خلال وُجهات نظر متنوّعة كمواضيع العلوم والطبّ والتكنولوجيّا والاقتصاد والاتّصالات والمواطنة النَّشِطة. بعض الفعاليّات تساعد في تحسين عمليّة

[1] . الموضوع الجديد "العِلم والتكنولوجيا للجميع" تَطَوَّر من موضوع "العِلم والتكنولوجيا في الحياة".
[2] . موضوع "العِلم والتكنولوجيا في الحياة" الذي أصبح يُعْرَف باسمه الجديد – "العِلم والتكنولوجيا للجميع".

التقييم والكيفيّة التي تتمّ بها معالجة المعلومات عند الطالب ممّا يجعله قادرًا على اتّخاذ قرارات سديدة. هذا الكتاب يهدف إلى ترسيخ أسس للنقاش العلّميّ البناء في موضوع الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة. ففيه يتمّ مناقشة المصطلحات العلميّة مثل الموجة والمجال الكهربائيّ والمجال المغناطيسيّ واستخداماتها ومن خلال التَّعلّم الفعَّال استطعنا دمج بعضا من النواحي الاجتماعيّة والإبداعية. يضمّ كلّ فصل سلسلة فعآليّات عن تجارب يقوم بها المعلّم بمشاركة الطلّاب وفيها يتمّ استخدام برمجيات إنترنت متنوّعة أو تمثيل أدوار أو ما شابه ذلك.

تمّ الشروع في المبحث ليكون تحديثا لما سبق من المبحثين اللذين تناولا عرض جوانب مختلفة من الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة ومحاولة دمجهما. لكن ومع البدء في التحضير أدركنّا أنّ التطوّر التكنولوجيّ وجديد برامج التعليم والطرح الجديد في أساليب التدريس في العقود الأخيرة تَتطلّب منا كتابة مبحث جديد تمامًا عدا استثناءات نذكرها تباعًا. ههنا نودّ أنّ نشكر مُؤلفي المبحثيْن اللذين استعملنا موادّهما بموافقة وزارة التعليم:

- يحتوي الفصل 8 أفكارًا ورسومات بيانيّة من مبحث الضوء واللون والرؤية من تأليف: ريفكا جاي وميرا هالبر ويورام أوراد، نَشَره مركز تعليم العلوم في الجامعة العبريّة في القدس 1998.
- يحتوي الفصل 9 و- 10 أفكارًا ورسومات بيانيّة من مبحث الأشعّة المؤيّنة - آثاره البيولوجية واستعمالاتها لـ ميخال نحشون. نَشَرَته وزارة التعليم والثقافة - دائرة المناهج الدراسيّة 2000، وتمّ بإشراف البروفسور روفين لازاروفيتز - التخنيون.
- في بعض الفعاليّات التفاعليّة استعملنا المحاكاة من موقع جامعة كولورادو - بولدر

PhET Interactive Simulations :: https://phet.colorado.edu

في حالة عدم فتح المحاكاة قم بتثبيت برنامج JavaWeb من الرابط:

http://www.java.com/inc/BrowserRedirect.jsp?locale=en&host=www.java.com

ستجد أيضًا روابط محوسبة ومراجع علّميّة مناسبة ومحوسبة. المراجع الأكثر شيوعًا هي غالبًا لمقاطع فيديو ولمقالات من معهد ديفيدسون للتربية العلميّة، ومن مركز التكنولوجيّا التربويّة، ومن جمعيّة السرطان الإسرائيليّة ومن وزارة حماية البيئة. كما وستجد أيضًا توجيهات إلى مقالات تلفزيونيّة على مواقع محوسبة لأصحاب حقوق البثّ في إسرائيل، وستجد مقالات إخبارية وغير ذلك، مصدر كلّ منها يظهر بجوار الرابط. إنّ مصادر معظم الصور هي صور ورسومات توضيحيّة مفتوحة المصدر على شبكة الإنترنت، والملحق (جَ) يُبَيِّن مصدر كلّ صورة، والاستعمال الذي سَمَح به أصحابها.

نُوَدُّ هنا أنّ نُقَدِّم شُكرنا لأولئك الذين قرأوا مسودات الكتاب وقدَّموا النصيحة:

د. أمنون فيشر على المحادثات العميقة والمثيرة عن موضوعَي المجالات والأشعّة التي تعلّمنا منها الكثير.

د. ساريت رافيد حول ملاحظاتها القَيِّمة عن الفصل 10؛

د. ميخال نحشون، المفتِّشة المُركِّزة لموضوع العِلّم والتكنولوجيّا للجميع؛ وللسيِّدتين رونيت بيرتس وعينات أسولين، اللتيّن أثرن انتباهنا إلى القضايا التي تتطلّب تبسيط وتوضيح وإضافة أو إزالة المعلومات؛

وإلى السيّد أمير برنشتأيّن، ناشط في مجال حماية المواطنين من الأشعّة، الذي استضاف السيدّة هاجر في بيته وناقش معها وجهة نظره بخصوص موضوع قياس الأشعّة، وموضوع الحماية من الأشعّة التي يتوجّب استعمالها لحماية السكان؛

وإلى السيّد أفيف شارون الذي تَكَرَّم ووضّح لنا كيفيّة الاستخدام القانونيّ والأخلاقيّ للمراجع المحوسبة المتوفّرة على شبكة الإنترنت؛ الأمر الذي ساعد كثيرًا!

وإلى أعضاء المجموعة التي تبحث موضوع الاتّصالات العلميّة برئاسة البروفسور إيلات بارعام - تسباري في التخنيون، الذين كرّسوا أحد اجتماعات المجموعة لمناقشة الكتاب؛ الأمر الذي ساعد في توضيح المشكلات التي ناقشناها.

نتمنّى لكم التعليم والتعلّم المُثْمِر والمثير للاهتمام!

هاجر فاكسلر وشولميت كبون

أيلول 2018.

الفصل 1: لماذا الأشعّة؟

لا بدّ أنّك صادفت مفهوم الأشعّة أكثر من مرّة. نحن نلمس وجود الأشعّة في كلّ مكان باستخداماتها التي لا حصر لها. مثلًا، الشمس والنجوم تطلق أشعتها بجميع الاتّجاهات. كذلك، إنّ مبدأ تشغيل العديد من الأجهزة، مثل: الهواتف المحمولة، أجهزة التوجيه اللاسلكيّة، المذياع، مصابيح الإضاءة، أجهزة الميكروويف وغيرها يعتمد على الأشعّة بأنواعها المختلفة، فالأشعّة موجودة في كلّ مكان حولنا. الأشعّة الشمسيّة، على سبيل المثال، ضروريّة للحفاظ على الحياة وأحيانًا أخرى للحفاظ على نمط الحياة الذي اعتدنا عليه، المرتبط باستخدام التقنيّات المتقدّمة. مع هذا، قد يكون تَعَرُّضُنا المُفرط للأشعّة خطرًا على حياتنا ولعلّه يكون قاتلًا أحيانًا.

الحياة الاجتماعيّة التي نعيشها في هذا العصر، تتطلّب الاطلاع على القليل من علّم الأشعّة، وذلك للإجابة عن التساؤلات العديدة المرتبطة بالحياة اليوميّة، مثلًا: هل من الصواب إنتاج الكهرباء في محطّة طاقة نوويّة؟ هل نوافق على تركيب شبكة اتّصالات لاسلكيّة في المدارس أم يتوجّب تَجَنُّبها؟ هل من المناسب الموافقة على بناء هوائيّات الهواتف الخلويّة في منطقة سكنيّة؟ وعلى المستوى الشخصيّ أيضًا، سواء كان بوعي أو بغير وعي، كلّ واحد منا يتّخذ قراراته بشأن التساؤلات المتعلّقة بالأجهزة المعتمدة في تشغيلها على الأشعّة، مثلًا: أيّ الأجهزة الكهربائيّة نشتريها؟ أين نضع الأجهزة في البيت؟ ماهي نوعيّة الفحوصات الطبّية التي نقوم بها؟ هل يجب أنّ نسمح للأطفال الصغار باستخدام الهاتف المحمول؟ لا يوجد لهذه التساؤلات إجابات قاطعة. مع ذلك، من أجل اتّخاذ القرارات الأفضل، يتوجّب علينا أنّ نكون على درجة عالية من الوعي الصحيّ والاقتصاديّ والبيئيّ، وأن يكون لدينا معرفة علّميّة أساسيّة بالموضوع.

ممن نتعلّم؟

يَكْثُر النقاش واتّخاذ القرارات المتعلّقة بموضوع الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة بين صُنّاع القرار وأصحاب المصالح والمستثمرين، الذين لديهم وجهات نظر ومصالح مختلفة. نحن، بوصفنا مواطنين، لَسْنا بالضرورة خبراء في موضوع الأشعّة، ونحن نتعلّم، بشكل غير مباشر، عن هذه المناقشات والقرارات من قراءة الصُحُف ومشاهدة التلفاز وتصفّح الإنترنت وإلى غير ذلك. أنّنا كمستهلكين لوسائل الإعلام بحاجة إلى معرفة مَنْ كتب وقَدَّم هذه المعلومات المتعلّقة بالأشعّة، وما هي مصلحته الشخصيّة من ذلك؟ وما هي المصادر التي يعتمد عليها ذوو المصالح، إذ أنّ الأشعّة وآليّات إنشائِها لها أبعاد علّميّة وبيئيّة واقتصاديّة واجتماعيّة. من أجل هذا كلّه اخترنا لكم

في هذا الكتاب المدرسيّ، الذي نَضَعه أمامكم، طابعًا جديدًا سنتعلّم فيه عن الأشعّة من وجهة نظر أهل الاختصاص، كلّ في مجال تخصّصه:

- **بروفيسور أمواج الشعاع** - عالمة فيزيائية تَبحث في ظاهرة الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة. ستقدّم لنا بروفيسور شعاع الخلفيّة العلميّة المطلوبة لمناقشة قضايا الأشعّة.
- **السيّد منير الضياء** - فني إلِكْتْرونيكا، سيشرح لنا مبدأ عمل وتشغيل الأدوات المختلفة واستخدامات التكنولوجيّة للأشعّة.
- **د. نوره الحكيم** - طبّيبة أسرة، ستقدّم لنا الأبعاد الطبّية نتيجة التَعرُّض للأشعّة كما وستَعْرِض لنا طرق التشخيص والعلاج باستعمال الأشعّة.
- **السيّد يحيى الأخضر** - ناشط في المنظمات البيئيّة، سيتحدث عن الأشعّة في الطبّيعة، كما وسَيَلفِت انتباهنا إلى تأثير الأجهزة المشعّة على البيئة.
- **السيّد عَيَّاش أبو الذهب** - مدير أعمال، سيشرح لنا الجوانب الاقتصاديّة للاستخدامات التكنولوجيّة والصناعيّة للأشعّة.
- **السيّد يعقوب الصَحَّاف** - صحفي يقدّم لنا وجهة نظر وسائل الإعلام والصحافة.
- ستتحدّث **الطالبة شمس النور** مع المسئولين ذوي الوظائف المختلفة، وستوضّح بهذا الدور، النقاط المثيرة للاهتمام.

صورة 1-1 ممن نتعلّم؟ (أنظر الملحق جـ)

ما الذي يُشِع؟

الأشعّة هي أحد الأشكال التي تُنقَل بها الطاقة. عندما يُشع الجسم تنطلق الطاقة إلى المحيط الموجود به.

الطالبة شمس النور: ما هو العامل الذي يسبّب الأشعّة؟

بروفيسور أمواج الشعاع: عندما تُغيِّر الشحنات الكهربائيّة سرعتها، فإنّها تُشِع. كذلك، عندما تَمُر تيّارات كهربائيّة في هوائيّات الإرسال (البَثّ)، تُوَلَّد الأشعّة.

الطالبة شمس النور: وماذا عن الأشعّة الشمسيّة؟ هل هي نتيجة لتيّارات كهربائيّة في الشمس؟

بروفيسور أمواج الشعاع: ليس بالضرورة. تَنبعث الأشعّة من الأجسام الساخنة. على سبيل المثال، عندما يُسَخَّن الحديد إلى درجات حرارة عالية، فإنّه يضيء بضوء قريب من الاحمرار. لهب الشمعة يُشِع أيضًا، وجُسيمات السُخام المنطلقة من الشمعة تتوهَّج إلى درجات حرارة عالية. في الواقع، كلّ جسم ساخن يُشِعّ وِفقًا لدرجة حرارته.

الطالبة شمس النور: كلُّ جسم؟ لكن، أنتِ يا أستاذة، على سبيل المثال، لا تَبْدين مشعّة بالنسبة لي.

بروفيسور أمواج الشعاع: هناك أنواع أشعّة لا تستطيع عيننا استيعابها؛ مثلًا الأشعّة التي تصدر من جسمي. مثلًا، أجهزة الرؤية الليليّة تكتشف الأشعّة المنبعثة عن حرارة جسم الناس.

الطالبة شمس النور: أي أنّ الأشعّة تنبعث من الأجسام الساخنة أو التيّارات الكهربائيّة المتغيّرة؟

بروفيسور أمواج الشعاع: نعم. بالإضافة إلى ذلك، تنبعث الأشعّة أيضًا من الموادّ المشعّة، وسندرس ذلك في المستقبل، مع استمرار دراستك.

نحن نتعرّض للأشعّة في كلّ مكان وزمان. الكون بأكمله مليء بالأشعّة المعروفة باسم **أشعّة الخلفيّة الكونيّة**. أنّها الأشعّة الناشئة عن الانفجار العظيم[3]، وهي تأتينا من جميع اتّجاهات الفضاء الخارجيّ وبشكل منتظم. كذلك الأمر، فإنّ نجوم مجرّتنا وأيضًا الشمس تبعث الأشعّة نحو الأرض. الغلاف المغناطيسيّ[4] والغلاف الجوي[5] المحيط بالأرض يَحْجُب الكثير من الأشعّة من الوصول إلى سطح الأرض. مع ذلك تخترق الأشعّة طبّقات الجوّ العليا بكثافة أكبر مقارنة مع القياسات على سطح الارض. لذلك، عندما نطير، على ارتفاع 8-12 كيلومتر فوق الأرض، فإنّنا نتعرّض للأشعّة أكثر بكثير ممّا نتعرّض له وقت حركتنا على سطح الأرض.

الطالبة شمس النور: إذاً، نحن محاطون بالأشعّة! هل هذا الأمر خطير؟

السيّد يحيى الأخضر: من حَظنا أنّنا محاطون بالأشعّة، النباتات تَستغلّ الأشعّة الشمسيّة لتحويل غاز ثاني أكسيد الكربون والماء إلى سكريّات من خلال عمليّة التمثيل الضوئيّ. أيضًا تنجح الحيوانات والبشر في انتاج فيتامين[6] D عقب تعرّض جلدها للأشعّة. من دون أشعّة ما كنّا سنجد الطعام.

د. نوره الحكيم: لكن لا ننسَ أنّ الأشعّة ذات الشدّة العالية باستطاعتها إتلاف خلايا الجسم. لذلك، يتوجّب علينا معرفة مصادر الأشعّة وتجنّب التعرّض المفرط لها.

بالإضافة إلى مصادر الأشعّة الطبيعيّة توجد مصادر أشعّة نجح في إنشائها الإنسان: مثلًا هوائيّات الاتّصالات وخطوط الكهرباء والأجهزة الكهربائيّة. تَستخدم العديد من الأجهزة الحديثة الأشعّة عن طريق بَثّ الأشعّة وامتصاصها، علمًا أنّ ضوء المصباح الكهربائيّ يُعتبر نوعًا من أنواع الأشعّة. إنّ الهواتف المحمولة والهواتف اللاسلكيّة وأجهزة التوجيه اللاسلكيّة والهوائيّات التلفزيونيّة وأجهزة الراديو تستقبل وتبعث أشعّة غير مرئيّة في

[3] . تنص النظرية العلمية السائدة اليوم، أنه منذ حوالي 14 مليار سنة "وُلِدَ" الكون في الانفجار العظيم. حدث الانفجار العظيم من نقطة واحدة ومنها بدأ الكون في الاتساع.

[4] . الغلاف المغناطيسي ذو مساحة كبيرة تحيط بالأرض حيث يوجد المجال المغناطيسي للأرض.

[5] . الغلاف الجوي هو طبقة الغازات المحيطة بالكرة الأرضية. يحتوي الغلاف الجوي للأرض على طبقات مختلفة من الغازات، بما في ذلك طبقة الهواء وطبقة الأوزون، التي تمتد من 10 إلى 50 كيلومترات فوق سطح الأرض، تمتص طبقة الأوزون جزءا من الأشعة فوق البنفسجية المنطلقة من الشمس.

[6] . يساعد فيتامين D على امتصاص الكالسيوم في الجسم، وهو ضروري للحفاظ على أنسجة الجسم

آنٍ واحد. إنَّ أجهزة الميكروويف والأفران تُسخِّن ما بداخلها بواسطة الأشعّة. قد تكون الأجهزة الكهربائيّة الأخرى، وإنْ لم تكن وظيفتها الاستقبال أو الإرسال، مصادر أشعّة.

عمليّا، نحن نتعرّض للأشعّة، في كلّ مرّة نقترب فيها من الأجهزة المنزليّة العادية. لاحقًا، سنتعلّم أنّ التغيير في شدّة التيّار الكهربائيّ يُسبّب انطلاق الأشعّة، وهذا التأثير نراه ملحوظًا عند اقترابنا من تيّار كهربائيّ متغيِّر الشدّة. حدَّدت وزارة البيئة معايير التعرّض للأشعّة، وهذه المعايير تشمل توصيات علينا فعلها عند الاقتراب من أجهزة الكهرباء المنزليّة أيضًا.

السيّد يحيى الأخضر: نعم، توجد مشكلة في أشعّة الأجهزة. احترسي منها يا شمس النور!

السيّد عياش أبو الذهب: لا تُخِف الفتاة لهذه الدرجة. إنّ التعرّض للأشعّة المنطلقة من الأجهزة الكهربائيّة ليس بالخطر الملموس، خاصّةً عند قياس الفائدة الاقتصاديّة ورفاهيّة الحياة العالية المصاحِبة لوجود الأشعّة.

د. نوره الحكيم: ممّا لا شكّ فيه، أنّ نمط الحياة الحديثة أدّى إلى تَحسين صحّة الإنسان وزيادة في متوسط عمره. فالبيت الحديث بأدواته المشعّة أكثر صحّة من البيت القديم المُتَمَثِّل بالخيمة. الطبّ يستخدم الأشعّة أيضًا، كالأشعّة السينيّة (أشعّة رِنْتِجِن). مع ذلك، قد يكون التعرّض المفرط للأشعّة من المصادر الطبيعيّة أو من الأجهزة الكهربائيّة ضارًا إلى حد ما، لذلك أقترح عليك التصرّف بحكمة فيما يتعلّق بالتعرّض للأشعّة واستخدام الأجهزة المشعّة.

الطالبة شمس النور: أتصرّف بحكمة؟ ماذا تقصدين بذلك؟

السيّد منير الضياء: لا تقلقي يا شمس النور، سنشرح لك كلّ شيء في الفصول القادمة.

فعالية 1.1 مصادر الأشعّة

سَجِّل أسماء أدوات وأجهزة تطلق الأشعّة وصَنِّفَها وِفقًا للمجموعات التالية: مصادر أشعّة طبيعيّة، أجهزة تَهْدِف إلى نَشرِ الأشعّة، أدوات تطلق الأشعّة وليس هدفها نَشر الأشعّة.

مصادر أشعّة طبيعيّة	أجهزة تَهْدِف إلى نَشرِ الأشعّة	أدوات تطلق الأشعّة وليس هدفها نَشرِ الأشعّة

للمناقشة الصّفيّة: أيّ من مصادر الأشعّة يمكن السيطرة عليها؟ صَنّف أيضًا مصادر الأشعّة وِفقًا للمجموعات التالية:

- مصادر أشعّة لا تخضع لسيطرة الإنسان
- مصادر أشعّة تحت مسؤوليّة المؤسّسات الرسميّة مثل الحكومة أو البلدية
- مصادر أشعّة منزليّة

سؤال تفكيريّ: هل العاكس للضوء يُعدّ مصدر أشعّة؟

السيّد منير الضياء: كيف تُسَخِّن أشعّة الميكروويف الطعام؟ الجواب عن هذا السؤال تجِدونَه في الفصل 5.

د. نوره الحكيم: هل تريدون التعرّف على جهاز أل CT؟ أخبركم عنه في الفصل العاشر.

السيّد يحيى الأخضر: لاحظ أنّ اليراعات تُضيء وبهذه الطريقة تجذب الأزواج، في حين أنّ الأسماك المُضيئة في أعماق البحر تَجذِب إليها فرائسها.

فعالية 1.2 مشاهدة مقالة كيف نقتل أنفسنا بأنفسنا: الأشعّة

شاهد مقالة أفري جلعاد على قناة البثّ ريشِت (**רשת**)؛
كيف نحن نقتل أنفسنا: الأشعّة[7]، ثمّ أجب عن الأسئلة.

الطالبة شمس النور: نقتل أنفسنا! من قُتِلَ؟

السيّد يعقوب الصحّاف: شمس النور، هذا مجرّد عنوان، يهدف إلى جذب انتباهك وإقناعك بمشاهدة المقالة!

1. **ما هي القضيّة المركزيّة في هذه المقالة؟**
2. **هل تقدّم المقالة إجابة لا التباس بها لهذه القضيّة؟ علّل!**
3. **عَرَض العديد من المتحدّثين موقفهم في هذه المقالة. اعتمد بَعضُهم على تجربتهم الشخصيّة والبعض الآخر على البحث العلّميّ. مثلًا، تقول السيدّة جينيفر وود أنّ انتقالها إلى مدينة البنك الأخضر حيث لا يُسمح ببثّ الأشعّة أدّى إلى تحسن كبير في صحّتها وساعدها على التعافي من نقص الوزن.**
   أ. هل تعتقد أنّ الانتقال إلى بيئة خالية من الأشعّة ساعدت فعلًا السيدّة جينيفر؟ اشرح!
   ب. هل يُمكن أنّ نستنتج من ذلك أنّه يتوجّب على الأشخاص الذين يعانون من نقص الوزن، تجنّب التعرّض كليًا للأشعّة؟
   ج. كيف يمكن فحص ما إذا كان تجنّب الأشعّة سيساعد الأشخاص الذين يعانون من نقص في الوزن؟
   د. ما هو الموقف العلّميّ على النحو الذي قدّمه الأطبّاء والباحثون في المقالة فيما يتعلّق بالأشعّة؟
   ه. لماذا يصعب تحديد مِعْيار للحدِّ من التعرّض للأشعّة؟
4. **حقيقة أم رأي؟**

الحقيقة هي أمر موضوعيّ لا نِقاش فيه ولا خِلاف، والذي يُعرَف كأمر واقعيّ ويمكن إثبات صحّته. في المقابل فإنّ الرأي يعطي وُجهة نظر الإنسان أو مَوقِفه أو فكرته وهو يتعلّق بموضوع معيّن، الرأي له إنّ يختلف من شخص لآخر.

ميِّز بين العبارات التالية، حقائق أم آراء، واشرح الاعتبارات التي اعتمدت عليها.

إرشاد: اسأل نفسك إذا كان بإمكانك برهنة صِحّة هذه العبارة، بالاعتماد على التجربة أو المشاهدة.

[7]. http://reshet.tv/item/news/documentary/season-01/episodes/zbuid-468588/

أ. مِعْيَار الأشعّة المسموح بها ليس صارمًا بما فيه الكفاية. حقيقة أم رأي؟ اشرح.

ب. الأطفال والشباب أكثر حسّاسيّة للأشعّة من المتقدّمين في السنّ. حقيقة أم رأي؟ اشرح.

ج. سَيُعاني الكثيرون في السنوات القادمة من حسّاسيّة الأشعّة. حقيقة أم رأي؟ اشرح.

د. الأشعّة قد تساعد على خرق الحاجز بين شرايين الدّم والدماغ. حقيقة أم رأي؟ اشرح.

ه. مشروع الحَوسَبة التابع لوزارة التربية والتعليم يَضُرّ بصحّة الطلّاب. حقيقة أم رأي؟ اشرح.

و. الاتّصالات اللاسلكيّة تزيد في المدارس من كفاءة التعليم. حقيقة أم رأي؟ اشرح.

5. املأ الجدول التالي وحدّد مدى مصداقية المقالة بالنسبة لك.

معيار التقييم	كيف تقيِّم هذه المقالة؟ علّل!
خبرة المتحدّثين	
موضوعية	
حداثة	
الملائمة بين اسم المقالة لمضمونها	

الطالبة شمس النور: ما هو الحاجز الدمويّ الدماغيّ (Blood-brain barrier) المذكور في المقال؟

د. نوره الحكيم: هو غشاء واقٍ يمنع مرور الموادّ الضارّة من مجرى الدّم إلى الدماغ.

فعالية 1.3 افحص معلوماتك

1. **أي ممّا يلي لا يعتبر مصدرًا للأشعّة؟**
   أ. الشمس
   ب. القمر
   ج. الهاتف النقّال
   د. جهاز التوجيه اللاسلكيّ

2. **تنطلق الأشعّة من:**
   أ. الأجسام الساخنة
   ب. التيّارات الكهربائيّة المتغيّرة
   ج. اضمّحلال الموادّ المشعّة
   د. جميع الأجوبة صحيّحة

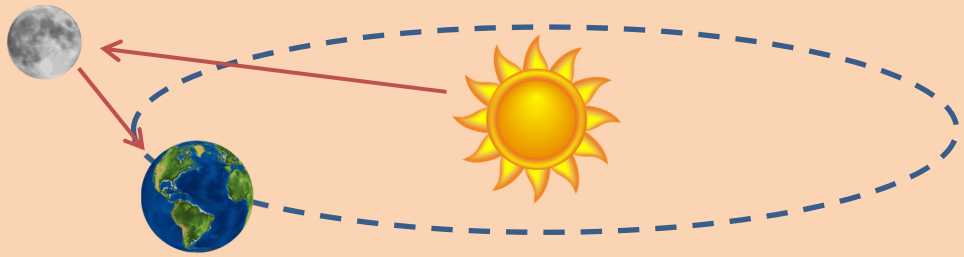
3. **الأشعّة**
   أ. ضارّة للإنسان
   ب. مفيدة للإنسان
   ج. ضارّة للنباتات والحيوانات، لكنّها مفيدة للإنسان
   د. مفيدة وضارّة للإنسان

للتوسّع: ما هو النجم؟

يوجد في الفضاء أجسام كثيرة مُتَوَهِّجَة تُطلِق الكثير من الأشعّة، هذه هي النجوم. لماذا تَتوهَّج النجوم؟ ان النجوم في الواقع سحب غازيّة كثيفة وكبيرة للغاية. وتمامًا، كما أنّنا ننجَذِب إلى مركز الكرة الأرضيّة بِفِعل قوّة جاذبيّتها فإنّ السُحُب الغازيّة الضخمة لا تنتشِر في الفضاء الواسع عشوائيًّا، وإنّما تنجَذِب نحو مركز السحابة بِفِعل قوّة جاذبيّة هذه السُحُب. وبما أنّ النجوم كبيرة وثقيلة جدًّا فإنّ قوى الجاذبيّة فيها هائلة، لذا تكون سحابة الغاز كثيفة جدًّا. إنّ الضغط العالي جدًّا في السحابة يُسبّب ارتفاعا هائلا جدًّا بدرجات حرارة السحابة. درجات الحرارة في السحابة عالية جدًّا، الأمر الذي يُوَفِّر الظروف المناسبة لحدوث عمليّات داخل أَنْوِيَة العناصر والتي تُعرف باسم الاندماج النوويّ. في هذه العمليّة تنْتُج عناصر جديدة داخل السُحُب الغازيّة وتنطلق منها أيضًا طاقة جِدُّ كبيرة في أرجاء المعمورة وتكون على شكل ضوء وحرارة.

شمسنا تُعدّ نوعًا من النجوم التي تتكَوَّن في الأساس من الهيدروجين. في عمليّة الاندماج النوويّ يحدُث اندماج بين أنوِية ذرّات الهيدروجين، الأمر الذي ينتج منه أنوية لذرّات الهيليوم وتنطلق كميّات كبيرة جدًّا من الطاقة على شكل ضوء وحرارة. عمليّة الاندماج هذه تشبه العمليّة التي تحدث في القنبلة الهيدروجينيّة. يا تُرى، ماذا سيحدث عندما ينتهي الهيدروجين، وهو المادّة الفعَّالة في الشمس؟ ستتغيّر شمسنا وسيصعُب التعرّف عليها، ستُصبِح نجمًا كبيرًا جدًّا يُسمّى نظريًّا **بالعملاق الأحمر**. نتوقَّع حُدوث هذه العمليّة في غضون بضعة مليارات من السنين وعندها لن تكون الحياة على الكرة الأرضيّة ممكنة في شكلها الحاليّ.

هل يعتبر القمر أيضًا نجمًا؟ القمر هو جرم سماوي لكنّه ليس نجمًا. بعبارة أخرى لا يُعْتَبَر القمر مصدرًا للأشعّة. القمر يعكس ضوء الشمس[8] الساقط عليه. انظر الرسم التالي:



رسم توضيحي 1. 1: الشمس والكرة الأرضية والقمر (المصدر: أنظر ملحق "ج")

الكرة الأرضيّة ليست نجمًا فهي لا تُضيئ. تُعرف الكرة الأرضيّة بأنّها **كوكب سَيَّار**.

[8] . نحن نُمَيِّز في اللغة العربية بين **ضوء** الشمس (مصدر الضوء) وبين **نور** القمر (القمر يعكس ضوء الشمس الساقط عليه) [المترجم].

الفصل 2: ما هي الموجة؟

سؤال يمكنك الإجابة عنه بعد تعلّم الفصل الحالي:

ما هو المشترك بين موجة حركة الأيدي في الملعب وبين الأمواج التي "نراها" في البحر؟

المصطلحات الأساسيّة التي سنتناولها في هذا الفصل:

موجة، وسط، تأثير، اتّجاه تقدّم التأثير

تعلّمنا في الفصل السابق عن مصادر الأشعّة. أيّ الأجسام التي تُطْلِق الأشعّة. وبهذا فالأشعّة هي شيء ما يَنْبَعِث من مصدر معيّن ويَتقدّم في الوسط.

الطالبة شمس النور: شيء ما؟ ما هو هذا الشيء؟

بروفيسور أمواج الشعاع: طاقة

الطالبة شمس النور: الطاقة التي تعلّمنّا عنها في العام الماضي! لكن، وِفقًا لما تعلّمت فإنّ الطاقة تُنسب دومًا إلى جسم ما. على سبيل المثال، الكرة الموجودة في أعلى البُرج تمتلك طاقة ثقل وضعيّة / طاقة ارتفاع. كما وتمتلك الكرة المتحرّكة طاقة حركية. تُنسب هذه الطاقة للكرة. مَن الذي يَمتلك إذاً طاقة الأشعّة؟ ما هو الشيء المُنْطلق من مصدر الأشعّة ويحمل الطاقة معه؟

بروفيسور أمواج الشعاع: عندما يتعلّق الأمر بِشعاع الجُسَيمات، فإنّ الجُسَيمات المنطلقة تأخذ معها طاقة حركيّة عالية من مصدر الأشعّة. يحدث هذا الأمر في المقام الأوّل مع الأشعّة المنطلقة في عمليّات الاضمّحلال النوويّ والتي سندرُسها لاحقًا. أمّا الآن فسوف نُرَكّز على الأشعّة الموجيّة وهي الأكثر انتشارًا.

الطالبة شمس النور: ما هي الأشعّة الموجيّة؟ هل من الممكن نقل الطاقة دون الحاجة إلى جُسيمات "لسحبها"؟

بروفيسور أمواج الشعاع: نعم بالطبّع، تقريبًا جميع مصادر الأشعّة التي ذُكِرت في الفصل السابق تُطلِق أمواجًا تحمل الطاقة.

الطالبة شمس النور: كيف يحدث هذا؟ وما هي الموجة؟

ما هي الموجة؟

الموجة هي تأثير يَتقدّم في المكان والزمان. بكلمات أخرى فإنّ الوسط الذي يتحرّك فيه التأثير يبقى ساكنًا، أمّا التأثير فإنّه يتقدّم في الوسط. وفيما يلي بعض الأمثلة:

- *موجات البحر* – نحن نرى أمواج البحر تقترب من الشاطئ ومع ذلك فإنّ مياه البحر لا تَنْفَذ. إنّ مياه البحر هي الوسط الذي لا يَتقدّم. بينما التأثير هو الذي يؤديّ إلى ارتفاع وانخفاض مستوى سطح الماء، وهذا التأثير هو الذي يتقدّم على سطح الماء.
- "*موجة حركة الأيدي*" في الملعب - نرى الموجة تتحرّك من طرف إلى آخر دون أنّ يتغَيَّر مكان أيّ من المشاهدين. هنا في هذا المثال الجمهور هو الوسط الذي يحافظ على مكانه، في حين أنّ التأثير المُتَمَثِّل بحركات الأيدي إلى أعلى وإلى أسفل، هو الذي يتقدّم.
- *موجات النابض* - إذا أمسك طالبان طرفي النابض وقام أحدُهُما بدفع طرف النابض باتّجاه زميله مع استمرار إمساكه بطرفه الاخر، نرى موجة (دفع طرف النابض) تنتقَّل من طرف إلى اخر. الوسط هنا هو النابض وهو يبقى مكانه. التأثير هو الشَدُّ والانكماش الموضعيّين في النابض ونراه يتقدّم على امتداد النابض. إذا شدَّ أحد الطلّاب النابض جانبًا وعلى نحوٍ يتعامد مع وضعيّة النابض (انظر الشكل 2.1)، فسوف تظهر موجة مختلفة تتحرّك من طرف إلى آخر. هنا أيضًا يبقى الوسط وهو النابض مكانه بينما يتحرّك التأثير على امتداد النابض بحركة جانبيّة. في كلتا الحالتين يتمّ تحديد شكل الموجة في النابض وِفقًا لشكل التأثير في بداية تأثيره.

فعالية 2.1 موجات النابض

أمَعِن النظر في مقطعيّ الفيديو على الرابطين التاليين وأجب عن الأسئلة التي تتضمّنها[9]:

موجة نابض عرضيّة

موجة نابض طوليّة

[9] . قامت ألونا مشعل وجوليا برونشتاين بتطوير مقطعيّ الفيديو التفاعليين ضِمن إطار برنامج تطوير مناهج الفيزياء، ذلك في كلية العلوم والتكنولوجيا في التخنيون، خلال فصل الربيع لعام 2011.

https://video.helloeko.com/v/V50pXA?autoplay=true
https://video.helloeko.com/v/VLbPgz?autoplay=true

يُفَضَّل اختيّار: الشاشة بالوضع الكامل، أثناء تشغيل مقطعَي الفيديو بهدف مشاهدة النصّ كاملًا. لاختيّار الوضع الكامل للشاشة، أنقر مؤَشّر الفأرة – الشماليّ، في الزاوية اليمنى السفلى من الشاشة، عندها سيظهر خيار الانتقال إلى الوضعيّة. نوصي بتكرار مشاهدة مقطعَي الفيديو خلال الدرس.

صورة 2.1 موجة تتقدّم على امتداد النابض (المصدر: انظر الملحق "ج")

الطالبة شمس النور: قرأتُ البارحة في الجريدة أنّ "موجة حوادث الطرق" قد حلّت في البلاد.

السيّد يعقوب الصحّاف: نعم، نكتب أحيانًا "موجة" لوصف مجموعة من الظواهر المتشابهة، وأحيانًا أخرى لوصف ظاهرة قويّة حدَثت بشكل مُفاجئ. على سبيل المثال: موجة من حوادث الطرق، موجة من الهجمات، موجة من أعمال الخير أو موجة حرّ. هنا تختلف دلالة كلمة مَوْجة من عبارة لأخرى، كما ويختلف مفهومها عن المفهوم العلّميّ لكلمة موجة. العديد من الكلمات تحمل في سياقات مختلفة معاني متنوعة. مثلًا، تشير كلمة فأر في سياق واحد إلى حيوان، أمّا في سياق آخر فإنّها تشير إلى جهاز متصل بجهاز الحاسوب.

الطالبة شمس النور: عندما يتعلّق الأمر بكلمة فأر، أعرف على الفور متى يتعلّق الأمر بالحيوان ومتى يتعلّق الأمر بالجهاز الخاصّ بالحاسوب. لكن كيف يمكنني أنّ أعرف ما إذا كانت كلمة موجة تُشير الآن الى الدلالة العلميّة (كما في حالة الأشعّة) أو إلى دلالة أخرى؟؟

بروفيسور أمواج الشعاع: عند استخدام مصطلح مَوْجة في العلوم فإنّنا نشير إلى تأثير يتقدّم باستمرار في وسط غير متحرّك. فعندما نُحْدِث موجة في النابض نرى النابض يتذبذب بطريقة مُنْتَظمة. بمعنى أنّه وقتما نطلق الموجة فإنّ التأثير يُسبّب اهتزاز النابض الأمر الذي يؤديّ إلى تقدّم التأثير على امتداد النابض وانتقاله من طرف إلى آخر. يمكن أنّ نتخيّل في وضع كهذا كيف سيكون وضع النابض بعد ثانية واحدة أو بعد ثانيتين من حدوث التأثير. لكن في موجة حوادث الطُرُق لا نجد من هذا

القبيل شبيهًا، إذ لا توجد علاقة بين حادث الطرق الأوّل وبين الحوادث اللاحقة. إنّ معرفة موقع الحادث الأوّل لا يتيح لنا التنبؤ بمكان الحوادث القادمة. الأمر ببساطة عبارة عن مجموعة من الحالات التي لا يوجد بينها أيّ ترابط. إنّ مفهوم كلمة موجة هُهنا إذاً يختلف كُليًّة عن المعنى العلّميّ لكلمة موجة!

فعالية 2.2 الأمواج في الحياة اليوميّة ومفهومها العلّميّ

نُقَدم لكم، في إطار هذه الفعاليّة، أمثلة لأمواج من حياتنا اليوميّة مرّة بمفهومها العلّميّ وأخرى بالمعاني المختلفة.

بالنسبة للأمواج ذات المفهوم العلّميّ، حَدِّد الوسط الذي تتقدّم به الموجة وما هو التأثير الذي أحدثها؟

أمّا بالنسبة للأمواج الأخرى فاجتهد في تفسير سبّب عدم كونها تتبع للمفهوم العلّميّ.

1. **ضرب الحجر لسطح الماء يُكوِّن سلسلة من الأمواج**. هل هذه الأمواج ذات مفهوم علمي أم ماذا؟ فسِّر!

صورة 2.2 حجر تضرب سطح الماء (المصدر: انظر الملحق "ج")

2. **موجة الجراد**، هل هذه الموجة ذات مفهوم علمي أم ماذا؟ فسِّر!

وقالت الامم المتحدة إن أسوأ موجة من الجراد في 15 عاما انتشرت من المغرب الى النيجر ومالي وموريتانيا والسنغال.

صورة 2.3 تقرير بتاريخ 28.07.2004 (موقع BBC في اللغة العربية)

3. **موجة القوميّة من أخبار "بانيت"!** هل هذه الموجة ذات مفهوم علمي أم هي غير ذلك؟ فسِّر!

سكان كمبوديا بانتظار الحرب ضدّ تايلاند

أثار القتال الذي اندلع على الحدود بين تايلاند وكمبوديا، بسبب النزاع على ملكية معبد عمره 900 عام، موجة وطنيّة بين الكمبوديين.

صورة 2.4 تقرير بتاريخ 16.10.2008 (موقع بانيت في اللغة العربية)

4. **أمواج النابض؛** هل هذه الموجة ذات مفهوم علمي أم هي غير ذلك؟

صورة 2.5 موجة تتقدّم على امتداد النابض (المصدر: انظر الملحق "ج")

5. **موجة الانفجار من أخبار Ynet؛** هل هذه الموجة ذات مفهوم علمي أم ماذا؟ فسِّر!

قال الكولونيل بيني بروش، مهندس حماية في قيادة الجبهة الداخليّة:

عندما يضرب رأسٌ حربيّ الأرض، أو جدَّار بناء، أو أيّ شيء آخر، تنفجر المتفجرات التي بداخله ويتصدَّع غلافه الحديدي. نتيجة لذلك، تتولَّد موجة الانفجار وتنطلق آلاف الشظايا الساخنة في جميع الاتّجاهات، والتي قد تصطدم بنا إحداها. تعتمد شدّة الشظايا وتأثيرها على وزن الرأس الحربيّ والمادّة المكوَّن منها وقرّبه منا.

صورة 2.6 هذا التقرير من تاريخ 9.08.2014 (المصدر: انظر الملحق "ج")

6. **موجة البرد من أخبار كلّ العرب؛** هل هذه الموجة ذات مفهوم علمي أم ماذا؟ فسِّر!

استمرار موجة البرد وتساقط الثلوج في القدس وإعادة فتح الشوارع في الجولان

بدأت الثلوج بالتساقط صباح اليوم الإثنين في مدينة القدس وغوش عتسيون. وأفاد خبراء الأرصاد الجوية أن "العاصفة تهدأ اليوم الإثنين، فيما تستمر موجة البرد القارس وتتساقط أمطار محلية في مركز البلاد وجنوبها مصحوبة بعواصف رعدية وزخات من البرد، فيم

كتب: كل العرب - الناصرة نُشر: 13:40:15 25-01-2016

صورة 2.7 هذا التقرير من تاريخ 25.01.2016 (المصدر: انظر الملحق "ج")

الطالبة شمس النور: إذاً ما هي موجة الأشعّة؟ وما هو التأثير؟ وما هو الوسط الذي تتقدّم به الموجة؟

بروفيسور أمواج الشعاع: سندرس هذه المواضيع في الفصول القادمة. لكن قبل أنّ نتعلّم عن أمواج الأشعّة، والتي يطلق عليها في الأوساط العلميّة بالأشعّة الإلكترومغناطيسيّة، يتوجّب علينا دراسة بعض المصطلحات اللازمة لدراسة خصائص الأمواج. نرى انّه من الأسهل شرح هذه المفاهيم من خلال دراسة أمثلة عن الأمواج الميكانيكيّة والتي يتمّ فيها التعبير عن التأثير بالحركة الموضعيّة لجزيئات الوسط، كما هو الحال مع موجة النابض أو مع الموجة على سطح الماء أو مع الموجة الصوتيّة.

ملخّص الفصل

الموجة هي تأثير مضطرب فيه خروج عن وضع التوازن وتتقدّم في وسط لا يتحرّك[10]. يَتوجّب علينا، لِتَمييز الموجة، تحديد التأثير واتّجاه تقدّمه في الوسط.

[10] لاحقا سنرى أمواجاً لا تحتاج إلى وسط لتتقدم فيه.

الفصل 3: الأمواج الصوتيّة

سؤال يمكنك الإجابة عنه بعد تعلّم الفصل الحالي:

هل يمكن أنّ نتحدَّث في الفضاء الخارجيّ؟

المصطلح الأساسيّ الذي سنتناوله في هذا الفصل:

الموجة الصوتيّة

يُعتبر الصوت الذي نسمعه علميًّا أمواجا. الموجة الصوتيّة هي تأثير يؤديّ إلى تغيير موضعيّ في انضغاط الوسط الذي يمر عَبْرَه التأثير، تمامًا كما هو الحال في الموجة الطوليّة على امتداد النابض في الفعّاليّة 2.1.

وقت مرور الموجة الصوتيّة يحدث انضغاط عكسيّ لجُسَيمات الوسط ممّا يؤديّ إلى حدوث تغيير في الضغط داخل الوسط.

إن الأمواج الصوتيّة قادرة على التحرّك في وسط ماديّ مثل الهواء والسوائل والغازات وأيضًا الأجسام الصلبة. عند قدوم الموجة الصوتيّة نحو آذانّنا يحدث تغيير في ضغط الهواء، الأمر الذي يَتَسبّب في اهتزاز طبّلة الأذن - وهي غشاء مشدود داخل الأذن. اهتزازات طبّلة الأذن تُترجم الى إشارات كهربائيّة محدّدة ومن ثمّ تصل الى الدماغ، الذي يُترجمها إلى أنغام (أصوات).

فعالية 3.1 حُبَيبات الأرُز الراقصة

1) خذ علبة "فارغة" من الشوكولاتة أو من القهوة وضع فوقها غشاء بلاستيكيًّا لاصقًا مشدودًا أو بالونًا مشدودًا.
2) قم برشّ القليل من حُبيبات الأرز على الغشاء البلاستيكيّ. (يمكنك استبدال حُبيبات الأرز بالسكر أو المَلح).
3) ضع العلبة مُلاصقة للسمّاعة. لتَعْظيم أثر هذه الظاهرة، شغِّل الموسيقى باستخدام مكبّر الصوت أو ضَع هاتف الجوّال داخل العلبة.
4) شغِّل الموسيقى الصاخبة وتمعَّن حركة حُبيبات الأرز على الغشاء البلاستيكيّ. ماذا ترى؟ لماذا؟

صورة 3.1 ترقص حُبيبات الرزّ على أنغام الموسيقى

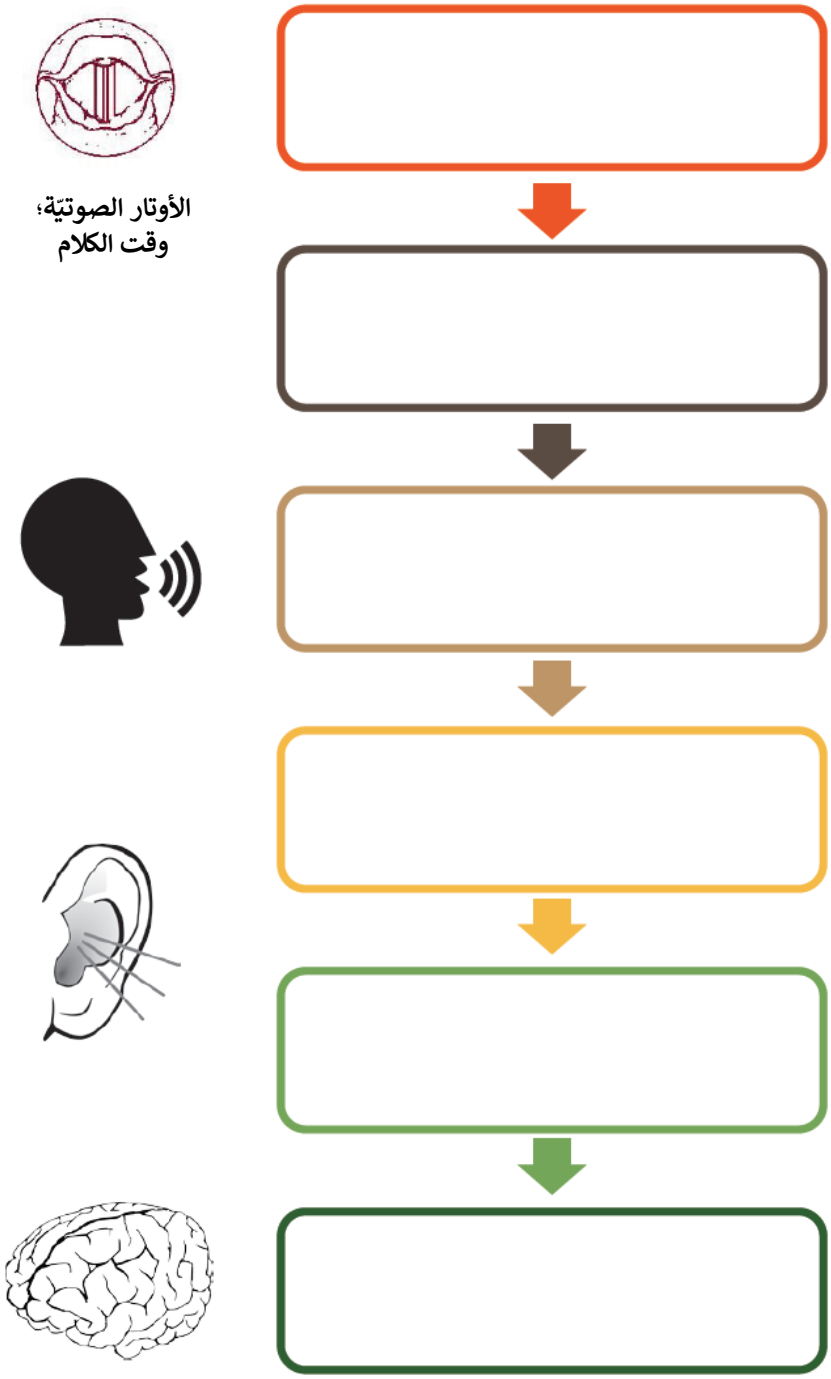
تُسبّب الأمواج الصوتيّة الصادرة عن مكبّر الصوت تغيُّرات في ضغط الهواء المحيط بالعلبة. التغيُّرات في ضغط الهواء، قريبًا من البالون البلاستيكيّ، تؤَدّي إلى ذبذبته، حيث أنّ الغشاء البلاستيكيّ، المُلْصَق على فُوَّهة العُلبة، يتحرّك باتّجاه المنطقة ذات ضغط الهواء المُنخَفض، المنطقة ذات الضغط المرتفع تدْفَعُه نحو المنطقة ذات الضغط المُنخَفض. التغَيُّرات في الضغط قريبًا من الغشاء البلاستيكيّ تُؤَدى إلى اهتزازه إلى أعلى وإلى أسفل، فتقفز حبّات الأرز إلى أعلى وإلى أسفل وِفقًا لأنغام الموسيقى. لاحظ أنّ غشاء طبّلة الأذن يَهْتَزُّ تمامًا كما يهتزُّ الغشاء البلاستيكيّ المشدود والمُلْصَق على فُوَّهة العُلبة.

تؤَدّي الاصطدامات بين جُسَيْمات الهواء، الناتجة عن التغَيُّرات الموضعيّة في الضغط، إلى تقدّم التأثير ووصوله إلى أُذْنُينا، ذلك على غرار الطريقة التي تقدّم بها التأثير على امتداد النابض في الفعاليّة 2.1. تَغيُّرات الضغط قريبًا من الأذن تُسبّب اهتزاز غشاء طبّلة الأذن والتي تُتَرجم إلى أنغام موسيقيّة.

ما الذي يُسبّب التغيير الموضعيّ في الضغط عند التحدّث أو العزف؟

فعالية 3.2 الأوتار الصوتيّة

- ضع يدك على رقبتك في المكان الموجودة فيه الأوتار الصوتيّة واصرخ بصوتٍ عالٍ. ماذا شَعَرتَ بأصابعك؟
- رتِّب العبارات التالية بالترتيب وِفقًا لما يُناسب المخطّط الانسيابيّ في الصّفحة التالية:
  - تَشُدُّ العضلات الأوتار الصوتيّة. عند استنشاق الهواء، تتذبذب الأوتار.
  - الدماغ يُفَسِّرُ اهتزاز غشاء طبّلة الأذن على أنّه نغمة موسيقيّة.
  - تتقدّم الموجة الصوتيّة من محيط الأوتار الصوتيّة إلى تجويف الفم إلى الهواء القريب من المتحدّث.
  - عندما تصل الموجة الصوتيّة إلى آذان المستمعيّن، تحدُث تغيُّرات في ضغط الهواء - أو التأثير الناتج عن الموجة الصوتيّة – الأمر الذي يُسبّب اهتزاز غشاء طبّلة الأذن.
  - الاصطدامات بين جُسيمات الهواء تؤَدّي إلى تقدّم الموجة الصوتيّة إلى جميع أرجاء الغرفة.
  - تتأثّر جُسيمات الهواء المحيطة بالأوتار الصوتيّة وتَهْتَزُّ، الأمر الذي يُسبّب الانقباض والانفراج فيما بينها وهذا يؤديّ إلى إنتاج موجة انضغاطيّة والتي تسمّى بالموجة الصوتيّة.



صورة 3-1 الكلام والسمع

كما أنّ الكلام يُحدِث تغَيُّرات موضعيّة في الهواء، كذلك الأمر، العزف على الغيتار يُحْدِث تغييرات في الضغوطات المحلية والتي تَتقدّم في الهواء على شكل موجات صوتيّة. عند الضرب على غشاء سطح الدفّ يهتزُّ سطح الدَّف، الأمر الذي يؤديّ إلى حدوث تغيُّرات في ضغط الهواء قريبًا من المنطقة المحيطة. يعمل مكبّر الصوت أيضًا على اهتزاز الغشاء، الأمر الذي يؤديّ إلى إنتاج موجة من تغيُّرات في الضغط.

للتوسُّع: طنين النحل

ساد الاعتقاد في السابق، أنّ طنين النحل هو اللّغة التي يتحدّث بها النحل، وأنّ النحل يتحكّم بالطنين كما يشاء. لكنّه اتضح أنّ طنين النحل هو الصوت الناتج عن حركة أجنحة النحل. فعندما تطير النحلة تقوم بتحريك جناحَيها بسرعة عالية فتُوَلّد حركةُ الأجنحة موجةً انضغاطيّة في الهواء وعندها نسمع الطنين.

فعالية 3.3 تَوليد الأمواج الصوتيّة

- نعَرِض في الجدول التالي بعض الظواهر. أيّ منها يُوَلّد موجة صوتيّة؟
- إذا تَوَلّدت موجة صوتيّة، اشرح سبّب التغيير الموضعيّ في ضغط الهواء. إذا لم يكن كذلك، اشرح السبّب.

الظاهرة	هل تَوَلّدت موجة صوتيّة	إذا كان الأمر كذلك، ما المُسبّب للتغيُّرات الموضعيّة في الضغط؟ إذا لم يكن كذلك، لماذا؟
التصفيّق		
رفع اليد، إشارة للتَوَقُّف		
الصّفيّر		
التطبّيل		
طنين النحل		
الكلام		
بالون منفوخ		
انفجار بالون		

الطالبة شمس النور: ماذا سوف يحدث لو تحدّثنا في منطقة لا يوجد فيها هواء، خذ على سبيل المثال الفضاء الخارجيّ أو في غرفة مفَرَّغة من الهواء؟ هل سنسْمَع أصواتنا؟

بروفيسور أمواج الشعاع: يا لها من مصادفة! بالأمس فقط شاهدت مع أطفالي حَلَقَةً تعليميّة من مُسَلْسَل الحقّارين على شاشة التلفاز[11]، حاول الطلّاب فيها الإجابة عن هذا التساؤل من خلال الأمثلة والتجارب الجَذّابة.

النتيجة من هذه التجارب أنّ الأمواج الصوتيّة لا يُمكنها أنّ تتقدّم بدون وسط. في الفراغ لا توجد جسيمات يمكن انضغاطها أو انفراجها، لذا لا توجد إمكانيّة لتوليد موجة انضغاطيّة. فلا يُسْمَع صوتنا في الفضاء الخارجيّ.

جميع الأمثلة التي درسناها حتّى الآن عن الأمواج تُعْتَبَر أنواعًا من الأمواج الميكانيكيّة، والتي يمكن وصفها بأنّها تأثيرات تتقدّم في وسط ماديٍّ كالهواء أو النابض أو سطح الماء. بالمقابل فإنّ أمواج الأشعّة تتميّز كونها تتقدّم أيضًا في الفراغ. فمثلًا ضوء الشمس يصل سطح الكرة الأرضيّة بعد اجتيازه مسافات جِدُّ كبيرةٍ في الفراغ. هذا ما سندرسه في الفصول التالية.

ملخّص الفصل

الموجة الصوتيّة تعتبر مثالاً للموجة الميكانيكيّة. والتأثير الذي تُحدثه الموجة الصوتيّة من شأنه إحداث تغييرات في كثافة جُسيمات الوسط، أيّ أنّ التأثير يُحْدِث تغييرًا موضعيّا في انضغاط جُسيمات الوسط.

[11] . https://www.youtube.com/watch?v=bQVFD9kKCkI

الفصل 4: خصائص الأمواج الدوريّة

الأسئلة التي يمكنك الإجابة عنها بعد تعلّم هذا الفصل:

- ما هو الفرق بين حركة موجة الأيدي في الملعب وموجة الأشعّة؟
- بماذا تَمتاز الأصوات التي يمكن أنّ تسمعها الكلاب ولا يَسْمعها الإنسان؟

المصطلحات الأساسيّة التي سنتناولها في هذا الفصل:

موجة دوريّة، وزمن الدورة، والتردّد، وطول الموجة، والسِّعة، وسرعة تقدّم الموجة وطاقة الموجة

إنّ الأمواج الصوتيّة التي نسمعها وأموج الأشعّة التي سندرسها لاحقًا، هي أمواج دوريّة. اعلّم أنّه ليست كلّ موجة هي موجة دوريّة. على سبيل المثال، موجة النابض التي رأيناها في الفعاليّة 2.1 وموجة حركة الأيدي في الملعب ليست أمواجًا دوريّة. سنتعرّف في هذا الفصل على الأمواج الدوريّة وعلى خصائصها. إنّ فهم هذه الخصائص سيُمكّننا من فهم الفرق بين أمواج الأشعّة على اختلاف أنواعها، فإنّ بعضها، بالنسبة لنا، خطير للغاية، والبعض الآخر أخفّ ضررًا. كما وسنتعرّف على استخداماتها العديدة.

ما هي الظاهرة الدوريّة؟

الظاهرة الدوريّة هي الظاهرة التي وتكرّر نفسها بانتظام خلال فترات زمنيّة متساوية، على سبيل المثال: حركة الأرجوحة ونبض القلب ودوران الأرض حول الشمس وغيرها. الأمواج تُعَبِّر أحيانًا عن ظواهر دوريّة. مثلًا، أمواج البحر تؤدّي إلى ارتفاع وانخفاض مستوى سطح ماء البحر بشكل دوريّ.

المفهوم المُمَيِّز لأيّ ظاهرة دوريّة هو **زمن الدورة**، إذ أنّ زمن الدورة يُعَبِّر عن الزمن الذي تستغرقه الظاهرة قيد البحث لإكمال دورة واحدة. على سبيل المثال، إذا رأيت طفلًا يتأرجح على أُرجوحته ويُكمِل دورة واحدة كلّ أربع ثوانٍ، عندها يكون زمن الدورة الواحدة أربع ثوانٍ. زمن دورة فصول السنة من الشتاء إلى الشتاء، أو من الصيف إلى الصيف هو 365 يوما، ذلك لأنّ الدورة الكاملة للأرض حول الشمس تَستَغْرِق سنة كاملة.

مُتَّبَعٌ، في كثير من الأحيان، وصف الظواهر الدوريّة بدلالة **تَردُّدِها**. التَّردُّد هو عدد المرات التي تتكرّر فيها الظاهرة نفسها خلال وحدة زمنيّة. الوحدة المُتَّبعة لقياس التردّد هي **هيرتس**. قيمة 1 هيرتس تخبرنا أنّ الظاهرة تتكرّر مرّة واحدة كلّ ثانية. إذا تَمَعَّنا الموجة الناتجة عن حركة أجنحة النحلة ومن خلال التصوير البطيء، نجد إنّ هذه الموجة وتكرّر نفسها ما يقارب الـ 130 مرّة في الثانية الواحدة. بكلمات أخرى، تردّد الموجة الناتجة عن حركة أجنحة النحلة هو 130 هيرتس. عندما تحرّك النحلة جَناحَيها بوتيرة أكبر يزداد تردّد الموجة، في حين أنّ زمن الدورة، أيّ الزمن بين تأرجحين يَصْغُر. نستنتج ممّا تقدّم أنّ العلاقة بين زمن الدورة والتردّد هي علاقة عكسيّة. هكذا نجد أنّ ازدياد التردّد يؤديّ إلى صِغَر زمن الدورة بينما يؤديّ كِبَر زمن الدورة إلى تقليل التردّد.

للتوسُّع: شبكة الكهرباء

هل تعلّم أنّ تَردُّد الجهد الكهربائيّ الذي تَتَزَوَّد به البيوت في إسرائيل هو 50 هيرتس؟ أيّ أنّ التيّار الكهربائيّ المُتَدَفِّق عَبْر شبكة الكهرباء البيتيّة يتأرجح دوريّا، أيّ أنّه يغير اتّجاه تَدَفُّقه 50 مرّة في الثانية الواحدة!

الطالبة شمس النور: هل كلّ موجة هي موجة دوريّة؟

بروفيسور أمواج الشعاع: لا، ليس بالضرورة. توجد أمواج دوريّة وتوجد أمواج غير دوريّة. على سبيل المثال، موجة حركة الأيدي في الملاعب غير دوريّة. لكن أمواج الأشعّة والتي سنتعلّمها فيما بعد، هي أمواج دوريّة غالبا، ويمكن وصفها باستعمال زمن الدورة والتَّردُّد وغيرها من الصّفات التي سنناقشها في هذا الفصل.

فعالية 4.1 زمن الدورة والتَردُّد

1) أُذكر خمس ظواهر دوريّة.
2) رَتِّب الظواهر التي ذكرتها في البند السابق وِفقًا لمقدار زمن دورتها، من القصير إلى الطويل.
3) رَتِّب هذه الظواهر وِفقًا لمقدار تردّدها، من الظاهرة ذات التردّد القليل إلى الظاهرة ذات التردّد الكبير.

4) إنّ نَبض القلب يعتبر ظاهرة دوريّة. حاول تحَسُس نَبْضك بوضع يدك على مِعْصَمِك من الداخل أو على رقبتك. قِس وسَجِّل عدد نبضات قلبك في الدقيقة الواحدة.

نتيجة هذا القياس تحدّد تَردّد نبضات قلبك.

5) بناء على قياسك في البند السابق، احسب الفترة الزمنيّة بين نبضتين متتاليتين. قس الزمن باستعمال مؤقّت زمنيّ (Stopwatch). الجواب الذي حصلت عليه هو زمن دورة نبضات القلب[12].

للتوسُّع: العلاقة الحسابية بين زمن الدورة وبين التردّد

عمليّا، بعد قياس التردّد يمكننا حساب زمن الدورة الواحدة بدون القيام بعمليّات قياس إضافية. ذلك لأنّ العلاقة بين زمن الدورة وبين التردّد هي علاقة عكسيّة:

$$\text{زمن الدورة} = \frac{1}{\text{التردُّد}}$$

مثلًا، إذا كان التردّد الذي قسناه 100 نبضة في الدقيقة، عندها يكون زمن دورة نبضة القلب 0.01 من الدقيقة!

الطالبة شمس النور: كنّا قد تعلّمنا أنّ الوحدات المستعملة لقياس التردُّد هي هيرتس والتي تُعَبِّر عن عدد المرات التي تتكرّر بها الظاهرة في الثانية الواحدة، لكنّنا هنا قسنا عدد نبضات القلب في الدقيقة. ممّا تقدّم لم أفهم ما إذا كان التردّد هو عدد مرات التِكرار في الدقيقة أم في الثانية؟

بروفيسور أمواج الشعاع: يمكن استعمال وحدات مختلفة لقياس التردّد، تمامًا كما يمكن قياس الطول بالسنتمترات وبالأمتار وبالكيلومترات.

عندما تكون الموجة دوريّة، فإنّ هذا يعني أنّ التأثير الذي يتقدّم مع الموجة سيوتكرّر على فترات زمنيّة ثابتة. عند وصول موجة صوتيّة إلى آذانّنا يهتَزُّ غشاء طبْلة الأذن بالتردّد الذي يُمَيِّز هذه الموجة الصوتيّة. لاحظ أنّه

[12] . قياس الفترة الزمنية بين نبضتين متتاليتين بشكل دقيق هو أمر صعب. لذا من الأفضل قياس الفترة الزمنية لعَشْر نبضات وقسمة النتيجة على 10. هكذا نحصل على زمن دورة النبضة الواحدة بشكل أدَق.

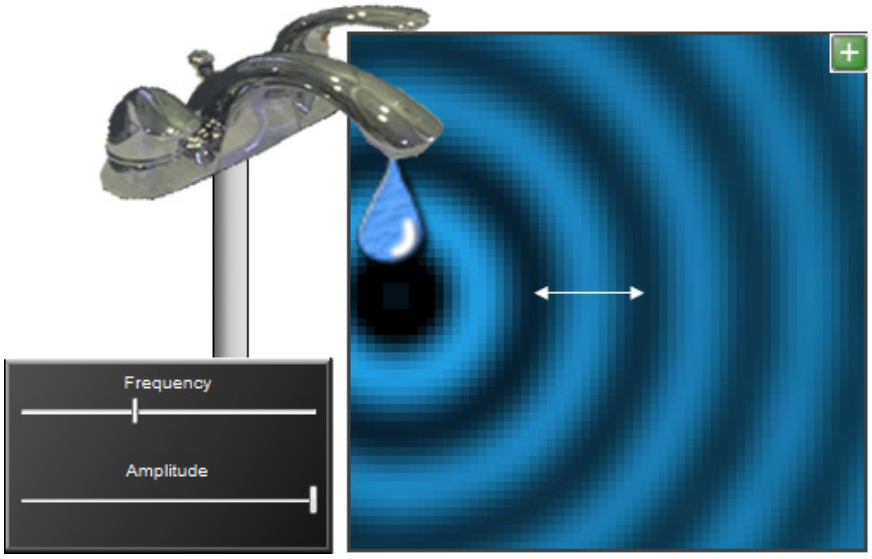
توجد أمواج صوتيّة خارج النطاق الذي يتيح لآذانّنا سماعه. فالأذن البشريّة ليست حسّاسة لوتيرة الاهتزازات العالية جدًّا ولا المنخفضة جدًّا.

للتوسُّع: الصافرات المخصّصة للكلاب

الصافرات التي تسمعها الكلاب فقط، تُحْدِث تأثيرًا – بمعنى أنّها تُسبّب تغييرات في ضغط الهواء، الأمر الذي يؤديّ إلى انضغاطٍ وانفراجٍ موضعيّ لجسيمات الهواء – في نطاق التَّردُّدات العالِية. التأثير الذي تُحدِثه هذه الصافرة يُسبّب اهتزاز غشاء طبّلة أُذُننا كما الذي تُحدثه في طبّلة أذن الكلب. مع هذا، فإنّ دماغنا غير حسّاس لمثل هذا التردّد العالي فلا نسمع شيئًا، في حين أنّ دماغ الكلب حسّاس لمثل هذه التردّدات العالية ويستطيع سماع صوت الصافرة.

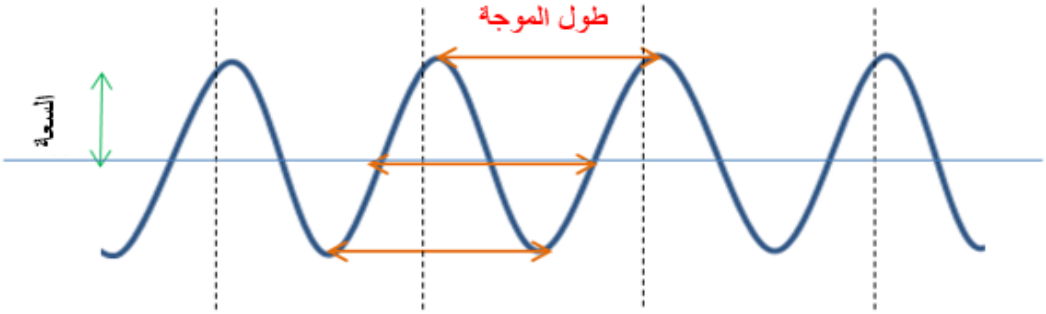
- إنّ زمن الدورة والتردُّد غير كافيين لتمييز الموجة الدوريّة.
- لذا أَمْعِن النظر في محاكاة قطرات الماء الساقطة في الحوض. يتطلّب تَشْغيل المحاكاة استعمال الحاسوب وليس الهاتف الجوّال.

https://phet.colorado.edu/en/simulation/wave-interference



صورة 4.1 صورة شاشة تعرِض محاكاة الأمواج الناتجة عن القطرات الساقطة في حوض الماء، طول الموجة مُشار إليه بسهم أبيض ذي اتّجاهين (المصدر: انظر الملحق ج)

في كلّ مرّة تسقط فيها قطرة الماء داخل الحوض يحدث تأثير، هذا التأثير يُوَلّد بدوره موجة جديدة تَنتَشِر على سطح الماء. نتيجةً لكون وتيرة سقوط قطرات الماء ثابتة فإنّنا نحصل على أمواج دوريّة. الوتيرة التي تسقط بها قطرات الماء تُحدِّد **زمن دورة الموجة**، وهذا هو الزمن الذي تستغرقه كلّ نقطة على سطح الماء لتُكمِل دورة كاملة في الارتفاع والانخفاض. انتبه أنّ المسافة بين القمم المتجاورة ثابتة. يُعرف البعد بين قِمتين متجاورتين بطول الموجة، مشار اليه في الصورة 4.1 بسهم أبيض ذي اتّجاهين. طول الموجة هي المسافة التي تتقدّمها الموجة الدوريّة خلال زمن دورة واحدة خاصيّة أخرى للموجة الدوريّة هي **السّعة أو** كبر الذبذبة. في حالة الأمواج الدوريّة على سطح الماء، تكون سّعة الموجة هي الارتفاع الأقصى الذي يصله ماء الحوض عن مستوى سطح الماء في حالة التوازن.



صورة 4.2 طول الموجة والسّعة لموجة دوريّة

ملاحظة: ليس بالضرورة أنّ يتمّ قياس طول الموجة بين قِمَّتَيْها. يمكن قياس طول الموجة أيضًا بين مُنْخَفَضين متتاليين أو بين أيّ نقطتين متماثلتين ومتتاليتين للموجة. تشير الأسهم البرتقاليّة في صورة 4.2 إلى طول الموجة.

كَرِّر تشغيل وتوقيف محاكاة قطرات الماء الساقطة مرّات عديدة. تَمَعَّن جيدًا تقدّم الموجة على سطح ماء الحوض. نرى أنّ التأثير في الموجة الدوريّة يَتقدّم مسافة مساوية لطول الموجة خلال زمن الدورة الواحدة. نفهم من ذلك أنّه إذا قلّلنا مقدار التَردُّد (Frequency)، سيزداد زمن الدورة ومعه سيزداد طول الموجة. افحص صحّة هذا الأمر بمساعدّة المحاكاة المرفقة لقطرات الماء الساقطة. النسبة بين طول الموجة وبين زمن الدورة تُعْرف باسم **سرعة انتشار الموجة**. تُعَبِّر هذه النسبة عن سرعة تقدّم التأثير الحاصل في الوسط، وهذا الأمر يعتمد على كلّ من نوعيّة الموجة قيد الدراسة (مثلًا: أهي موجة صوتيّة أم هي موجة إلكترومغناطيسيّة) ونوعيّة الوسط

الذي يتقدّم فيه التأثير. خُذ على سبيل المثال، سرعة الصوت في الهواء التي تبلغ 343 مترًا في الثانية. يُفهم من هذا الأمر أنّ الصوت يتقدّم في الثانية الواحدة مسافة قدرها 343 مترا. في المقابل، يتقدّم الضوء، الذي هو موجة إلكترومغناطيسيّة، في الهواء بسرعة قَدْرُها 300,000,000 مترًا في الثانية الواحدة، أو 300,000 كيلومتر في الثانية الواحدة. هكذا يتقدّم في كلّ ثانية مسافة قدرها 300,000 كيلومتر!!!

الطالبة شمس النور: هذه سرعة كبيرة جدًّا!

بروفيسور أمواج الشعاع: نعم، هذا صحيح جدًّا. الضوء صاحب السرعة الأكبر في الكون. إنّ سرعة الأمواج الأخرى كالأمواج الصوتيّة صغيرة جدًّا مقارنةً بسرعة الأمواج الضوئيّة. وهذا هو سبّب رُؤيتنا البرق قبل سماع صوت الرعد ... إضاءة البرق تصلنا أسرع من صوت الرعد.

للتوسُّع: سرعة انتشار الموجة في الوسط

سرعة انتشار الموجة تتعلّق في الوسط الذي تتقدّم فيه الموجة. الضوء، وهو موجة إلكترومغناطيسيّة، يتحرّك في الزجاج بسرعة تَقِل بنحو 1.5 مرّة عن سرعته في الهواء. لكن، من جهة أخرى، تردُّد الموجة الضوئيّة لا يتأثّر اطلاقًا في نوعيّة الوسط الذي يتقدّم فيه، ذلك لأنّ تردّد الموجة يعود إلى تردُّد المؤثِّر الذي وَلَّدَ الموجة الدوريّة. لهذا السبّب، يبلغ طول الموجة الضوئيّة في الزجاج أصغر بـ 1.5 مرّة من طولها في الهواء، ذلك على الرغم من أنّ تردُّد الموجة الضوئيّة في الهواء وفي الزجاج متساوٍ.

طاقة الأمواج الدوريّة

عرّفنا الموجة أنّها تأثير يَحْمِل طاقة ويَتقدّم في الوسط الموجود فيه. ما هي العلاقة بين كميّة الطاقة التي تحملها الموجة وبين المفاهيم التي تعرفنا إليها وعَرَّفناها في الفقرة السابقة: زمن الدورة والتردّد وطول الموجة والسعة؟ ولبحث العلاقة سنعود إلى محاكاة قطرات الماء[13] الساقطة في الحوض عندما تصطدم القطرة بسطح

[13] Https://phet.colorado.edu/en/ simulation/wave-interference

ماء الحوض، فإنّ القطرة تعطي الطاقة التي تحملها إلى الموجة التي تَوَلَّدت. يُمكن زيادة كميّة الطاقة التي تعطيها القطرة إلى الموجة المتولّدة بطريقتين:

أ- زيادة الشدّة التي تَصْطَدِم بها قطرات الماء الساقطة على سطح الماء. بهذه الطريقة تتولَّد على سطح ماء الحوض موجة عالية، أيّ أنّ زيادة شدّة الاصطدام تؤَدّي إلى زيادة سّعة الموجة. إنّ تَغيير السّعة (Amplitude) في المحاكاة يتيح لك التحكّم بارتفاع الموجة المُتَوَلدة.

ب- زيادة عدد قطرات الماء الساقطة في الحوض في وحدة الزمن. بهذه الطريقة نستطيع زيادة تردّد الأمواج المُتَوَلدة وتقليل زمن الدورة وتصغير طول الموجة. يمكن التحكّم في معدّل وتيرة سقوط قطرات الماء بتغيير التردّد (Frequency) في المحاكاة.

الخلاصة: *زيادة السّعة أو زيادة تردّد الموجة في الماء أو الموجة على النابض أو الموجة بالحبل تؤَدّي إلى زيادة طاقة الموجة.*

لماذا تؤَدّي زيادة التردُّد إلى تَصْغِير طول الموجة؟ هذا ما سنتعلّمه في الفعاليّة التالية.

فعالية 4.2 مُمَيِزات الأمواج – عرض وتفعيل محاكاة

1. عرض

- **الأدوات**: حبل أو نابض طويل

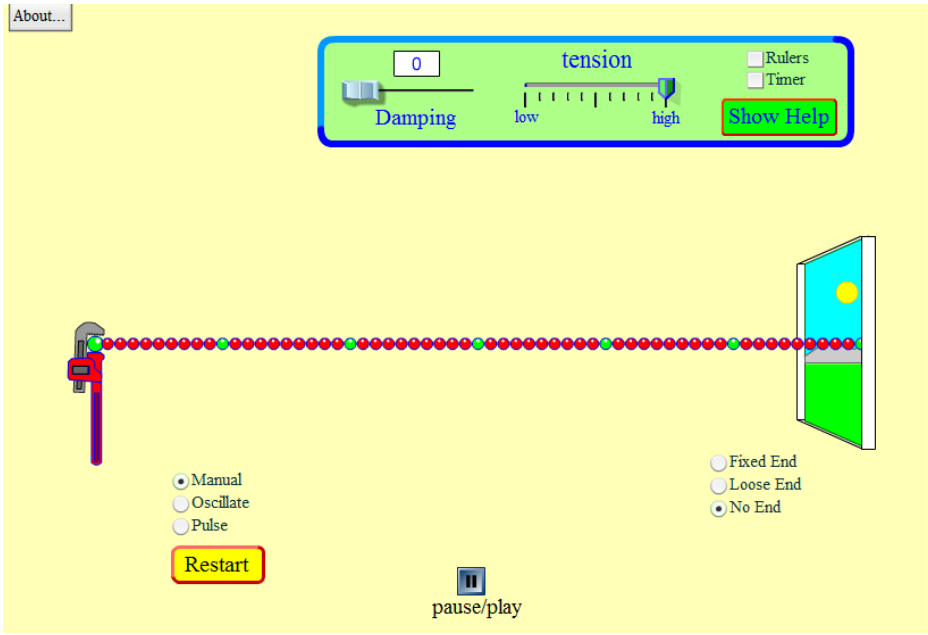
خذ حبلًا أو نابضًا طويلًا واربط أحد طرفيه بالحائط أو بالنافذة أو بالطاولة. لَوِّن مقطعا قصيرا من الحبل. امسك الحبل من طرفه الحُرّ وحَرِّكه إلى أعلى وإلى أسفل لتشكيل موجة على امتداده.

- **للمناقشة الصّفيّة:** صِف الموجة التي تَشَكَّلت على امتداد الحبل باستعمال المفاهيم التالية: اتّجاه تقدّم الموجة، اتّجاه تقدّم المنطقة التي لوَّنتَها، زمن الدورة، التردُّد، طول الموجة والطاقة.

2. استعمال المحاكاة[14]:

http://phet.colorado.edu/sims/wave-on-a-string/wave-on-a-stringen.html

شَغِّل هذه المحاكاة فقط على جهاز الحاسوب. ستظهر على الشاشة "Wiggle Wrench". هزّ السلسلة باستعمال فأر الحاسوب وشكِّل موجة تتقدّم على امتداد السلسلة. الموجة التي شَكَّلتها ستتلاشى بسبّب قوى الاحتكاك. يُمكِنُك تصفيّر قوى الاحتكاك (أي جعل قيمتها صفرًا) في المحاكاة، ذلك بتوجيه ضابط الكبح (Damping) إلى – 0 وتوجيه ضابط الشدّ (Tension) في الحبل إلى حَدِّهِ الأقصى، واخْتَر "No End" من الخيارات التي على الشاشة، وهكذا يكون طرف السلسلة الثاني مُطْلَقا.



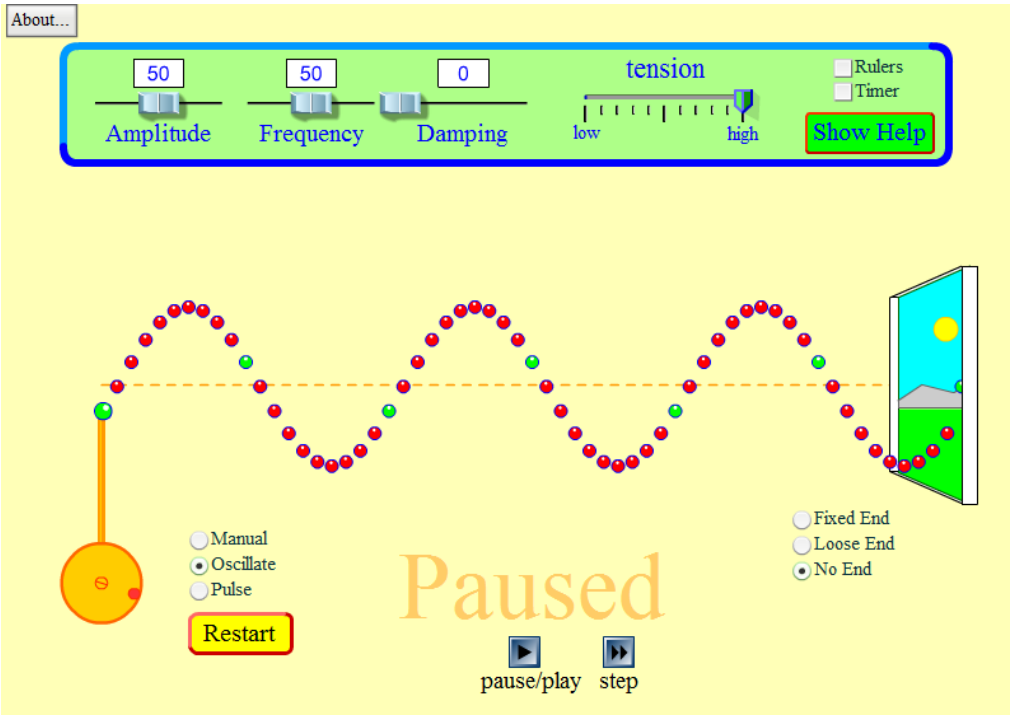
صورة 4.3 تشكيل موجة يدويًا – صورة الشاشة من المحاكاة (المصدر: أنظر ملحق جـ)

الآن، هُزّ السلسلة وشكِّل موجة

1. راقب إحدى النقاط الخضراء، وحَدِّد اتّجاه حركتها؟ هل هي إلى أعلى أم إلى أسفل أو إلى اليمن أم إلى اليسار؟
2. ما هو اتّجاه تقدّم الموجة؟

[14] PhET Interactive Simulations, University of Colorado, Boulder, https://phet.colorado.edu

أوقف الذبذبة (Pause)، واختْرْ وَضعَ التذبذب (Oscillate)، ثمّ أَعِد تشغيل المحاكاة (Restart). بهذا الوضع ستتذبذب السلسلة تلقائيًا:



صورة 4.4 تشكيل موجة دوريّة باستعمال المحاكاة (المصدر: أنظر ملحق جـ)

في هذا الوضع، سيظهر في أعلى الشاشة، ميزات إضافيّة للأمواج قابلة للتغيير:

- السّعة (Amplitude) – عُلو الذبذبات
- التردُّد (Frequency) – عدد الذبذبات في الثانية الواحدة

ثَبِّت السّعة (Amplitude) على القيمة 50 وغَيِّر التردُّد (Frequency).

- **اهتمّ قبل أيّ تغيير** أنّ توقف المحاكاة (pause)، بعد ذلك أعط القيم الجديدة (Amplitude; Frequency وغيرِها) وفقط بعد الانتهاء من التغييرات شغِّل المحاكاة (restart).

3. كيف يتغيَّر شكل الموجة مع زيادة التردُّد؟
4. هل سيتغيَّر طول الموجة مع زيادة التردُّد؟ إذا كان الجواب إيجابيّا، فما هو التغيير؟

5. مع زيادة التردّد، تزداد أيضًا الطاقة التي تحملها الموجة معها. حيث أنّ التذبذب بسرعة أكبر يتطلّب بَذْلَ طاقة أكبر، وهذه الطاقة هي التي تُمَرِرها الموجة. نستخلص إذًا، أنّ الطاقة الكبيرة ملائمة (أحط الإجابة الصحيّحة في كلّ بند):

أ- لتردُّد مُنخفض / عال

ب- لطول موجة صغير / كبير

ج- لزمن دورة صغير / طويل

الطالبة شمس النور: كيف يرتَبط طول الموجة بالطاقة التي تحملها الموجة؟

بروفيسور أمواج الشعاع: تعلّمنا أنّ الأمواج ذات التردُّد العالي تحمل معها طاقة كبيرة. من جهة أخرى، طول الموجة يَصْغُر كلما ازداد التَردُّد، لذا فإنّ الأمواج التي طول موجتها قصير تكون غنيَّة جدًّا بالطاقة. يمكن تفسير العلاقة التي تربط بين التردّد وطول الموجة باستعمال مفهوم سرعة الموجة، كالتالي: طول الموجة هو البعد الذي تقطعه الموجة خلال زمن الدورة الواحدة، أيّ انّه حاصل ضرب سرعة تقدّم الموجة بزمن الدورة. إنّ زيادة تردّد الموجة تُؤدّي الى تصغير زمن الدورة، هكذا يصغُر أيضًا البعد الذي تقطعه الموجة خلال زمن دورة واحدة.

6. الآن أبقوا على تردّد ثابت غيّروا سّعة الموجة (Amplitude)، هل سيتغَيَّر طول الموجة مع كِبَر السعة؟

7. كيف سيتغيَّر مقدار الطاقة التي تحملها الموجة مع كِبَر سعتها؟

ملخّص الفصل

- المفاهيم التالية تميّز الموجة الدوريّة:
  - زمن الدورة – هو الفترة الزمنيّة التي تُكْمِل بها الظاهرة الدوريّة دورة واحدة.
  - تردُّد الموجة – هو عدد الدورات التي تحدثها الموجة خلال وحدة زمنيّة واحدة.
  - طول الموجة – هو البعد الذي تقطعُه الموجة خلال زمن دورة واحدة، مثلًا هذا هو البعد بين قِمَّتين متجاورتين للموجة.

- سرعة تقدّم الموجة – هي السرعة التي يَتقدّم بها التأثير في الوسط، وهذه السرعة هي النسبة بين طول الموجة ومقدار زمن الدورة.

- عندما نتحدث عن الأمواج الدوريّة على امتداد الحبل أو على سطح الماء أو في النابض، فإنّ تردّد الموجة وسعتها يحدّدان طاقة الموجة.
  - مفهوم التردّد العالي، يعني أنّ طول الموجة قصير ويُفهم من هذا أنّ الطاقة كبيرة.
  - مفهوم السّعة الكبيرة، يعني أنّ الطاقة كبيرة.

فعالية 4.3 الفحص الذاتي – الفصول 2 - 4

1. أيّ من الظواهر التالية هي أمواج في المفهوم العلّميّ؟

أ. الأمواج المائيّة
ب. الأمواج الصوتيّة
ج. الأمواج الحراريّة
د. الإجابتان (أ) وَ- (ب) صحيّحتان

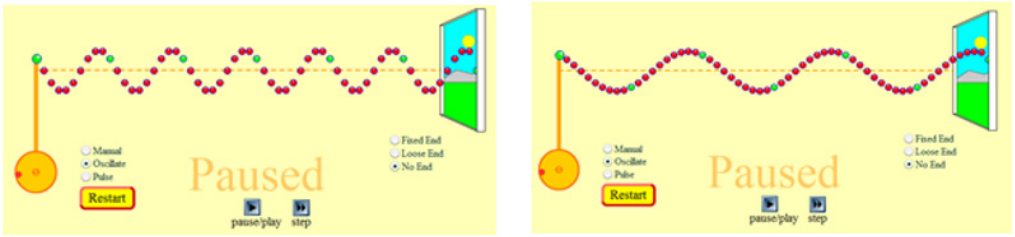
2. من هو الأسرع؟

أ. الفهد - التشيتا
ب. الموجة الصوتيّة
ج. الموجة الضوئيّة
د. العدّاء الأولمبيّ يوسين بولط

3. عند زيادة شدّة الموسيقى التي نسمعها، فإنّنا نزيد من:

أ. سّعة الموجة الصوتيّة وطاقتها
ب. تردّد الموجة الصوتيّة وطاقتها
ج. زمن دورة الموجة الصوتيّة
د. سرعة تقدّم الموجة الصوتيّة

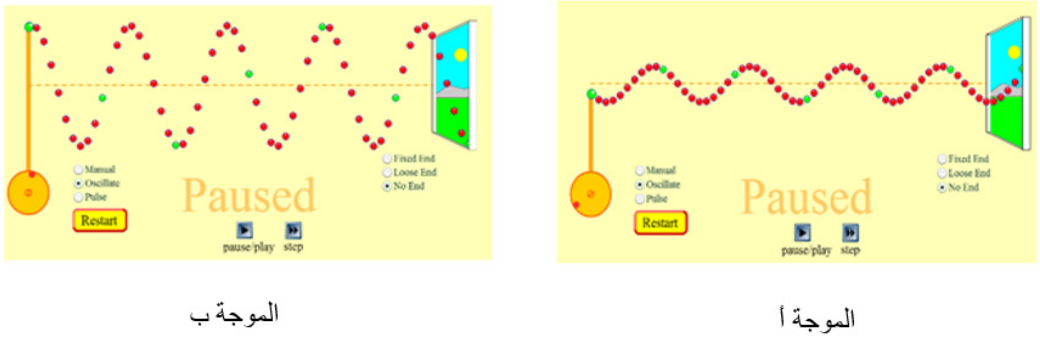
4. نرى في صورة 4.5 التي أمامك موجتين (أ) وَ- (ب). ما هو الصحيّح؟



صورة 4.5 أمواج السلسة (مصدر: أنظر الملحق جـ)

أ. طول الموجة (أ) وتردّدها أكبر من الموجة (ب)
ب. طول الموجة (أ) وتردّدها أصغر من الموجة (ب)
ج. طول الموجة (أ) أكبر من طول الموجة (ب) لكن تردّدها أصغر
د. طول الموجة (أ) أصغر من طول الموجة (ب) لكن تردّدها أكبر

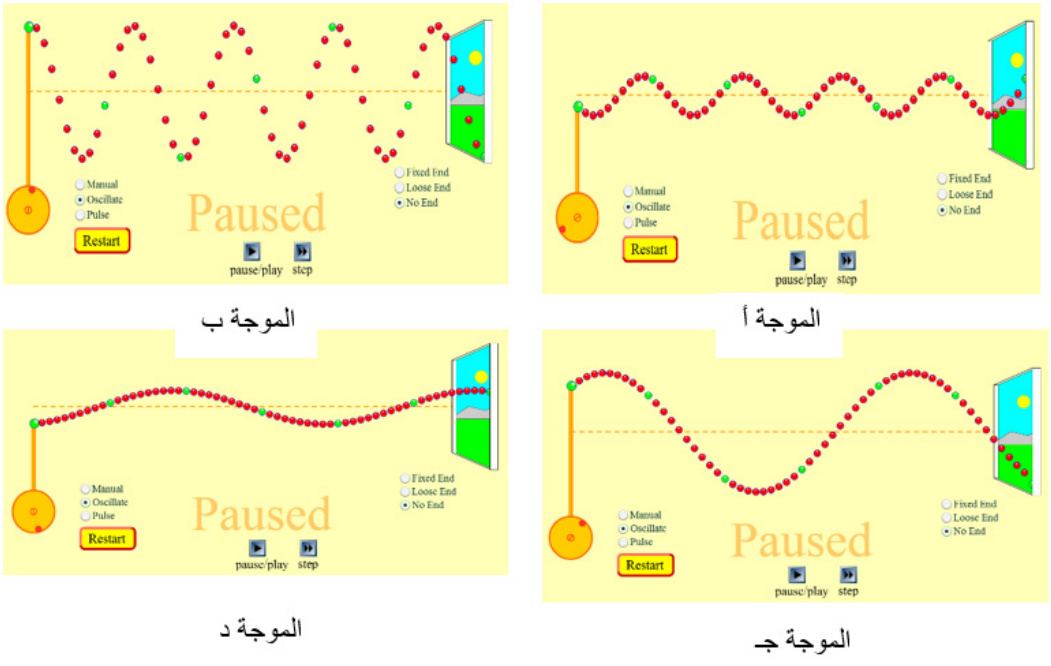
5. نرى في صورة 4.6 التي أمامك موجتين (أ) وَ- (ب). ما هو الصحيّح؟



صورة 4.6 أمواج السلسة (مصدر: أنظر الملحق جـ)

أ. طول الموجة (أ) وسعتها أكبر من الموجة (ب)
ب. طول الموجة (أ) أصغر من طول الموجة (ب) لكن سِعَتَيهما متساويتان
ج. سّعة الموجة (أ) أصغر من سّعة الموجة (ب) لكن طول موجَتَيهما متساو
د. طول الموجة (أ) أصغر من طول الموجة (ب) لكن سِعتها أكبر

6. أيّ موجة من الأمواج التالية تحمل طاقة أكبر؟



صورة 4.7 أمواج السلسة (مصدر: أنظر الملحق جـ)

الفصل 5: الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة

الأسئلة التي يمكنك الإجابة عنها بعد تعلّم هذا الفصل:

- هل من الممكن إضاءة مصباح توهُّج بدون توصيله مع بطارية أو مع شبكة الكهرباء؟
- أين يُفضَّل وضع جهاز التوجيه اللاسلكيّ (Router) في المنزل؟
- هل قاعدّة الهاتف اللاسلكيّ مشعّ؟

المصطلحات الأساسيّة التي سنتناولها في هذا الفصل:

المجال الكهربائيّ، والمجال المغناطيسيّ، والموجة الإلكترومغناطيسيّة، والأشعّة الإلكترومغناطيسيّة، وقياس الأشعّة، ومعايير التعَرُّض للأشعّة

إنّ الأشعّة التي تعلّمتم عنها في الفصل الأوّل هي نوع من الأمواج، أيّ أنّ التأثير هنا يتقدّم في الفضاء. التأثير في الموجة الميكانيكيّة يتقدّم في النابض وهو ذبذبة النابض. لكن في المقابل، في أمواج الأشعّة، فإنّ التأثير هو التغيير في المجالين الكهربائيّ والمغناطيسيّ، لذا تُسمّى أمواج الأشعّة بالأمواج الإلكترومغناطيسيّة.

عندما تُطْلِق الهوائيّات أمواجًا، نقول أنّها "مشعّة". الضوء المرئيّ وأشعّة الميكروويف وأشعّة بثّ هوائيّات الهواتف الخلويّة وجميع أمثلة الأشعّة الأخرى، التي سبق ذكرها في الفصل 1، جميعها أمثلة لأمواج إلكترومغناطيسيّة. وهي تُمَثِّل ظواهر متنوّعة، وبجميعها يكون التأثير المتقدّم وحاملًا معه الطاقة هو التغيير في المجالين الكهربائيّ والمغناطيسيّ.

ما هو المجال الكهربائيّ؟ ما هو المجال المغناطيسيّ؟

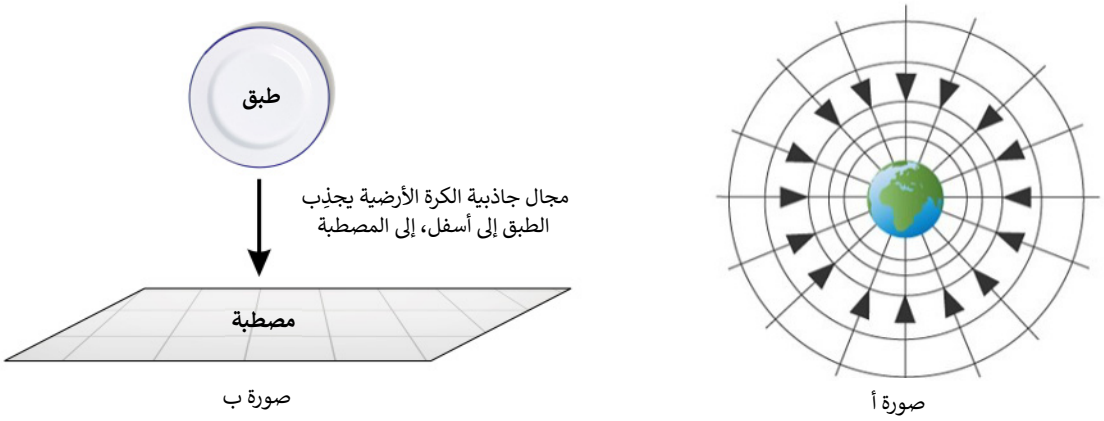
إن مفهوم كلمة "مجال (حقل)" في الفيزياء يختلف عن مفهومها في الحياة اليوميّة. في لغتنا اليوميّة، عندما نقول حقلًا (مجال)، نعني الأرض التي تزرع فيها المحاصيل. مع هذا، فقد أوجَدَ علماء الفيزياء مفهومًا آخر لكلمة مجال[15]، وذلك لفهم وتفسير كيف أنّ الأجسام غير المُتَّصِلة مع بعضها، يمكن أنّ تؤثّر بقوى فيما بينها. هكذا

[15] . هنا في هذا الكتاب سنعتمد مفهوم "المجال".

يكون **المجال هو الكيان الذي يؤَثّر بقوة.** *الجسم الأوّل يُنْشئ مجالاً، والمجال يُؤثّر بقوّة على الجسم الثاني الموجود في هذا المجال.* فيما يلي بعض الأمثلة:

مجال الجاذبيّة: إذا رفعنا طَبَقًا في الهواء وتركناه فإنّه يسقط مباشرة. يمكن فَهم هذه التجربة علّميًّا على هذا النحو: أنشأَت الكرة الأرضيّة، بسبّب كتلتها الكبيرة، مجال جاذبيّة حولها. هذا المجال يؤَثّر على الأجسام الموجودة فيه بقوّة الجاذبيّة. هكذا نفهم أنّ الطبّق قد تأثّر بقوّة مجال الجاذبيّة الذي أنْشَأَته الكرة الأرضيّة الأمر الذي أدّى إلى سقوطه.

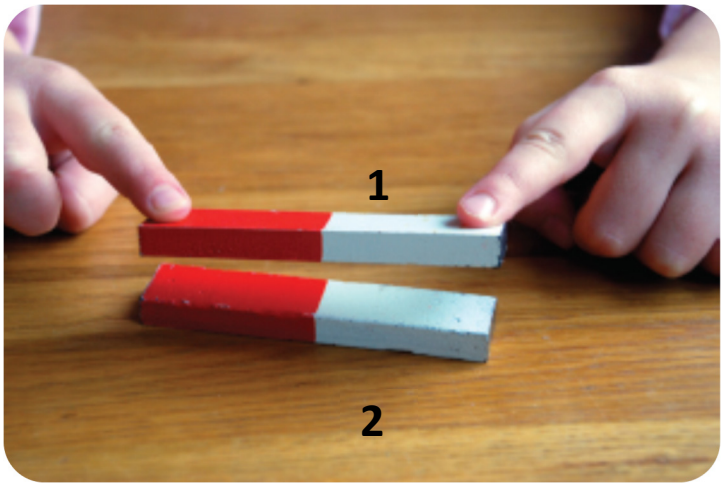
مجال الجاذبيّة الذي أنْشَأَته الكرة الأرضيّة هو الذي يُبْقينا على سطح الأرض وهو الذي يَمْنَعُنا من التحليق في الجو. إذا ابتعدت عن الكرة الأرضيّة فإنّ تأثير مجال الجاذبيّة يَضْعُف، ممّا يتيح لنا التحليق في الفضاء الخارجيّ.



صورة 5.1

أ- الكره الأرضية أنشأَت حولها مجال جاذبية، تُسَمى الأسهم في الشكل بخطوط المجال وهي مُتَّجهة باتجاه قوة الجاذبية التي تؤَثّر بها الأرض
ب- الطبق الذي تركناه يسقط في منطقة يسود بها مجال جاذبية، تُؤَثّر عليه قوة الجاذبية التي أدّت إلى سقوطه (المصدر: أنظر الملحق جـ).

المجال المغناطيسيّ: خذ مغناطيسيْن وقرّبهما من بعض دون اتّصال بينهما، ستَشْعُر بهذا الوضع سريعًا أنّ كلّ مغناطيس يُشْغِل قوّة جذب أو قوّة تنافر على المغناطيس الآخر. يوصف هذا الوضع علّميًّا كالتالي: إنّ كلّ واحد من المغناطيسيّن قد أنشَأ مجالًا مغناطيسيّا خاصا به. عندما يدخل مغناطيس إلى منطقة يسود بها مجال مغناطيسيّ تمّ إنشاؤه بواسطة مغناطيس آخر، ستؤثّر عليه قوّة مغناطيسيّة من المغناطيس الآخر.



صورة 5.2 تؤثّر قوى بين المغناطيسَين. إنّ اقتراب المغناطيس الأوّل من الثاني، سيؤدّي إلى تشغيل قوّة ستؤدّي إلى تحريكه (المصدر: أنظر الملحق جـ).

المجال الكهربائيّ: في الطقس الجّاف، وأثناء تَزَلُّج الأطفال على الزلاجة البلاستيكيّة، ينْتَصب شعرهم، لماذا؟ إنّ الاحتكاك مع الزلّاجة ينتزِع الشحنات الكهربائيّة السالبة (الإلكترونات) من راكب الزلاجة وينقلها إلى الزلّاجة نفسها. نتيجة لذلك، يُشْحَن الطفل بشحنة كهربائيّة موجبة وحول كلّ شعرة في رأسه، المشحونة بشحنة موجبة، يتولَّد مجال كهربائيّ يَطرُد الشحنات الموجبة. أيّ أنّ كلّ شعرة تكون قد تأثَّرت بالمجال الكهربائيّ الذي وَلَّدَتْه بقيّة الشعرات، هكذا تؤثّر على هذه الشعرة قوّة كهربائيّة تُبْعِدُها عن باقي الشعرات. يحدث معكم مثل هذا الأمر عند تمشيط شعركم في يوم خماسينيّ، حيث أنّ المشط يقْتَلِع الشحنات الكهربائيّة من الشّعر، وهذا يؤديّ إلى شحن الشعرات بشحنات من نفس النوع الأمر الذي يؤديّ إلى حدوث تنافر بين الشعرات.

صورة 5.3 تنتصب شعرات الطفل المُتَزَلج على الزلاجة بسبّب الكهرباء الساكنة (المصدر: أنظر الملحق جـ)

من الجدير ذكره هنا أنّ المجال ليس كيانًا ماديًا. يمكن أنّ تتواجَد مجالات الجاذبيّة والمجالات الكهربائيّة والمجالات المغناطيسيّة في منطقة فارغة تمامًا من أيّ شيء كان، كما هو الحال في الفضاء الخارجيّ.

الخلاصة: في جميع الظواهر التي وصفناها في هذا الفصل، أنشَأَ أحد الأجسام مجالًا حوله والأجسام الأخرى الموجودة في منطقة المجال تأثّرت به. هكذا وصفنا القوّة التي تعمل بين الأجسام والتي لا تلمس بعضها البعض. الكرة الأرضيّة أنْشَأَت مجال الجاذبيّة الذي أثّر على الطبّق وأدّى إلى سقوطه، بينما أنْشَأَ أحد المغانط مجالًا مغناطيسيًا الأمر الذي سبّب جذب أو تنافر مع مغناطيس آخر، في حين أنّ الشعر المشحون أنشَأَ مجالًا كهربائيًّا فجعل الشعرات المشحونة تنفر من بعضها البعض.

فعالية 5.1 المجالات في الحياة اليوميّة

يُمكن استعمال المجالات في وصف ظواهر عديدة، على سبيل المثال:

- الإبرة المغناطيسيّة في البوصلة تشير إلى اتّجاه الشمال
- على سطح الكرة الأرضيّة يقف الناس على أرجلهم ولا "يحلقون" كما هو الحال في الفضاء.
- أثناء اغلاق باب السيارة بعد سفر طويل في الأيام الخمسينيّة، نشعر بنوع من التَكَهْرُب البسيط.

اختر إحدى الظواهر وفسِّرها:

1. ما هو نوع المجال؟ أهو مجال الجاذبيّة / كهربائيّة / مغناطيسيّة)؟
2. من أنشأَ المجال؟
3. على من يُؤَثِّر؟

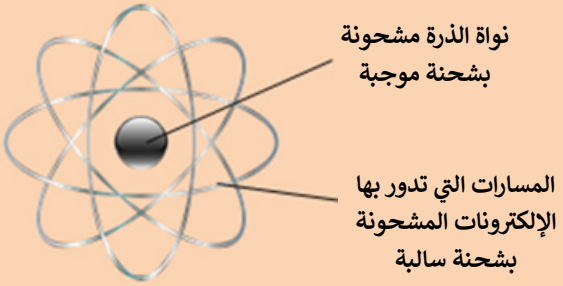
عندما نضع مروحة أمام الرياح، فإنّ المروحة ستدور. هل صحيّح القَوْل أنّ السبّب في دوران المروحة هو المجال الذي أنشأته الرياح؟ علّل!

للتذكير: ما هي الشحنة الكهربائيّة؟ وما هو التيّار الكهربائيّ؟

يتكوّن عالمنا من جُسَيمات مشحونة بشحنات كهربائيّة. تعمل بين هذه الشحنات قوى تجاذب أو قوى تنافر.

يمكن للشحنة الكهربائيّة أنّ تكون موجبة أو سالبة. الشحنات من نفس النوع (+، +، وَ - - - -) تتنافر من بعضها البعض، في حين أنّ الشحنات مختلفة الشحنة (+ وّ -) تجذب بعضها البعض. تتكوّن الذرّات والتي هي الوحدات الهيكليّة

الأساسيّة التي تتكوَّن منها جميع الموادّ، من أنْوِية مشحونة بشحنة كهربائيّة موجبة ومن حولها تدور الإلكترونات المشحونة بشحنة كهربائيّة سالبة.



صورة 5.4 إلكترونات تدور حول نواة الذرة (المصدر: أنظر الملحق جـ)

ينتج التيّار الكهربائيّ غالبًا من حركة الإلكترونات بين الذرّات. عند بناء دائرة كهربائيّة من أسلاك موصلة ونصِلها مع مصدر كهربائيّ مثل البطارية، تتحرّك الإلكترونات من ذرة إلى أخرى على امتداد طول السلك وتُكَوِّن تيّارًا كهربائيًّا.

الطالبة شمس النور: فهمت أنّ الأجهزة التي تُطْلق الأشعّة تعتمد في تشغيلها على التيّارات الكهربائيّة المتغيّرة، لذا من المنطق أنّ يرتبط انطلاق الأشعّة في المجالين الكهربائيّ والمغناطيسيّ. لكن، ما هو الأمر بالنسبة لأشعّة الشمس؟ حيث أنّ الشمس ليست جهازًا كهربائيًّا...

بروفيسور أمواج الشعاع: نعم صحيّح، الشمس ليست جهازًا كهربائيًّا، لكن الضوء المنطلق من الشمس هو عمليّا أشعّة إلكترومغناطيسيّة. تُطلق الأجسام الساخنة للمنطقة المحيطة طاقة على شكل أشعّة شبيهة للأشعّة المنطلقة من الأجهزة الكهربائيّة. تتوَلَّد عن الأجسام الساخنة كالشمس أمواج مُتَذَبذبة للمجالين الكهربائيّ والمغناطيسيّ.

مقارنة بين الأمواج الإلكترومغناطيسيّة والأمواج الميكانيكيّة

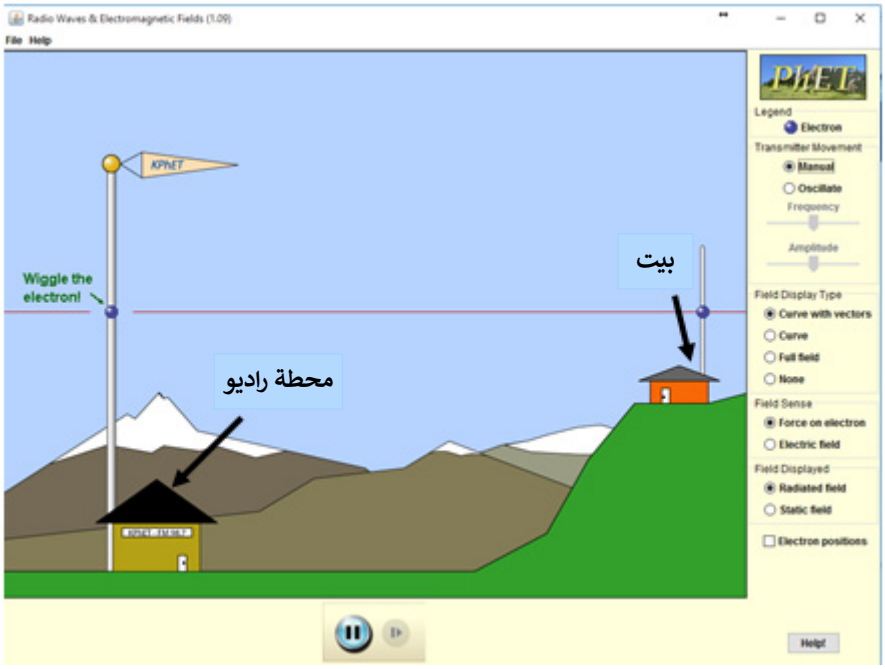
فعالية 5.2 استعمال المحاكاة - الأمواج الإلكترومغناطيسيّة والأمواج الميكانيكيّة

لقد تعلّمنا أنّ أمواج الأشعّة هي أمواج إلكترومغناطيسيّة وأنّ التأثير الذي يتقدّم في الفضاء هو ذبذبة المجالين الكهربائيّ والمغناطيسيّ. سنوضّح ذلك باستخدام محاكاة الحاسوب التالية:

شَغِّل محاكاة الأمواج الإلكترومغناطيسيّة المحوسبة[16]. ولا تستخدم الهاتف المحمول.

https://phet.colorado.edu/en/simulation/radio-waves

تظهر في الصورة 5.5 محطّة إذاعة وهمية 98.7 FM[17] تَبُثُّ عبر الهوائيّ الموجود على جانب الصورة الأيسر. تتقدّم الأمواج الإلكترومغناطيسيّة من الهوائيّ إلى المنزل (على جانب الصورة الأيمن)، حيث يتمّ تركيب الهوائيّ الذي يستقبل البثّ من الراديو. يُشير الخطّ الأحمر الأفقي بين هوائيّ الإرسال وهوائيّ الاستقبال إلى الوضع الذي تمّ فيه تصفيّر موجة الأشعّة، أيّ أنّه لا يوجد على هذا الخطّ مجال كهربائيّ ولا مجال ومغناطيسيّ.

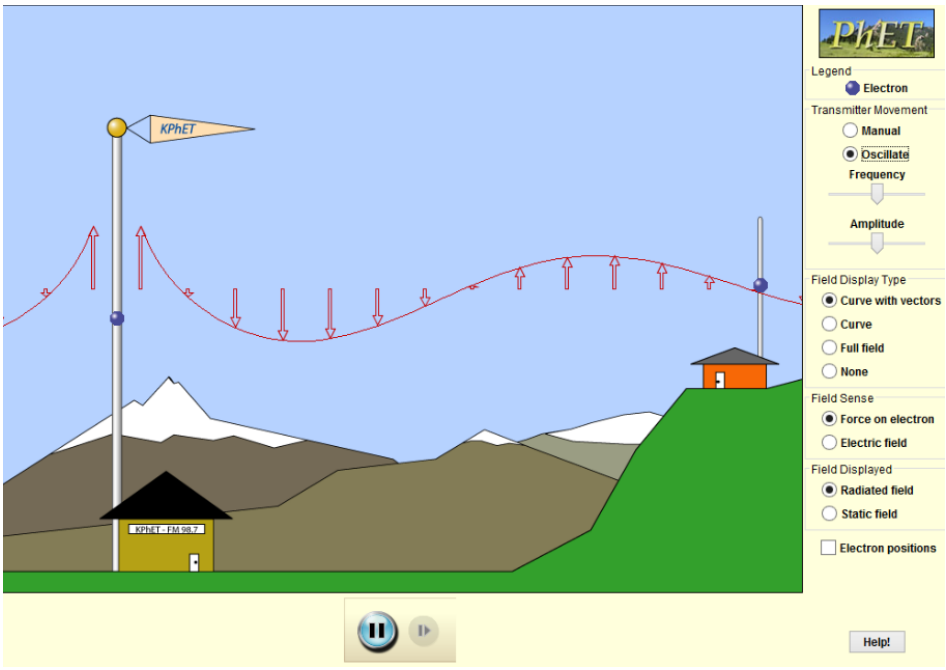


صورة 5.5 هوائيّ لمحطّة البثّ، صورة لشاشة الحاسوب من المحاكاة (المصدر: أنظر الملحق جـ)

[16]. PhET Interactive Simulations, University of Colorado, Boulder, https://phet.colorado.edu

[17]. يُشير الرمز 98.7 FM تردد الأشعة الذي يتمّ خلاله إرسال بثّ المحطة. أي أنّ المحطة التي رمزها FM98.7 تنقل إرسالها بواسطة أشعة إلكترومغناطيسية بتَردد قدره 98.7 ميغا هيرتس (ملايين هيرتس).

يمكنك تمرير التيّار الكهربائيّ في المحاكاة عن طريق ذبذبة الإلكترون يدويًا أو عن طريق اختيّار مفتاح التذبذب (Oscillate) الموجود على جانب الشاشة الأيمن. عند مرور تيّار كهربائيّ عَبْر الهوائيّ، تَتَوَلَّد أمواج أشعّة يتحرّك قسم منها نحو المنزل. تقوم الأشعّة التي تصل هوائيّ المنزل بإنشاء تيّار كهربائيّ. في هذه الحالة، يوصَف مقدار واتّجاه المجال الكهربائيّ في كلّ نقطة بِسَهم أحمر أجوف، بينما يصف الخطّ الأحمر كِبَر المجال كدالة للمكان. انظر صورة 5.6.



صورة 5.6 انتاج موجة إلكترومغناطيسيّة، صورة لشاشة الحاسوب من المحاكاة (المصدر: أنظر الملحق جـ)

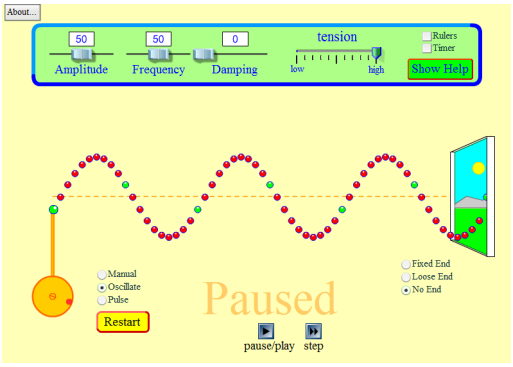
الهوائيّ يَبُثّ لجميع الاتّجاهات. لتوضيح عمليّة استقبال الأشعّة في البيت، تُظْهِر لنا المحاكاة فقط اتّجاه تقدّمها من الهوائيّ إلى البيت. الموجة الإلكترومغناطيسيّة تَتَكَوَّن مجالات كهربائيّة ومغناطيسيّة متذبذبة. من أجل البساطة، تُظْهِر لنا المحاكاة فقط المجال الكهربائيّ ذلك لتبسيط الأمور

اختر إمكانيّة التذبذب (Oscillate). هنا بإمكانك تحديد تردّد الموجة (Frequency) وسَعَتها (Amplitude).

1. أيّ من المتغيّرين (التردّد/السعة) يؤَثّر على طول الموجة؟
2. كيف يتمّ توليد موجة طول موجتها قصير باستعمال المحاكاة؟
3. كيف يتمّ توليد موجة تحمل طاقة كبيرة من محطّة الإرسال إلى البيت؟ وَضّح.
4. يوجد تشابه بصريّ بين محاكاة الأمواج الإلكترومغناطيسيّة التي استعملناها هنا وبين أمواج السلسلة التي في الفصل السابق.

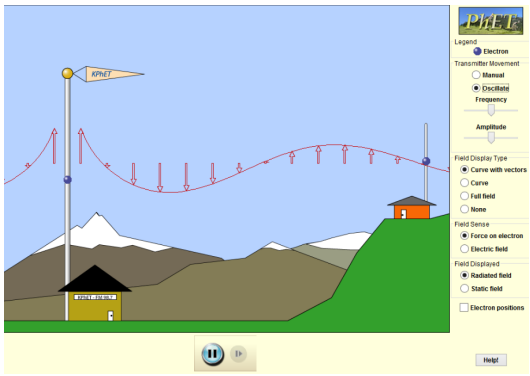
شغِّل هاتين المحاكاتين جنبًا إلى جنب وتَفَحَّصْهُما جيدًا. قارن بين وَصْف الفعاليّات والمفاهيم في محاكاة الأمواج الميكانيكيّة على امتداد السلسلة وبين وصْف الفعاليّات والمفاهيم المقابلة لها في محاكاة الأمواج الإلكترومغناطيسيّة.

أمواج بالسلسلة[18]



- حرك السلسلة
- هزّ السلسلة بوتيرة ثابتة باستعمال المُذبذب.
- الصعود والهبوط بارتفاع السلسلة.
- التأثير الذي يتقدّم هو التغيير بارتفاع السلسلة بالنسبة لارتفاع وضع الاتزان.

أمواج إلكترومغناطيسيّة[19]



- تَتذبذب الإلكترونات بتردّد ثابت مع إنشاء تأثير دوريّ.
- الصعود والهبوط بشدّة المجال الإلكترومغناطيسيّ
- التأثير الذي يتقدّم هو التغيير في المجالات الإلكترومغناطيسيّة.
- تذبذب إلكترونات الهوائيّ يدويًا لتوليد تيّار كهربائيّ متغيِّر، أيّ إنشاء تأثير لمرّة واحدة.

انتبه انّه **لا توجد دائمًا علاقة تشابه**. السلسلة هي الوسط الذي تنتقل فيه الأمواج الميكانيكيّة. بدون استعمال السلسلة، لا نستطيع إنشاء الأمواج الميكانيكيّة وهذه الأمواج ليس باستطاعتها المرور من مكان إلى آخر. لكن في المقابل، نجد أنّ الأمواج الإلكترومغناطيسيّة ليست بحاجة إلى وسط لتتقدّم فيه. تستطيع الأمواج الإلكترومغناطيسيّة الحركة في الفراغ أيضًا. تتقدّم أمواج السلسلة فقط على امتداد السلسلة بينما تنطلق الأمواج الإلكترومغناطيسيّة من الهوائيّ مباشرة في جميع الاتّجاهات.

الطالبة شمس النور: عندما نَهُز السلسلة، أفهم أنّ الشدّ في السلسلة سيؤدّي إلى تذبذب أجزاء السلسلة الأخرى ومعه ستنتقل الطاقة على امتداد السلسلة على شكل موجة.

[18] http://phet.colorado.edu/sims/wave-on-a-string/wave-on-a-string_en.html
[19] https://phet.colorado.edu/en/simulation/radio-waves

أمّا في حالة الموجة الإلكترومغناطيسيّة فإنّ الموضوع أقلّ وضوحًا. لم أفهم ما الذي يُسبّب تقدّم الموجة من التيّار الكهربائيّ المُتَغيِّر إلى المنطقة المحيطة به؟ هل تقدّم الموجة الإلكترومغناطيسيّة يكون فقط على خطّ مستقيم (كما رُسِمَ في المحاكاة) أم يتقدّم في جميع الاتّجاهات؟

بروفيسور أمواج الشعاع: إنّ ظاهرة الأمواج الإلكترومغناطيسيّة أكثر تعقيدًا من ظاهرة الأمواج الميكانيكيّة، وأنّ تفسير النظام الذي بِموجبه تتقدّم الموجة الإلكترومغناطيسيّة، يعتمد على معرفة بالفيزياء خارج نطاق هذا الكتاب.

رأينا في المحاكاة المحوسبة تقدّم الموجة مباشرة من الهوائيّ إلى البيت. لكننا نعلّم أنّ هوائيّ محطّة البثّ يَبِثُّ إلى جميع الاتّجاهات، ذلك لاستقبال أمواج البثّ في جميع البيوت الواقعة في مناطق مختلفة حول محطّة البثّ. أيضًا في الجبال المغطاة بالثلوج الموجودة في المحاكاة. يتمّ استقبال بث الهوائيّات، وذلك لأنّ بثّ الأمواج يرسل باتّجاهها. لصعوبة رسم موجات تتحرّك في جميع الاتّجاهات، قاموا في العرض فقط برسم الموجة القادمة من الهوائيّ نحو المنزل.

الطالبة شمس النور: هناك شيء آخر لا أفهمه. تعلّمنا أنّه في الأمواج الإلكترومغناطيسيّة تتذبذب مجالات كهربائيّة وأيضًا مغناطيسيّة، بينما نلحظ في المحاكاة في الفعاليّة 5.2 فقط وجود تيّارات ومجالات كهربائيّة.

بروفيسور أمواج الشعاع: صدقت، ففي أمواج الأشعّة الموصوفة في المحاكاة يوجد أيضًا مجال مغناطيسيّ. إلا أنّ مصممي المحاكاةِ اختاروا عدم عرضها على الشاشة. تقوم التيّارات الكهربائيّة دائما بإنشاءِ مجالات مغناطيسيّةٍ حولها. إذا قرّبنا، وعلى سبيل التوضيح، بوصلة من سلك مشحون، نرى أنّ إبرة البوصلة تتحرّك تحت تأثير المجال المغناطيسيّ الذي وَلَّده التيّار في السلك. كذلك الأمر بالنسبة للمغناطيس العادي، الذي يلتصِق بالثلاجة، فإنّ مجاله المغناطيسيّ نَاتج عن التيّار الكهربائيّ.

المغناطيس هو مادّة يتمّ فيها تنسيق حركة الإلكترونات حول أنوية الذرّات حيث تُنتج التيّارات الإلكترونيّة مجتمعة مجالًا مغناطيسيّا في اتّجاه واحد.

الطالبة شمس النور: إذًا المغناطيس يُوَلِّد مجالًا مغناطيسيّا. فهل هذا يعني أنّ كلّ مغناطيس هو مصدر للأمواج الإلكترومغناطيسيّة؟

بروفيسور أمواج الشعاع: كلا، إنّ الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة هي عبارة عن موجات متذبذبة من المجالات الكهربائيّة والمغناطيسيّة، أيّ أنّها تتغيّر مع مرور الزمن، بينما يُوَلِّد المغناطيس مجالًا مغنطيسيًا ثابتًا مع الزمن. التيّارات الكهربائيّة المتغيّرة مع الزمن تُوَلِّد حولها مجالات كهربائيّة ومغناطيسيّة متذبذبة، لذا تكون مصدرًا للأشعّة.

للتوسّع: هل أمواج البثّ الراديويّ التي نسمعها هي أمواج صوتيّة أم هي أمواج إلكترومغناطيسيّة

يتكلّم المذيع في محطّة الراديو والميكرفون يُترجم صوت المذيع ذو **الأمواج الصوتيّة** إلى تيّارات كهربائيّة، والتي يتمّ بثُّها إلى جميع أنحاء البلاد على شكل **أمواج إلكترومغناطيسيّة**. عندما تصطدم الموجة بهوائيّ جهاز الراديو (جهاز الاستقبال)، تتولّد فيه تيّارات كهربائيّة يُترجمها مكبّر الصوت إلى **أمواج صوتيّة**.

فعالية 5.3 مصباح التوَهُّج في الميكروويف

تعلّمنا أنّ أشعّة الموجة هي في الواقع اهتزاز المجالات الإلكترومغناطيسيّة. لتجسيد هذا الأمر، سنُقَدِّم تجربة تُوضّح كيف يمكن للأشعّة توليد تيّار كهربائيّ وإضاءة مصباح كهربائيّ. لإجراء هذه التجربة يلزمنا مصباح تَوَهج. عندما يمرّ التيّار الكهربائيّ عبر سلك التوَهُّج يتوَهَّج السلك ويضيء المصباح.

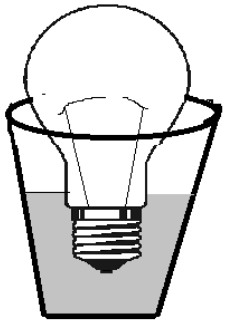
الأدوات اللازمة:

1. فرن ميكروويف
2. مصباح تَوَهّج، يمكن أنّ نستعمل هنا أيضًا مصباحًا نفَذَت صلاحيته "محروق"، ذلك إذا لم يتمّ إخراج سلك التوهج الساخن منه تمامًا
3. كوب من الماء

ضَع المصباح في كوب الماء حتّى يُغَطي الماء قاعدّة المصباح، تمامًا كما يَظْهَر في الصورة 5.7، ثمّ أَدخل كوب الماء وفيه المصباح في فرنّ الميكروويف. شَغِّل فرنّ الميكروويف لمدة 10 ثوانٍ تقريبًا.

تحذير:

- لا تُشَغِّل الفرن وتُسَخِّن المصباح باستمرار لمدّة تزيد عن 30 ثانية، ذلك لأنّ هذا قد يُسبّب انفجار المصباح داخل الفرن كما ويتوجّب عليك ألّا تلمس المصباح قبل أنّ يَبرد تمامًا، قد يلزم عدّة دقائق بعد انتهاء عمليّة التسخين.
- من المفيد أنّ نعرف أنّه من المُفَضَّل عدم تشغيل جهاز الميكروويف عندما يكون هناك معدن بداخله، لأنّ المعادن تعكِس الأمواج الإلكترومغناطيسيّة، والأشعّة المُنعَكِسة قد تصل إلى جهاز بثّ الميكروويف، الأمر الذي قد يؤديّ إلى حدوث الشرار وتقصير عمر الفرن. وضعنا، في هذه التجربة، قاعدّة المصباح داخل ماء الكوب، ذلك ليمتصّ الماء الأشعّة المنعكسة عن قاعدّة المصباح المعدنيّة، كما وشَغَّلنا جهاز الميكروويف لفترة زمنيّة قصيرة.



صورة 5.7 المصباح داخل كأس ماء (المصدر: أنظر الملحق جـ)

1) صف بالكلمات ما رأيت.
2) هل المصباح هنا موصول مع مصدر كهربائيّ كالبطارية أو قابس الشبكة الكهربائيّة؟
3) هل مرَّ تيّار كهربائيّ في سلك التوَهُّج؟
   أ- كيف عرَفت ذلك؟
   ب- ما هو مصدر طاقة المصباح؟

عندما نضع الطعام في فرنّ الميكروويف، فإنّ المجالات الكهربائيّة والمغناطيسيّة المُنْبَعِثَة في الفرن تؤثّر بقوّة على الشحنات الكهربائيّة الموجودة في جزيئات الطعام، الأمر الذي يؤديّ إلى اهتزازها ومن ثمّ تَسْخينها. كذلك، فإنّ المجالات الكهربائيّة والمغناطيسيّة المُنْبَعِثَة في الفرن، هي التي تؤثّر بقوّة على الإلكترونات الموجودة في أجزاء المصباح المعدنيّة، ذلك عند وضعه داخل الميكروويف، أيّ أنّها تؤثّر على سلك التوهُّج والمعادن المتصلة به.

المعادن على عكس الموادّ الغذائيّة، فالمعادن موصلة للتيّار الكهربائيّ وإلكتروناتها تتحرّك بحرية من ذرة إلى أخرى. لذا فإنّ سلك التوهُّج يُصْنَع من المعادن الموصلة للتيّار الكهربائيّ، والقوى التي تُوَلّد مجالات الأشعّة المتغيّرة والتي تُوَلّد بدورها تيّارات كهربائيّة متغيّرة في سلك التوهُّج. تؤَدّي هذه التيّارات الكهربائيّة في نهاية المطاف إلى تسخين السلك. قد ترتفع درجة حرارة سلك التوهُّج إلى آلاف الدرجات المئويّة، لذا تَنْبَعِث منه أشعّة الضوء أيضًا. بالإضافة إلى الضوء الأبيض المُنبعث من سلك التَّوَهُّج، قد ترى أحيانًا، خلال تسخين المصباح، وميضًا من الضوء ذي الألوان المختلفة، هذا الوميض ناتج عن العمليّات التي تحدث في الغاز المحصور في حاوية المصباح الزجاجيّة.

خصائص الأمواج الإلكترومغناطيسيّة

درسنا في الفصل السابق خصائص الأمواج الدوريّة وتَعَرَّفنا على مصطلحات سِعة الموجة، طول الموجة والتردُّد. سِعة الموجة تُحدِّد شِدَّتها، في حين أنّ طول الموجة أو التردّد المرتبط بها يُحدِّد نوع الموجة. ولتوضيح هذه المصطلحات، سنقارن بين مصطلحات الأمواج الإلكترومغناطيسيّة ومصطلحات الأمواج الصوتيّة التي دَرَسناها في الفصل 3.

جدول 5.1 مقارنة بين الأمواج الصوتيّة والأمواج الإلكترومغناطيسيّة

	الأمواج الصوتيّة	الأمواج الإلكترومغناطيسيّة
مثال لظاهرة	الكلام	الضوء المنبعث من المصباح
ما الذي يتذبذب؟	ضغط الهواء أو كثافة جُسَيمات الوسط الذي تتحرّك به الموجة	المجالات الكهربائيّة والمغناطيسيّة
الوسط	يتطلّب الأمر وسطًا ماديًا مثل الغاز أو السائل أو مادّة صلبة لتقدّم الموجة. التأثير هو الذي يحرّك جسيمات الوسط	هنا تتقدّم الأمواج في الفراغ وفي الوسط الماديّ، ذلك لأنّ التأثير يُسبّب تذبذب المجالات الكهربائيّة والمغناطيسيّة ولا يُسبّب ذبذبة جسيمات المادة.
ما هو مفهوم سِعة الموجة؟	السِعة تُحدّد شدّة الموجة. عندما نُضَخِّم الصوت فإنّنا نُكَبِّر سِعة الموجة. الأمر الذي يؤديّ إلى زيادة ذبذبة جسيمات الوسط.	السِعة تُحدّد شدّة الموجة. إذا أضفنا مصدر أشعّة آخر من نفس النوع - مثلًا، إضاءة مصباح آخر لعدّة مصابيح متماثلة - ستزداد السِعة. في وضع كهذا ستكون شدّة اهتزازات المجالات الكهربائيّة والمغناطيسيّة أعلى.
ما هو مفهوم تردّد الموجة أو طول الموجة؟	التردّد هو عدد اهتزازات جُسَيمات الوسط (الهواء مثلًا) في الثانية الواحدة وهي التي تُحدِّد ارتفاع نَغَمة الصوت. تردّد عال يُسْمَع كنغمة عالية وتردّد منخفض يَسْمع كنغمة منخفضة.	التردّد هو عدد الذبذبات التي تقوم بها المجالات الكهربائيّة والمغناطيسيّة في الثانية الواحدة. هنا يُحدّد التردّد نوع الضوء المُنْبَعث. لاحقًا، عند دراسة مجال الضوء المرئيّ، سنكتشف أنّ التردّد العالي يُعطي ضوءا لونه بنفسجيّ والتردّد المنخفض يُعطي ضوءا لونه أحمر.
ما هو مجال التردّدات والأطوال الموجيّة التي يمكن للإنسان إدراكها؟	تسمع آذانّنا الأمواج الصوتيّة على تردّدات تتراوح بين 20 و- 20،000 هيرتس أو على أطوال أمواج تتراوح بين 17 ملم إلى 17 مترًا في الهواء. علمًا أنّ طول الموجة يعتمد أيضًا على نوعيّة الوسط الذي تتحرّك فيه الموجة.	ترى أعيننا الأمواج الضوئيّة على تردّدات بين 400 و- 790 تيرا هيرتس (1 تيرا هيرتس = 10^{12} - ألف مليار من الاهتزازات في الثانية الواحدة) وأطوال أمواجها يتراوح بين 0.7-0.4 ميكروميتر في الهواء (1 ميكروميتر = 0.001 من المليميتر). علمًا أنّ طول الموجة يتغيَّر وِفقًا لنوعيّة الوسط.

الطالبة شمس النور: تعلّمنا عن وجود أمواج صوتيّة خارج مجال سمع الإنسان، مثلًا أمواج الصوت المنطلقة من صافرة الكلاب. ما هي أمواج الضوء خارج مجال رؤية أعيننا؟

بروفيسور أمواج الشعاع: أمواج الأشعّة التي لا نراها هي مثلًا، الأشعّة المُنبعِثة عن جهاز الهاتف المحمول وعن جهاز التوجيه اللاسلكيّ هي أشعّة إلكترومغناطيسيّة ذات تردُّد أقلّ من التردُّد الذي بمقدور العين رؤيته. من جهة أخرى، إنّ تردّد أشعّة – x في صورة رونتجن (أشعّة – x هي قسم من الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة) أعلى من التردُّد الذي بمقدور العين رؤيته. إنّ الأشعّة الموجودة خارج نطاق مجال رؤية الإنسان، يمكن قياسها باستعمال مقياس أشعّة.

فعالية 5.4 الأمواج الصوتيّة والأمواج الإلكترومغناطيسيّة – فحص ذاتي

استعِن في الجدول 5.1 وحدِّد، لكلّ واحدة من الجمل التالية، إذا كان موضوعها الموجة الصوتيّة أو الموجة الإلكترومغناطيسيّة.

- الموجة تصل إلينا من الفضاء الخارجيّ من بين الأجرام السماوية
  - **هل هي موجة صوتيّة أم هي موجة إلكترومغناطيسيّة؟**
- الموجة التي عند كِبَر سعتها، يكون بها ضَغط الجسيمات عاليا
  - **هل هي موجة صوتيّة أم هي موجة إلكترومغناطيسيّة؟**
- الموجة المُتَوَلّدة عن التيّارات الكهربائيّة المتغيّرة أو المنبَعِثة عن الأجسام الساخنة
  - **هل هي موجة صوتيّة أم هي موجة إلكترومغناطيسيّة؟**
- أطوال الأمواج التي يستطيع الإنسان استقبالها أقصر من سُمْك شعرة
  - **هل هي موجة صوتيّة أم هي موجة إلكترومغناطيسيّة؟**
- اطوال الأمواج التي يمكن للشخص استقبالها يمكن أنّ يَبلُغ علو الزرافة وأكثر من ذلك.
  - **هل هي موجة صوتيّة أم هي موجة إلكترومغناطيسيّة؟**
- الأمواج ذات السّعة الصغيرة تُمَثِّل تقريبًا المجالات الكهربائيّة والمغناطيسيّة الضعيفة.
  - **هل هي موجة صوتيّة أم هي موجة إلكترومغناطيسيّة؟**

للتوسُّع: هل كلّ موجة إلكترومغناطيسيّة هي موجة أشعّة؟

تعلّمنا أنّ كلّ تيّار كهربائيّ متغيِّر يُوَلِّد أمواجًا إلكترومغناطيسيّة. بعض هذه الأمواج يمكن أنّ تتقدّم وتحمل معها الطاقة إلى مسافات بعيدة، وبعضها يمكن أنّ يتقدّم قليلا ويصل فقط إلى المناطق المحيطة بالتيّار الكهربائيّ والقريبة منه، وبهذا الوضع فإنّ الطاقة التي تحملها الموجة الإلكترومغناطيسيّة لا تبْتَعِد كثيرًا عن مصدرها. إنّ القصد من مصطلح الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة أو أمواج الأشعّة هو الأمواج الإلكترومغناطيسيّة التي تحمل الطاقة لمسافات بعيدة.

كلّ تيّار كهربائيّ مُتغيِّر يُوَلِّد نوعيّن من هذه الأمواج، النوع الأوّل ويُسمّى أشعّة إلكترومغناطيسيّة ويكون تأثيرُها ملحوظًا على مسافات بعيدة من التيّار الذي وَلَّد هذه الأشعّة. النوع الثاني تكون أمواجه على مقرّبة من التيّار، والتأثير الملحوظ له يكون للأمواج التي لا تكون أمواجها إشعاعيّة. طول الموجة هو الذي يُحدّد "القرب" أو "البُعْد" من التيّار المُتَغَيِّر لمصدر الأمواج الإلكترومغناطيسيّة. إذا كان بُعدنا عن المصدر، أيّ عن التيّار المُتغير، أصغر من طول الموجة، عندها نكون في المدى القريب، وتحديدا ضمّن المجالات الإلكترومغناطيسيّة المُتَذبذبة وهي ليست أشعّة إلكترومغناطيسيّة. أمّا إذا كان بُعدنا عن المصدر أكبر من طول الموجة، عندها يُقال أنّنا في المدى البعيد، أيّ نكون في المنطقة الموجود فيها أشعّة إلكترومغناطيسيّة أو أمواج الأشعّة.

إنّ تردّد الأمواج الإلكترومغناطيسيّة المُنبعثة من الأجهزة الكهربائيّة هو نفس تردّد مصدر الجهد الذي وُصِلت به الأجهزة، أيّ أنّه 50 هيرتس، وهكذا نجد أنّ طول موجة هذا التردّد تبلغ آلاف الكيلومترات، لذا فإنّ القياسات التي نُجريها قريبًا من الأجهزة الكهربائيّة تكون في منطقة المدى القريب. نفهم من هذا الأمر أنّ المجالات التي نقيسها بالقرب من الأجهزة الكهربائيّة تكون ضمّن إطار الأمواج الإلكترومغناطيسيّة ولا تُصَنَّف كأنّها أشعّة إلكترومغناطيسيّة، ذلك وِفقًا للطريقة العلميّة التي ذكرناها هنا. في المقابل، فإنّ أجهزة الاتّصالات تَبِثُّ على تردّدات عالية، وبالتالي تكون أطوال أمواجها قصيرة، بالتقريب 15 سم. في مثل هذه الحالة، نحن نقيس أمواج الأشعّة.

الأمواج الإلكترومغناطيسيّة المُنطَلقة من الأجهزة الكهربائيّة البيتيّة

توضّح الصورة 5.8 شاشة مقياسًا بسيطًا، وُضِع بالقرب من ثلاجة، لقياس شدّة الأشعّة. نرى على شاشة هذا المقياس، رسمًا بيانيًّا لشدّة المجال المغناطيسيّ كدالة للزمن. نُعَبِّر عن شدّة المجال المغناطيسيّ بوحدات μT (مِيكروتِسْلة) أوmG (مِللي - جَاوس) التي تستعمل للتعبير عن وحدات قياس شدّة المجال المغناطيسيّ. يتوجّب تَمَعُّن "وحدات قياس المجال المغناطيسيّ" الموجودة في ملحق وحدات القياس.

ملاحظة: إنّ الرسم البيانيّ للمجال المغناطيسيّ كدالة الزمن في الصورة 5.8 يختلف في الشكل عن شكل الموجة التي تظهر في الصورة 4.2، ذلك لأنّ قيمة المجال المغناطيسيّ تتغيّر بسرعة عالية جدًّا

وليس باستطاعة مقياس الأشعّة تَعَقُّب التغييرات بمثل هذه السرعة، يُمَكِننا، مثل هذا القياس، من تقدير سِعة الموجة فقط، ولا نستطيع من هذا القياس الحصول على رسم بيانيّ دقيق لقيمة المجال المغناطيسيّ كدالة الزمن.

صورة 5.8 قياس المجال المغناطيسيّ بواسطة مقياس الأشعّة

- تمّ إجراء القياس قريبا من حائط، خلفه توجد ثلاجة (على بُعْد 10 سم عن جدار الثلاجة).
- معدَّل قيمة المجال المغناطيسيّ الذي قسناه هنا هي 1.1µT أو 11mG
- وُصِف في الرسم البيانيّ المجال المغناطيسيّ كدالة الزمن. قيمة المجال المغناطيسيّ العظمى التي تَمَّ قياسها هي 2.3µT. هذه القيمة مُسَجَّلة في أسفل الشاشة.

الطالبة شمس النور: قسنا في الصورة 5.8 مجالًا قيمته 0.11 mG

هل هذا مجال قويّ أم ضعيف؟

بروفيسور أمواج الشعاع: يحيط بالكرة الأرضيّة مجال مغناطيسيّ أقوى بكثير، تبلغ شدته 300 mG تقريبًا، لكنّه يختلف عن المجال المغناطيسيّ المُنْبَعِث من الثلاجة، فَالمجال المغناطيسيّ الأرضيّ ثابت ولا يتغيَّر مع مرور الزمن. إنّ مقياس الأشعّة يقيس شدّة المجال المغناطيسيّ المتذبذب الذي يُوَلِّده التيّار المتغير. أيّ انّه إذا كان الحديث عن مجال مغناطيسيّ ثابت لا يصدر عنه أشعّة (يمكنك مراجعة هذا الموضوع في النقاش السابق في الفعاليّة 5.2)، فيمكن اعتبار أنّ المجال المغناطيسيّ الذي شدّته 11 ميللي - جاوس مجالًا ضعيفا. وبما أنَّ، المجال المُتَذبذِب للموجة الإلكترومغناطيسيّة يَحمل طاقة، لذا فإنّ المقارنة مع المجال الثابت للكرة الأرضيّة لا جدوى منها.

السيّد يحيى الأخضر: لمعرفة ما إذا كان المجال الذي تُوَلِّدَه الثلاجة قويًا أو ضعيفًا، يتوجّب مقارنته مع المجالات التي تُوَلِّدُها الأجهزة الكهربائيّة الأخرى ومقارنة ذلك مع تعليمات وزارة حماية البيئة التي تتعلّق بمدى التعرّض للمجالات المغناطيسيّة.

نرى في الجدول 5.2 مُعطيات نشرتها وزارة حماية البيئة، تتعلّق بكيفيّة ومدى التَعَرُّض المسموح به للمجالات المغناطيسيّة التي تُولدُّها الأجهزة الكهربائيّة المنزليّة بالقرب منها. تقوم الأجهزة المذكورة في الجدول

بِبَثِّ الأمواج الإلكترومغناطيسيّة، ذلك بسبّب جريان تيّارات كهربائيّة متغيّرة عَبْرَها. هنا في إسرائيل، تُوَفِّر شبكة الكهرباء تيّارًا كهربائيًّا تردّده 50 هيرتس، إذن هذا هو أيضًا مقدار تردّد أمواج الأشعّة المُنْبَعِثة من هذه الأجهزة. كما ونجد في الجدول 5.2 سِعة موجة المجال المغناطيسيّ المُنْبَعِثة من الأجهزة وهي متغيّرة وِفقًا لنوع الجهاز.

انتبه أنّه: توجد فروق كبيرة جدًّا في قيم المجال المغناطيسيّ بين الشركات المختلفة المصنِّعة للجهاز نفسه وحتى بين نماذج الجهاز المختلفة من نفس الشركة. غالبًا ما تكون المُعطيات في الجدول هي أكبر القِيَم لشدّة المجالات المغناطيسيّة التي تُوَلِّدُها الأجهزة، لذا استعملنا الإشارة >. مثلًا، كُتِبَ أنّ مجفّف الشَعر يُوَلِّد مجالًا مغناطيسيًا شدته >0.1-0.2mG، أيّ أنّ هذه القيمة هي الحد الأقصى لشدّة المجال المغناطيسيّ، وعمليًا فإنّ مجفّف الشعر النموذجيّ يُوَلِّد مجالًا مغناطيسيًا شدته أصغر من هذه القيمة. في كثير من الأحيان تكون شدّة المجال المغناطيسيّ أصغر بكثير من القيم التي سُجِّلت في الجدول. لذا، عند شرائِك جهازًا كهربائيًّا جديدًا، من الأفضل أنّ تستوضّح ما إذا كانت شدّة المجال المغناطيسيّ الذي يُوَلِّده حوله أكبَر أم أصغر من القِيم المُمَيِّزة لهذه النوعيّة من الأجهزة.

الطالبة شمس النور: لماذا التعرّض لمجالات مغناطيسيّة شديدة تُعَدُّ خَطِرة؟

د. نوره الحكيم: تميّز المجالات المغناطيسيّة المحيطة بالأجهزة الكهربائيّة الأمواج الإلكترومغناطيسيّة المُنْبَعِثة من الأجهزة. كلما كانت شدّة المجال المغناطيسيّ عالية، تزداد سِعة الموجة ومعها تزداد كميّة الطاقة التي تحملها.

يمكن أنّ تُسبّب الأمواج ذات الطاقات العالية في إلحاق الضَرَّر بأجسامنا، سوف نعود ونتوسَّع في هذا الأمر في الفصل التاسع.

الطالبة شمس النور: ما هو مفهوم الجملة "هذا لِتَعَرُّض لمجال شدّته أقلّ من 4 ملي-جاوس في المتوسّط يوميًّا" التي نراها في عنوان الجدول 5.2؟

د. نوره الحكيم: سأُوضّح لكِ الأمر عن طريق مثال. هيا نفترض أنَّكِ تَستعملين مجفّف الشعر لمدة ساعة يوميًّا ومن بُعد 3 سنتيمترات. وِفقًا للجدول، نجد أنّ مجفّف الشعر يُوَلِّد مجالًا مغناطيسيًا شدّته لا تقلّ عن 70 ملي-جاوس عن هذا البُعد. أيّ أنَّكِ تتعرَّضين في المتوسط، خلال 24 ساعة، إلى 2.9mG = 70/24 على الأقل.

إذا أَطَلْت استخدام مجفّف شعركِ لمدة ساعتين، فإنَّكِ سوف تتعرضين لمجال مغناطيسيّ شدّته في المتوسط تبلغ 5.8 mG = 2/24*70 في اليوم، وهذا أعلى من الحدّ الأدنى الموصى به والبالغ 4mG في المتوسّط خلال اليوم الواحد. لذلك، فإنّ التوصية التي نرفعها هنا، هي ألا نستعمل مجفّف الشعر عن بُعد 3 سنتيمترات لمدة زمنيّة تزيد عن ساعة في اليوم.

جدول 5.2 شدّة المجال المغناطيسيّ وعدد الساعات المسموح التعرُّض خلالها للأجهزة الكهربائيّة في البيت، ذلك عن أبعاد مختلفة من الأجهزة. علمًا أنّ معدّل شدّة المجال القصوى المسموح التَّعَرُّض بها يوميًّا يجب ألا تزيد عن 4 ميللي-جاوس. مصدر هذه المعطيات هو الموقع الإلكتروني لوزارة حماية البيئة[20].

الجهاز	شدّة المجال المغناطيسيّ على بُعْد **100** سم (ميللي - جاوس)	عدد الساعات اليوميّة المسموح التَّعرض بها	شدّة المجال المغناطيسيّ على بُعْد **30** سم (ميللي - جاوس)	عدد الساعات اليوميّة المسموح التَّعرض بها	شدّة المجال المغناطيسيّ على بُعْد **3** سم (ميللي - جاوس)	عدد الساعات اليوميّة المسموح التَّعرض بها
مجفّف الشعر	<0.1-0.2	24	2-40	24-2	70-10,000	1-0
ماكنة حلاقة كهربائيّة	<0.1-0.2	24	<0.1-70	24-1	6-8,000	14-0
مِكنسة كهربائيّة	<0.1-11	24-7	4-180	24-0.4	70-7,000	1-0
مصباح فلورسنتي	<0.1-1.2	24	<0.1-15	24-5	5-4,000	18-0
ميكروويف	<0.1-5	24-18	5-60	18-1	150-1,000	0.5-0
مِذياع الساعة	<0.1	24	6-8	14-10	300-400	0.2
فرن كهربائيّ	<0.1-0.2	24	2-3	24	150-200	0.5-0.4
ماكنة غسيل	<0.1-1.1	24	5-20	18-4	200-300	0.4-0.2
مِكواة	<0.1-0.2	24	3-5	24-18	100-120	0.7-0.6
جلاية	<0.1-2	24	5-11	18-7	100-140	0.7-0.5
حاسوب	<0.1	24	<0.1	24	120-140	0.6—0.5
ثلاجة	<0.1	24	2-2.5	24	10-12	8-7
تلفزيون	<0.1-0.9	24	<0.1-12	24-6	20-300	4-0.2
تدفئة تحت البلاط أحاديّة الأسلاك	4-5	24-18	40-60	2-1	150-200	05-0.4
تدفئة تحت البلاط ثنائية الأسلاك	<0.1	24	<0.1	24	2-3	24
حرام كهربائيّ	0.8-2	24	20-30	4-2	80-110	0.9-0.7
سرير كهربائيّ قابل للتعديل	0.1-60	24-1	<0.1-90	24-1	<0.1-300	24-0.2
شاحن مع محوِّل	0.5-1.1	24	8-50	10-1	200-800	0.4-0.1
شاحن إلكتروني	<0.1	24	<1.0	24	2-5	24-18

[20] http://www.sviva.gov.il/subjectsEnv/Radiation/Electrical_Facilities/Documents/RadiationDomesticElectronics.pdf

فعالية 5.5 الأمواج الإلكترومغناطيسيّة المنبعثة من الأجهزة الكهربائيّة المنزليّة

نرى في الجدول 5.2 معطيات تتعلّق في المجال المغناطيسيّ المحيط بالأجهزة المنزليّة مثل الثلاجة أو مجفّف الشعر. تردُّد الموجة التي تُطْلِقها هذه الأجهزة يساوي 50 هيرتس وهو تردُّد شبكة الكهرباء المنزليّة. استناداً على هذه المعطيات، توصي وزارة حماية البيئة بالحدِّ الأقصى لعدد الساعات المسموح به التعرُّض للمجالات المغناطيسيّة الناتجة عن هذه الأدوات. تمعَّن الجدول 5.2 وأجب عن الأسئلة التالية.

1. بعد تَّمعُّن الجدول، هل تبدو لك شدّة المجال المغناطيسيّ الذي قِسناه بالقرّب من الثلاجة في الصورة 5.6 عالية أو منخفضة؟ هل يتوجّب تَجَنُّب البقاء في المنطقة التي تمّ فيها إجراء القياس؟ فسِّر إجابتك!
2. اخْتَر أحد أجهزة الجدول وأجب عن الأسئلة التالية بالنسبة للجهاز الذي اخترته:
   - كم هو عدد ساعات استعمالكم للجهاز في البيت؟
   - كم يكون بُعدكم عن الجهاز أثناء استعمالكم له؟
   - هل استعمالكم للجهاز يتناسب مع التوصيات الواردة في الجدول 5.2؟
   - على ضوء دراستكم، أُكتب توصية لكيفيّة الاستخدام الأمثل لهذا الجهاز.
3. وِفقًا للجدول، ما هو الجهاز الذي يُوَلّد أكبر المجالات المغناطيسيّة؟
4. على ضوء تَمَعُّنكم ودراستكم للجدول، حدِّد الجهاز الذي يسمح للمستخدِم التعرُّض الأقصى للمجالات المغناطيسيّة؟ نرجو الاعتماد في إجابتك على شدّة المجال المغناطيسيّ، البُعد النموذجيّ بين الجهاز والمستخدِم والفترة الزمنيّة التي نحن بحاجة لها لاستخدام الجهاز.
5. يَعْرِض الجدول نوعيّن من أجهزة التدفئة تحت البلاط: الأوّل تدفئة تحت البلاط أحاديّة الأسلاك[21] وتدفئة ثنائيّة الأسلاك[22]. في السنوات الأخيرة، منعت وزارة حماية البيئة تركيب تدفئة تحت البلاط أحاديّة الأسلاك في المنازل السكنيّة. لماذا؟

[21] . في التدفئة أحادية الأسلاك، نستعمل سلكا واحدا لنقل التيار الكهربائي تحت البلاط لتدفئة المنزل.

[22] . في التدفئة ثنائية الأسلاك، نستعمل سلكين لنقل التيار الكهربائي تحت البلاط لتدفئة المنزل، بحيث يكون اتجاه التيار الكهربائي في السلك الأول معاكسا للتيار في السلك الثاني، في وضع كهذا يكون اتجاه المجال المغناطيسي الذي أنشَأه السك الأول معاكسا لاتجاه المجال المغناطيسي الذي أنشَأه السك الثاني، وبالتالي فإنّه يُصَغِر أحدهما الآخر.

الطالبة شمس النور: يوجد في بيت جدَّتي جهاز للتدفئة تحت البلاط أحاديّ الأسلاك.

السيّد يحيى الأخضر: وِفقًا لتوصيات وزارة حماية البيئة، الأفضل لكم تشغيل التدفئة أحاديّة الأسلاك فقط عندما لا تكونون في الغرفة، ذلك لمنع تعرُّضَكم للأشعّة المنطلقة من جهاز التدفئة. نخص بالذكر هنا الامتناع عن تشغيل التدفئة أحاديّة الأسلاك حيث يتواجد الأطفال.

الطالبة شمس النور: لا توجد معطيات، في الجدول 5.2، عن أجهزة التوجيه اللاسلكيّة ولا عن الهواتف اللاسلكيّة، لماذا؟

السيّد منير الضياء: الوضع هنا يختلف عن وضع الأجهزة المذكورة في الجدول، أنّ أجهزة التوجيه اللاسلكيّة والهاتف اللاسلكيّ والهاتف المحمول هي أجهزة لاسلكيّة، عملها يعتمد على بثّ الأشعّة بتردّدات أعلى بكثير من 50 هيرتس - تردّد شبكة الكهرباء المنزليّة. هكذا نرى انّه لا توجد مقارنة بينها وبين الأجهزة الأخرى.

كذلك الأمر، جهاز المايكروويف، عند تسخين الطعام، يُطلِق أشعّة عالية التردّد. إنّ المعطيات هنا هي لجهاز الميكروويف الموصول بالكهرباء فقط وهو في الوضع غير الشَغَّال بتسخين الطعام. عمليّا، لأجهزة قياس الأشعّة يوجد وضعان للقياس.

عند وضع جهاز قياس الأشعّة قريبًا من الأدوات الكهربائيّة المذكورة في الجدول 5.2، فإنّ الجهاز يقيس شدّة المجال المغناطيسيّ. لكن عند وضعه قريبًا من أجهزة الاتّصالات، فإنّ الجهاز يقيس القدرة التي تصل إلى وحدة المساحة، أيّ انّه يقيس كميّة الطاقة التي تصل وحدة المساحة خلال وحدة زمنيّة. في الصورة 9.5 نجِد أنّ الفنيين يستخدمون كثيرًا مصطلح الأشعّة في كلتا الحالتين، لأنّه بالنسبة لنا الأشعّة هي كلّ ما يمكن قياسه بمقياس الأشعّة، سواء كان ذلك مجالًا مغناطيسيّاً في محيط الأجهزة الكهربائيّة أو الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة المُنْبعِثة من معدات أجهزة الاتّصال.

بروفيسور أمواج الشعاع: من الناحية العلميّة يوجد فرق بين الأمواج الإلكترومغناطيسيّة المنطلقة من الأجهزة الكهربائيّة وبين الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة المنطلقة من مُعدّات أجهزة الاتّصال. يمكن قراءة ذلك في فقرة للتوسّع بعد الفعاليّة 5.4.

السيّد يعقوب الصحاف: إن أحد الأمور التي تَعلّمتُها خلال عمليّ كمُحَقِّق صحفي هو أنّ الخبراء في المجالات المختلفة يتعاملون بطرق مختلفة مع نفس الظواهر، وأنا عندما أقوم بإجراء تحقيق ما، يتوجّب عليَّ دراسة جميع وجهات النظر هذه.

د. نوره الحكيم: انتبه أنّ كلّ موجة إلكترومغناطيسيّة تحمل معها طاقة وأنّ وزارة البيئة نشرت معايير القيم القصوى المسموح التَّعَرُّض لها. في حالة الأجهزة الكهربائيّة التي تَنْبَعِث منها الأمواج الإلكترومغناطيسيّة إلى البيئة القريبة منها، تشير المعايير إلى شدّة المجال المغناطيسيّ الذي يُسمح لنا التعرّض له خلال فترة زمنيّة معيّنة. أمّا الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة فإنّنا نُعَبِّر عنها بوحدات القدرة الساقطة على وحدة المساحة أيّ الطاقة الساقطة على وحدة مساحة لكلّ وحدة زمنيّة.

الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة قريبًا من البيئة البيتيّة

بالإضافة إلى قياس شدّة المجال المغناطيسيّ ذات التردّد المنخفض المميّز للشبكة الكهربائيّة البيتيّة (50 هيرتس)، والتي كنّا قد تعرّفنا عليها في الفعّاليّة 5.5، يمكن قياس أيضًا شدّة الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة ذات الترذُّدات العالية في الأماكن القريبة من البيت، أيّ تردّدات قدرها 2,000MHz أيّ ألفا مليون هيرتس، كالأمواج الإلكترومغناطيسيّة المنبعِثة من معدّات أجهزة الاتّصال، مثل جهاز التوجيه اللاسلكيّ (راوتر) والهواتف اللاسلكيّة والهواتف المحمولة والميكروويف عند تسخينه الطعام. هذا الترذُّد أكبر بكثير بالمقارنة مع تردّد شبكة الكهرباء المنزليّة. أمّا بالنسبة للأشعّة التي تردّداتها آلاف الميغا-هيرتس (MHz)، فإنّ مقياس الأشعّة لا يُعطي قيمة تردّد المجال المغناطيسيّ، لكنّه بدلًا من ذلك فإنّه يُعطي قدرة الأشعّة الساقطة على وحدة المساحة، أيّ أنّه يُعطي مقدار طاقة الأشعّة الساقطة على كلّ وحدة مساحة في الثانية الواحدة.

يشير مقياس الأشعّة إلى الترذُّد البارز في الأشعّة الساقطة بوحدات ميغا-هيرتس MHz وإلى طاقة الأشعّة في بوحدات ميللي- واط لكلّ متر مُربع mW/m^2. للمزيد نرجو مراجعة ملحق وحدات القياس[23]. بالنسبة للأشعّة ذات الترذُّد المُمَيِّز لأجهزة الاتّصال البيتيّة تنصح وزارة حماية البيئة تَجَنُّب التعرّض لفترات زمنيّة طويلة لأشعّة تزيد شدّتها عن $1000\ mW/m^2$.

يُمكن أنّ نرى على شاشة مقياس الأشعّة في الصورة 5.9 رسمًا بيانيًّا يُبيِّن شدّة الأشعّة كدالة الزمن. المصابيح الصغيرة ذات اللون الأخضر تشير إلى مستوى شدّة أشعّة منخفض، بينما اللون الأصفر يشير إلى مستوى شدّة أشعّة متوسط والأحمر يشير إلى مستوى شدّة أشعّة عال.

صورة 5.9 نتائج قياس الأشعّة المُنْبَعِثة من مَقْعَد هاتف لاسلكيّ بيتيّ.

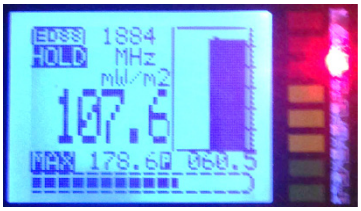
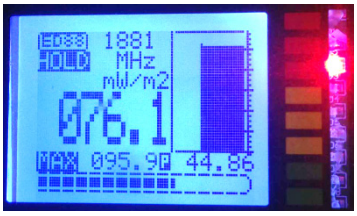
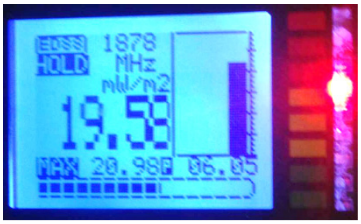
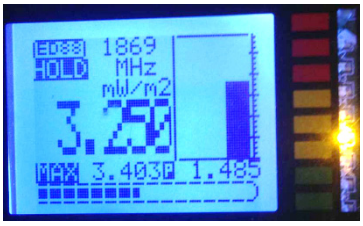
مقياس الأشعّة يقيس شدّة الأشعّة ($835\ mW/m^2$) والترذُّد الأكثر بُروزا في موجة الأشعّة (1884 MHz).

[23] . قدرة 1 واط (1 Watt) هي كمية الطاقة التي مقدارها 1 جاول والتي تصل كل ثانية. 1 ميللي-واط هو 1 من ألف من الواط. مثلا مفهوم القياس الذي مقداره $3\ mW/m^2$ هو أنّه في كل ثانية تسقط على المتر المربع الواحد أشعة طاقتها الكلية 3 من ألف جاول.

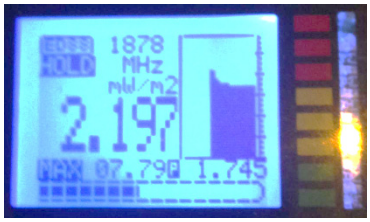
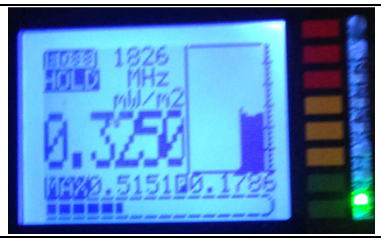
فعالية 5.6 قياس الأشعّة

نعرض على الصّفحات التالية صُورا لشاشات مقياس الأشعّة، وذلك على أبعاد مختلفة من قاعدّة الهاتف اللاسلكيّ البيتيّ. الهاتف اللاسلكيّ، غير الموصول بأسلاك إلى قاعدته، يستقبل ويَبُثّ المعلومات باستعمال أشعّة إلكترومغناطيسيّة.

جدول 5.3 قياس الأشعّة المنطلقة من أنبوبة الهاتف اللاسلكيّ البيتيّ

البُعْد (بالسنتيمترات)	صورة شاشة مقياس الأشعّة	قدرة الأشعّة الساقطة على وحدة المساحة (mW/m^2)	التردُّد المُمَيِّز[24] لهذه الأشعّة (MHz)
20			
30			
40			
50			

[24] خُذ بعين الاعتبار أنه عند الإجابة في هذا العمود، أنّ قيم التردد المشار إليها عن طريق مقياس الأشعة، قد تزداد أو تنقص بشكل عشوائي وصغير، أي أنّها مرة ترتفع وتارة تنخفض. لذلك، نجد أنّ قيم التردد قريبة من بعضها البعض، أي القيم المختلفة بأقل من 10٪، يمكن أن يكون لها نتائج قياس مختلفة لنفس التردد.

البُعْد (بالسنتيمترات)	صورة شاشة مقياس الأشعّة	قدرة الأشعّة الساقطة على وحدة المساحة (mW/m^2)	التردُّد المُمَيِّز[24] لهذه الأشعّة (MHz)
60			
500			

1. أكمل معطيات الجدول الناقصة وِفقًا لِصُوَر شاشة مقياس الأشعّة.
2. هل تردُّد الأشعّة يتغيَّر مع تغَيُّر البُعد؟ فسِّر!
3. أرسم على دفترِك رسمًا بيانيًّا لشدّة الأشعّة كدالة للبعد عن قاعدّة الهاتف اللاسلكيّ. أيّ رسم بيانيّ ستختار؟ أهو رسم أعمدة أم رسم مُبعثَر على مجموعة محاور XY؟ فسِّر!
4. هل تزداد شدّة الأشعّة أم تنقص كلَّما ابتعدنا عن الأنبوبة؟ فسِّر!
5. بالنسبة لتردّد أشعّة الهاتف اللاسلكيّ، توصي وزارة حماية البيئة من الجمهور تجنّب التعرّض لأشعّة تزيد شدّتها عن $1000\ mW/m^2$[25] لفترات زمنيّة طويلة. بالاعتماد على هذه التوصية وعلى الرسم البيانيّ الذي رسمته، ما هو البعد الأفضل لأمن وسلامة المستهلك، الذي يتوجّب مراعاته من قِبَل مُستعمل الهاتف اللاسلكيّ، ذلك بناء على نتائج قياس شدّة الأشعّة في الجدول 5.3؟ علّل!

ملاحظة: *نظرًا لأنّ أجهزة الهواتف اللاسلكيّة المختلفة تُطلِق أشعّة شِدَّتها مختلفة، لذا يتوجّب الحذر من التعرُّض المفرط لأشعتها، يفضَّل الحفاظ على بعد آمِن عال من مثل هذه الأجهزة.*

6. كيف يُمكن التحقّق من كَوْن الأشعّة التي قيسَت بمقياس الأشعّة قد انطلقت من أنبوبة الهاتف اللاسلكيّ وليس من أجهزة أخرى في نفس البيت؟

[25] . هذا بالاعتماد على جدول وزارة حماية البيئة، الذي نُشِر فيه مستويات التعرُّض للأشعة غير القادرة على اجراء عملية التأين.

7. في هذا السؤال، اخْتَر أحد الأجهزة المشعّة في بيتكم، على سبيل المثال الهاتف اللاسلكيّ أو الموجه اللاسلكيّ أو أيّ جهاز آخر.
   - في أيّ غرفة وُضِع الجهاز؟
   - كم عدد الساعات في اليوم التي يكون بها أفراد أسْرَتِك في هذه الغرفة؟
   - هل نَقْل هذا الجهاز إلى غرفة أخرى يؤدّي إلى تقليل تعرُّض أفراد أسرتك إلى الأشعّة؟ إذا كان الأمر كذلك، فإلى أيّ غرفة ينبغي عليك نقل الجهاز؟ فسِّر!

إجمال الفصل

- التيارات الكهربائيّة المتذبذبة تُوَلّد **مجالات كهربائيّة ومغناطيسيّة** متذبذبة تحمل معها الطاقة وتتقدم في الفضاء على شكل **موجة إلكترومغناطيسيّة**.
- العديد من الأجهزة البيتيّة، مثل الثلاجات تَنْبَعِث منها الأمواج الإلكترومغناطيسيّة بسبّب مرور تيّار كهربائيّ متذبذب بنفس تردُّد تيّار شبكة الكهرباء البيتيّة.
- توجد أجهزة كهربائيّة في البيت تَنبعِث منها أشعّة إلكترومغناطيسيّة. هذه الأجهزة تكون غالبًا أجهزة اتّصال مختلفة، مثل جهاز التوجيه اللاسلكيّ أو الهاتف الخلويّ، فرنّ الميكروويف أثناء تسخين الطعام. إنّ تردّد هذه الأمواج أكبر بكثير من تردّد الأمواج الإلكترومغناطيسيّة المُنبعثة من الأجهزة الكهربائيّة العادية، والتي يساوي تردُّدها تردُّد الشبكة الكهربائيّة المنزليّة (50 هيرتس) وطول موجته أقصر.
- يمكن قياس شدّة الأمواج الإلكترومغناطيسيّة باستخدام مقياس الأشعّة. بالنسبة للأجهزة البيتيّة، فإنّنا نقيس سِعة موجة المجال المغناطيسيّ. أمّا بالنسبة لأجهزة مُعدّات الاتّصال، فإنّنا نقيس طاقتها الساقطة على وحدة المساحة في الثانية الواحدة، أيّ القدرة لوحدة المساحة.
- تنشر وزارة حماية البيئة توجيهات وتعليمات أساسيّة تهدف إلى زيادة الوعي لأخطار التعرُّض المُبالغ فيه لأشعّة الأمواج الإلكترومغناطيسيّة المنطلقة من الأجهزة البيتيّة. تشير هذه التوجيهات إلى شدّة المجال المغناطيسيّ القصوى وإلى مقدار الفترة الزمنيّة المسموح التعرّض بها لهذا المجال. كما وتنشر الوزارة بشأن التعرُّض للأشعّة الإلكترومغناطيسيّة المنبعِثة من معدّات الاتّصال. تشير إلى قدرة الأشعّة الساقطة على وحدة المساحة. الهدف من هذه التعليمات والإرشادات هو التقليل من الفترات الزمنيّة التي نتعرّض بها لهذه الأشعّة والالتزام بهذه التوصيات، من الأفضل وضع الأجهزة المشعّة في الأماكن التي لا نتواجد بها كثيرًا في البيت. على سبيل المثال يتوجّب علينا عدم وضع جهاز التوجيه اللاسلكيّ أو جهاز الهاتف اللاسلكيّ بالقرّب من سرير النوم.
- من الجدير ذكره انّه حتّى الآن لا يوجد إجماع علمي شامل يتعلّق بالمعطيات التي تَظْهَر في جدول 5.2، المهمّ أنّ نكون حذرين من هذا الموضوع.

الفصل 6: طيف الأمواج الإلكترومغناطيسيّة

الأسئلة التي يمكنك الإجابة عنها بعد تعلّم هذا الفصل:

- كيف تستطيع الأفعى تمييز فريستها المختبئَة خلف الصخور؟
- هل بالإمكان تحضير الفُشار باستخدام الهاتف المحمول؟
- كيف يُسَخِّن الميكروويف الأكل؟

المصطلحات الأساسيّة التي سنتناولها في هذا الفصل:

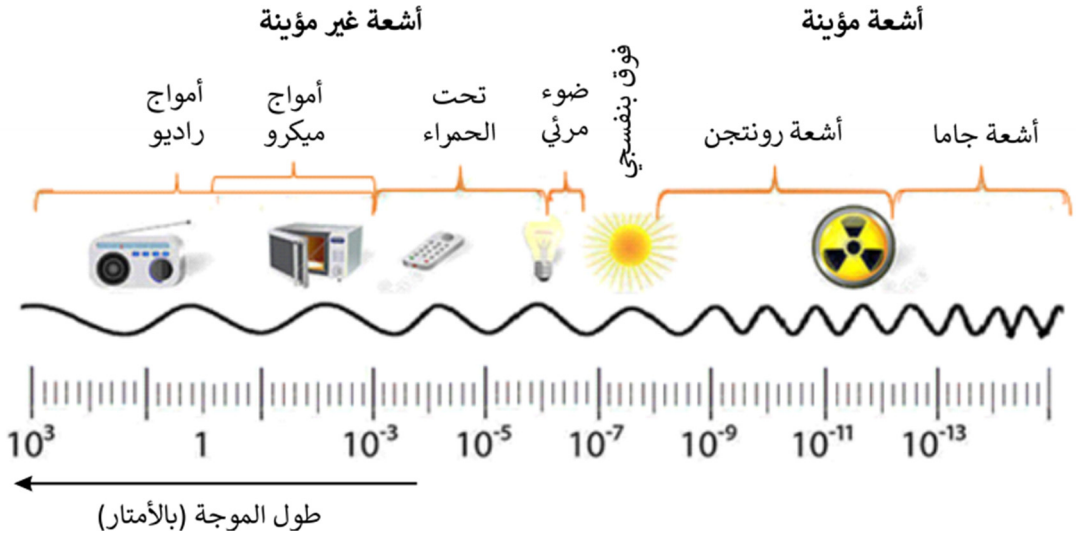
مجالات أشعّة طيف الأمواج الإلكترومغناطيسيّة: أشعّة الراديو، وأشعّة الميكرو، والأشعّة تحت الحمراء، والأشعّة المرئيّة، والأشعّة فوق البنفسجيّة، وأشعّة رونتجن (أشعّة إكس)، وأشعّة جاما، والأشعّة المؤيّنة[26] وأشعّة غير المؤيّنة.

تَظْهَر الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة، والتي درسناها في الفصول السابقة، في نطاق واسع جدًّا من أطوال الأمواج أو تردّداتها. يَشمل مُصطلح طيف الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة مجموعة أطوال الأمواج أو تردّدات الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة. مُتَّبع تقسيم طيف الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة إلى سبع مناطق تختلف في التردُّد أو طول الموجة، هذا الأمر ينعكس على خصائصها. هذه المجالات هي:

- أشعّة الراديو
- أشعّة الميكرو
- الأشعّة تحت الحمراء
- أشعّة الضوء المرئيّ
- الأشعّة فوق البنفسجيّة
- أشعّة رونتجن (أشعّة إكس)
- أشعّة جاما

يُوضّح التخطيط في الصّفحة التالية طيف الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة. في أسفل التخطيط يظهر محور سُجِّلت عليه أطوال أمواج الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة. ترى على يمين التخطيط أطوال الأمواج القصيرة وعلى اليسار ترى الأمواج الطويلة، ذلك وِفقًا للتخطيط التمثيلي للموجة الذي رُسِم فوق المحور. بينما في أعلى التخطيط سُجِّلت أسماء مجالات الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة السبعة واستخداماتها المُمَيِّزة لها.

[26] . المؤينة: هي الأشعة ذات الطاقة الكافية لاقتلاع إلكترون واحد أو أكثر من الذرة. تسمى هذه العملية تأيُّن [المترجم]



صورة 6.1 طيف الأمواج الإلكترومغناطيسيّة (المصدر: أنظر ملحق ج')

للتذكير: كتابة الأُس

ما هو مفهوم الأعداد التي سُجِّلت على امتداد محور طول الموجة في الصورة 6.1؟

سُجِّل على الطرف اليساريّ من المحور في منطقة أمواج الراديو، سُجِّل 10^3، أيّ 10 أس 3، والمقصود من ذلك هو أنّ طول الموجة نحصل عليه من ضرب 10 بنفسه 3 مرات:

$$10^3 = 10 \cdot 10 \cdot 10 = 1000[\text{متر}] = 1[\text{كيلومتر}]$$

بالنسبة لطول الأمواج القصيرة، نستعمل الأس السالب، مثلًا:

$$10^{-3} = \frac{1}{10^3} = \frac{1}{10 \cdot 10 \cdot 10} = \frac{1}{1000}[\text{متر}] = 1[\text{ميلليمتر}]$$

فعالية 6.1 درجة الكِبَر ومفهومها

من خلال هذا الفصل، سوف نتعرّف على مختلف مجالات الأشعّة التي يتشكَّل منها طيف الأمواج الإلكترومغناطيسيّة. نرى في الشكل 6.1 كمثال أنّ طول موجة مقدارها 10^{2} متر هو ميزة أشعّة الراديو التي تُحيط بنا في كلّ مكان تقريبًا، وطول موجة مقدارها 10^{-13} متر هو يميّز أشعّة جاما الخطرة جدًّا لا بل المميتة. هناك فرق هائل بين هاتين الموجتين المختلفتين في درجة كِبَر طول الموجة.

1. تَمَعَّن شرائح عرض **القوّة عشرة**[27]:
2. تتميّز كلّ منطقة من مناطق طيف الأمواج الإلكترومغناطيسيّة بنطاق معيّن من أطوال الأمواج. استعن بشرائح عرض أسّ العشرة وارسم خطًا بين مناطق أطوال أمواج الطيف والأشياء الملموسة من نفس درجة الكِبَر[28].

مجالات الطيف	درجة كِبَر طول الأمواج بالأمتار (وِفقًا للصورة 6.1)	شيء ملموس في عالِمَنا
أمواج الراديو	10^{3}	عنكبوت
	10^{2}	كروموسوم في الخلية
	10^{1}	الذَرَّة
أمواج الميكرو – تابعة لمنطقة أمواج الراديو	1	جزيء الجلوكوز
	10^{-1}	المادّة الوراثيّة في الخلية
	10^{-2}	دفتر
تحت الحمراء	10^{-3}	شارع
	10^{-4}	سُمك الشعرة
	10^{-5}	بكتيريا
الضوء المرئيّ	10^{-6}	القمل
فوق البنفسجيّة	10^{-7}	الإنسان
	10^{-8}	ناطحات السحاب، ملعب كرة قَدَم
أشعّة رونجن (الأشعّة السينية)	10^{-9}	فيروس
	10^{-10}	عمارة سَكَن

[27] يوضح العرض بوضوح جيدا مفهوم درجة الكِبَر في عالمنا. http://moodle.telhai.ac.il/mod/resource/view.php?id=48759
لقد ترجم كل من جيورا ريتبو من كلية تل-حاي ونعمة لاندسمان من مدرسة بساغوت الشرائح إلى العبرية.

[28] لا تظهر في الجدول أشعة جاما، ذلك لأنّ أطوال أمواجها أقصر من أبعاد الذرة ومن الصعوبة بمكان ملاءمة أشياء ملموسة لها.

ما هي الأشعّة المُؤَيِّنة؟

ربما تكون قد صادفت الإشارة المرسومة في الشكل 6.2. هذه الإشارة توضع في الأماكن التي يوجد بها خطر انطلاق أشعّة مؤيّنة.

صورة 6.2 إشارة تحذير من الأشعّة المُؤَيّنة (المصدر: أنظر ملحق جـ)

غالبًا ما تكون الذرّات في الطبّيعة محايدة كهربائيًّا. في الوضع المحايد يتساوى عدد البروتونات ذات الشحنة الموجبة داخل نواة الذرة مع عدد الإلكترونات ذات الشحنة السالبة والتي تدور حول النواة. التأيّن هو عمليّة يتمّ فيها إضافة إلكترون إلى ذرّة أو إزالة إلكترون منها. عندما تَسقُط الأشعّة المؤيّنة على المادة، يمكن أنّ تُسبّب تأيّن بعض ذرّات المادة. سقوط الأشعّة المؤيّنة على جسم الإنسان قد يؤديّ إلى تغيير بنية الجزيئات في الجسم وقد يتسبّب ذلك في تغيرات خَطِرة لا يُمكن الرجوع منها، في الفصل التاسع سنشرح ذلك بتوسُّع.

في نهاية القرن ال-19 لاحظ العلّماء ظاهرة مُثيرة للاهتمام: فقد لاحظوا أنّ مقدرة الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة على تأيين الذرّات يتوقف فقط على نوع الأشعّة، أيّ انّه يتعلّق فقط بالتردُّد أو بطول الموجة. أمّا الأمر الذي زاد من دهشة العلّماء وكان يتعارض مع الفكر التقليديّ المقبول في تلك الأيام، هو أنّ المقدرة على التأيين غير متعلّقة بسِعة الموجة ولا بشِدَّتِها، وبالتالي فإنّ سِعة الموجة وشِدَّتِها لا يحدّدان ما إذا كان بمقدور الأشعّة تأيين الذرة أو عدم تأيينها. نستنتج ممّا تقدّم أنّ الأشعّة ذات التردّد المنخفض وبطول موجة عال، كأشعّة الراديو، وأشعّة الميكروويف، والأشعّة تحت الحمراء وأشعّة الضوء المرئيّ ليس بمقدور أيّ منها أنّ تُسبّب تأيين الذرّات حتّى ولو اصطدمت بهم بشدّة عالية جدًّا. مثلًا، إضاءة عدد كبير من المصابيح البيتيّة من نفس النوع ليست خطيرة. بينما الأشعّة ذات التردّد العالي وطول موجة قصير مثل أشعّة جاما، وأشعّة إكس وقسم من الأشعّة فوق البنفسجيّة، قد يسبّب تأيّن الذرّات حتّى وإن كانت شِدَّتها منخفضة للغاية. تسمّى هذه الظاهرة بالظاهرة الفوتوكهربائيّة. استطاع ألبرت أينشتاين سنة 1905 إعطاء التفسير الخارق لهذه الظاهرة، الأمر الذي على إثره منحه جائزة نوبل في الفيزياء عام 1922.

للتوسُّع: شرح الظاهرة الفوتوكهربائيّة

عرضنا، حتّى الآن، الأشعّة على أنّها نوع من الأمواج. لكن يتّضح خلال الدراسات أنّ هنالك ظواهر يمكن تفسيرها فقط إذا ما نظرنا إلى الأشعّة على أنّها سَيْل من الجُسَيمات، وهذه تُسمّى **فوتونات**. يُحدِّد التردّد كميّة الطاقة التي يحملها كلّ فوتون بينما تُحدِّد السّعة الطاقةَ الكليةَ لِسَيْل الفوتونات.

تَخَيَّل أنّ الأشعّة هي سَيْل من كُرَات أُلقِيَت بسرعة نحوك، وأنّ كلّ كرة تُمَثِّل الفوتون الذي يصطدم بك. إنّ ضَرْبَك بِكُرَة معدنيّة واحدة أكثر خطورة من ضَرْبِك بآلاف كرات الكلكر. وبناءً عليه، فإنّ نوع الأشعّة -الذي يُحَدِّده تردّد الموجة أو طولها، هو الذي نعتمد عليه أكثر في تقدير أثَر اصطدام الأشعّة بالذرّات، وليس شدّة الأشعّة التي تُحدّدها سِعة الموجة.

نحن ننظر إلى الأشعّة ذات التردّد العالي وطول موجة قصير، على أنّها فوتونات ذات طاقة عالية جدًّا، هكذا فإنّ اصطدام هذه الأشعّة بالذرّات قد يؤديّ إلى تأيُّنها. أمّا الأشعّة ذات التردّد المنخفض وطول موجة كبير والتي تُمَثِّلها فوتونات طاقتها منخفضة، فإنّ اصطدام الكثير منها بالذرّات لن يجعلها تتأيّن.

الطالبة شمس النور: إذاً، هل نعتبر الأشعّة موجة أم جُسَيم؟

بروفيسور أمواج الشعاع: عمليًّا، الأشعّة هي موجة وجُسَيم في آنٍ واحد. أحيانًا يكون سلوك الأشعّة كأمواج وأحيانًا أخرى يكون كجُسَيمات. تُعرف هذه الظاهرة بين علماء الفيزياء بـ **ازدواجيّة الضوء**، ولاحقًا وفي الفصل السابع سندرس ذلك بتوسُّع.

فعالية 6.2 اصطدام الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة بالمادّة – استعمال المحاكاة

سنرى في هذه الفعّاليّة ماذا سيحدث عند تعريض الموادّ للأشعّة وسنفهم معنى الإشعاع المؤيّن.

افتح المحاكاة التالية على جهاز الكمبيوتر الخاص بك[29].

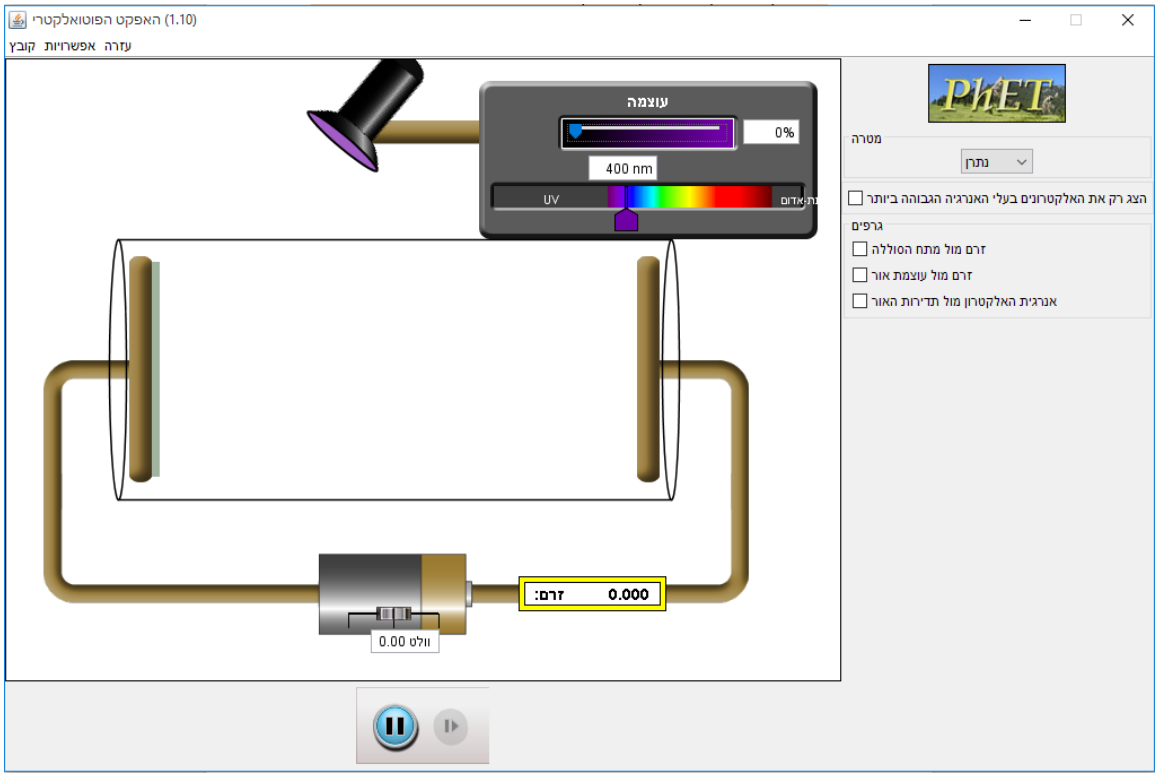
http://phet.colorado.edu/sims/photoelectric/photoelectric_iw.jar

سيظهر أمامك مصباح مشتعل مُوجّه نحو الهدف الذي هو بمثابة لوحة بُنِّية على الجهة اليُسْرَى. يمكنك في هذه المحاكاة التحكّم في شدّة الضوء عن طريق تحريك علامة الشدّة من 0٪ إلى 100٪، وفي طول الموجة عن

[29] . PhET Interactive Simulations, University of Colorado, Boulder, https://phet.colorado.edu

طريق تحريك مؤَشّر طول الموجة على امتداد الطيف من 100 إلى 850 نانومتر، كذلك يمكنك اختيّار نوع مادّة الهدف من على يمين الشاشة.

في هذه الفعّاليّة، احرص على جَعْل جهد البطارية صفرًا، بحيث لا تؤثّر الدائرة الكهربائيّة على نتائج القياس.



صورة 6.3 تعريض الهدف للأشعّة – صورة للشاشة من داخل المحاكاة (المصدر: أنظر ملحق جـ)

1. ضَع لوحة الصوديوم لتكون الهدف في هذه المحاكاة، واجعل طول الموجة 100nm (100 - نانومتر[30])، أيّ لأقصر طول موجة ممكن، ثمَّ زد شدّة الضوء من 0% إلى 1%. فهل انطلقت إلكترونات من الهدف؟
2. زد شدّة الضوء تدريجيا إلى 100%. صِف تأثير شدّة الضوء على انطلاق الإلكترونات.
3. أوقف المحاكاة، اجعل الآن طول الموجة 850nm، أيّ لِأكْبَر طول موجة ممكن، ثمَّ اجْعَل شدّة الضوء صفرًا (0%). شَغِّل المحاكاة وزد تدريجيا من شدّة الضوء. هل انطلقت إلكترونات من الهدف؟
4. ما هو أكْبَر طول موجة يستطيع تأيين ذرّات الصوديوم في لوحة الهدف؟

[30] . الوحدات التي سنُعَبِّر بها عن طول الموجة في هذه المحاكاة هي النانومتر، وهي واحد من مليون من المليمتر، أي أنّها 10^{-6} مليمتر أو 10^{-9} متر. أنظر ملحق وحدات القياس.

5. هل إجابتك في البند 4 متعلّقة بشدّة الضوء؟ علّل!
6. استبدل المادّة المصنوعة منها لوحة الهدف. بدلًا من الصوديوم اختر الزنك أو النحاس أو البلاتين أو الكالسيوم، وأكمل الجدول.

المادة	أكبر طول للموجة قد يؤديّ إلى التأيُّن
الصوديوم	
الزنك	
النحاس	
البلاتين	
الكالسيوم	

الخلاصة: لكلّ مادّة يوجد تردُّد حَرِج للتأيّن، والذي يقابله طول موجة حَرِج. الأشعّة التي يكون تردُّدها أكبَر من التردُّد الحَرِج وطول موجتها أقصر من طول الموجة الحَرِج سوف تُؤَيّن ذرّات المادّة. بينما الأشعّة التي يكون تردُّدها أقلّ من التردُّد الحَرِج وطول موجتها أكبَر من طول الموجة الحَرِج لا تُسبّب تأيُّن ذرّات المادة، حتّى وإن قمنا بزيادة شدَّتها.

الأشعّة المؤيّنة هي الأشعّة التي من الممكن أنّ تؤَدّي إلى تأيُّن الذرّات في جسم الإنسان، ولأنَّ جسم الإنسان مُكَوَّن من موادّ مختلفة، لذا لا توجد قيمة محدّدة للتردُّد الحَرِج الذي يفصل بين جعل الذرّات تتأيّن أم لا.

حدَّد المختصون في هذا المجال أنّ الموجة التي طولها يزيد عن 124 نانومتر وتردّدها أقلّ من $2.4x10^{15}$ هيرتس هي أشعّة غير مؤيّنة. لقد حدَّد المختصون قيمة التردُّد الحرج بـ $2.4x10^{15}$ هيرتس ليكون أقلّ من التردُّد الحرج لكلّ من الأكسجين والهيدروجين والماء الموجود في الجسم وهذا التردُّد يدخل في منطقة الأشعّة فوق البنفسجيّة[31].

[31] . المصدر:

Questions and Answers about Biological Effects and Potential Hazards of Radiofrequency Electromagnetic Fields. Robert F. Cleveland, Jr. Jerry L. Ulcek, Office of Engineering and Technology, Federal Communications Commission Washington, D.C. 20554

الطالبة شمس النور: وماذا عن الأشعّة غير المُؤيّنة؟ هل يمكن أنّ تؤذيني؟

د. نوره الحكيم: إنّ التعرّض للأشعّة غير المؤيّنة ذات الشدّة العالية، ولفترة طويلة، قد يضُرّ بالصحّة. سنناقش هذه القضيّة في الفصل 9. في الواقع، لم يُقَدِّم العلّم إجابة واضحة عن ضَرر الأشعّة غير المؤيّنة على صحّة الإنسان وإلى أيّ مدى، والذي قد يحدث في حالة التَعَرُّض المستمرّ لها. وما زالت هذه الظاهرة قيد دراسة الباحثين بُغية تقديم الإجابات عن تساؤلات كهذه.

نُشِر في الصحافة الشعبيّة والمهنيّة وعلى مدار سنوات عديدة تقارير عن الأشخاص الذين يعتقدون أنهم حسّاسون للأشعّة غير المؤيّنة، وفيها كانت الأعراض التي اشتكوا منها مختلفة جدًّا. لم تجد معظم الدراسات التي فحصت موضوع الحساسيّة للأشعّة أيّة علاقة بين التَعَرُّض للأشعّة غير المؤيّنة وبين الأعراض المُمَيِّزة للحسّاسيّة بسبّب الأشعّة. مع ذلك، توجد دراسات تُشير إلى إمكانيّة وجود مثل هكذا علاقة، والأمر ما زال قيد البحث.

كما يظهر في الصورة 1-6، فإنّ طيف الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة لا ينقسم فقط إلى أشعّة مؤيّنة وأشعّة غير مؤيّنة، بل نرى انّه يَشمل سبعة مجالات لها أطوال أمواجها الخاصة وتختلف في التردُّد ومصادر الأشعّة وفي استخداماتها. ستجِد في التقارير التالية معلومات تتعلّق بمناطق الطيف المختلفة.

أشعّة الراديو

تَشْمل أشعّة الراديو أمواجًا إلكترومغناطيسيّة تكون تردّداتها بين 3 كيلو-هيرتس و300 جيجا-هيرتس.

وتتراوح أطوال أمواج الراديو بين 1 ميلليمتر و 100 كيلومتر. وتُستخدَم هذه الأمواج في الاتّصالات اللاسلكيّة، مثلًا: نقل البثّ الإذاعي، والتوجيه عبر الأقمار الاصطناعيّة وأنظمة الرادار (أجهزة تحديد الاتّجاه والمسافة) وغيرها.

لأمواج الراديو أطول الأمواج وأقل تردُّد في طيف الأمواج الإلكترومغناطيسيّة. كما سندرس في الفصل 7، فإنّ مقدرة الأمواج على اجتياز الحواجز مثل الجدران أو الأشجار تعتمد على طول الموجة. فكلما كَبُر طول الموجة زادت مقدرة الأمواج على اجتياز حواجز أطول. لذا نَجِد أنّ أمواج الراديو هي الأنسب للبَثّ الإذاعيّ بعيد المدى. كما ويمكن استقبال أمواج الراديو القادمة من الفضاء الخارجيّ وأيضًا نقل أمواج الراديو إلى الفضاء للتواصل مع المركبات الفضائيّة والأقمار الاصطناعيّة.

أشعّة الميكرو

أمواج الميكرو هي أمواج راديو مع تردُّدات عالية نسبيًّا، وهي أمواج إلكترومغناطيسيّة تردّداتها تقع بين 300 ميغا-هيرتس و300 جيجا-هيرتس. تتراوح أطوال أمواج الميكرو بين 1 ميلليمتر و- 1 متر. تُستخدم أمواج الميكرو في مجموعة واسّعة من الأجهزة، مثل: الميكروويف، والهواتف المحمولة، والهواتف اللاسلكيّة، وأجهزة التوجيه اللاسلكيّة وغيرها. تُستخدم في الميكروويف لتسخين الطعام أمواج تردُّدها 2450 ميجا-هيرتس. هذا التردُّد مناسب لابتلاعه من قِبَل جزيئات الماء أو الزيوت. هكذا يُسَخِّن فرنّ الميكروويف الأقسام الرطبّة من الطعام. ولهذا السبّب أيضًا، عندما تُسَخِّن كعكة باستعمال فرنّ الميكروويف، تَسْخُن حشوة الكعكة أكثر من عجينة الكعكة.

الطالبة شمس النور: لقد تعلّمنا أنّه كلما كان التردُّد أقلّ وطول الموجة أكبر فإنّه يزداد مدى بثّ الأمواج. إذا كان الأمر كذلك، فَلِماذا تعتمد الاتّصالات اللاسلكيّة على أمواج الميكرو ولا تعتمد على أمواج الراديو منخفضة التردُّد؟

السيّد منير الضياء: هناك حالات نرغب فيها أنّ يكون بثُّ الأمواج لمسافة محدودة فقط. مثلًا، المُوَجِّه اللاسلكيّ يوفر لنا شبكة لاسلكيّة لأجهزة الكمبيوتر المجاورة (في البيت أو المكتب). كذلك، تمّ تصميم هوائيّ الهواتف الخلويّة للتواصل مع الهواتف الخلويّة الموجودة في الأماكن القريبة فقط، وليس مع جميع الهواتف الخلويّة في البلاد. تخصّص الدولة تردّدات للاستخدامات المختلفة: التردُّدات المُنْخفضة من أشعّة الراديو تخصّص للبثِّ الإذاعي في الراديو والتلفزيون لجميع أنحاء الدولة، في حين تخصّص الدولة التردُّدات الأعلى للاتّصالات اللاسلكيّة.

الأشعّة تحت الحمراء

الضوء الأحمر يقع في الحدّ الأقصى للضوء المرئيّ، كما سنتعلّم لاحقًا. أمّا الأشعّة تحت الحمراء فهي أشعّة إلكترومغناطيسيّة ذات تردُّد أقلّ من تردُّد الضوء الأحمر، ومن هنا اسمها (Infra - تحت). يتراوح نطاق أمواج الأشعّة تحت الحمراء من 300 ميغا-هيرتس إلى 430 تيرا هيرتس، ويتراوح طول أمواجها من 1 ملم إلى 0.7 ميكرو- متر.

تعلّمنا في الفصل 1، أنّ كلّ جسم ساخن يُطلِق أشعّة. يتعلّق تردُّد الأشعّة بدرجة الحرارة على النحو التالي: كلما ارتفعت درجة حرارة الجسم الذي تَنطَلِق منه الأشعّة، زاد تردُّد الأشعّة المنطلقة. تُطْلِق الشمس (والتي تبلغ درجة حرارة سطحها نحو 5500 درجة مئويّة) أشعّة مرئيّة في مجال تردُّد الضوء المرئيّ. كما وأنّ جسم الإنسان، من جهة أخرى، يَصْدُر عنه أشعّة مُنْخَفضة التردُّد، والتي لا تستطيع عين الإنسان التفاعل معها. توجد وسائل خاصة للرؤية الليليّة يمكنها امتصاص الأشعّة تحت الحمراء من جسم الإنسان أو من الأرض أيضًا.

فعالية 6.3 كيف يعمل جهاز التحكّم عن بعد؟

تُسْتَعْمَل أمواج الأشعّة تحت الحمراء أيضًا في البثّ لمسافات قصيرة، على سبيل المثال، من جهاز التحكّم عن بُعد إلى التلفزيون. شاهِد الفِيلم "كيف يعمل جهاز التحكّم عن بُعد؟" من حلقات "العلوم البيتيّة"، بإشراف الدكتور أفي سايغ من معهد دافيدسون لتدريس العلوم[32].

أجب عن الأسئلة التالية:

1. لأيِّ مجال في طيف الأمواج الإلكترومغناطيسيّة تنتمي الأشعّة الصادرة من جهاز التحكّم عن بُعد؟
2. لماذا يَتوجّب تَصْوير جهاز التحكّم عن بُعد لِرُؤية الأشعّة الصادرة منه؟
3. كيف يمكن تَشْغيل المُكَيِّف بجهاز التحكّم عن بُعد؟ ما هو الفرق بين الأشعّة الصادرة عنه لتشغيل المكيِّف وبين الأشعّة الصادرة عنه لرفع درجة الحرارة؟
4. فسِّر كيف يستطيع الثعبان اكتشاف الفريسة المختبئة خلف صخرة.
5. لماذا لا يستطيع الإنسان اكتشاف الحيوانات المُختبئة خلف الصخور؟

[32] https://www.youtube.com/watch?v=gKl6n0YaO8E&feature=youtu.be

الضوء المرئيّ

مجال الضوء المرئيّ يشمل الأمواج الإلكترومغناطيسيّة التي يمكن للعين البشريّة أنّ تَلتقطها وتَتفاعل معها. يتراوح تردُّد هذه الأمواج 340-790 تيرا-هيرتس وأطوال أمواجها 380-700 نانو- متر. سنتعلّم في الفصل الثامن عن مجال الضوء المرئيّ وعن الرؤية بتوسُّع.

للتوسُّع: النانومتريّة وتقنيّة النانو

اكتسبت **تقنيّة النانو** اسمها من وحدة قياس النانو- متر المستعملة لقياس الأبعاد النانومتريّة. لقد نجح باحثو تقنيّة النانو الدكتور أُوهد زوهر، والدكتور أليكس لاهاف وبروفيسور أوري سيفان من التخنيون من كتابة التوراة كاملة على شريحة السيليكون بحجم أصغر من حجم حبة الأرز! ويمكن رؤية ذلك في متحف إسرائيل في القدس.

لقد ذُكِرت كلمة نانوس (Nannus، القزم في اللغة اليونانية) في كتاب الميشناه المقدس لدى اليهود، وقد عُرِّفَت وحدة القياس التي قَدْرُها واحد نانو- متر، على أنَّها عدد النانومترات التي توضع بها على امتداد حبة الزيتون وهو نفس عدد حبّات الزيتون التي توضع على امتداد قطر الأرض.

الأشعّة فوق البنفسجيّة

إنّ تردُّد أشعّة اللون البنفسجيّ هو التردّد الأعلى الذي تستطيع العين البشريّة إدراكه. أمّا الأشعّة فوق البنفسجيّة فهي أشعّة ذات تردُّد أعلى من تردُّد أشعّة اللون البنفسجيّ، ويبلغ نطاق تردُّداتها من 790 – 3,000 تيرا-هيرتس وتبلغ أطوال أمواجها من 10 – 380 نانو- متر. ينقسم مجال الأشعّة فوق البنفسجيّة إلى ثلاث مناطق فرعيّة:

- **UVA** – أطوال أمواج هذه الأشعّة كبير نسبيًّا ويتراوح بين 315 – 380 نانو- متر وهي الأقرب إلى أمواج الضوء المرئيّ. الشمس هي مصدر هذه الأشعّة وتصل الكرة الأرضيّة عَبْر غلافها الجوي. إنّ التعرُّض لأشعّة الشمس هذه قد لا يؤديّ إلى حروق في الجسد لكنّه على المدى البعيد قد يُسبّب ضررًا.
- **UVB** – أطوال أمواج هذه الأشعّة يتراوح بين 280 - 315 نانو- متر؛ أمّا الغلاف الجوي هنا، فله دور كبير إذ يحجب معظم هذه الأشعّة، والقسم الصغير من هذه الأشعّة الذي قد يصل سطح الأرض يمكن أنّ يُؤذي العينين والجلد، الأمر الذي قد يتسبّب في حروق.

- **UVC** – أطوال أمواج هذه الأشعّة قصير نسبيًّا ويتراوح طول موجتها بين 10 – 280 نانو- متر، والغلاف الجوي يمنع وصولها إلى سطح الأرض. هذا النوع من الأشعّة فوق البنفسجيّة خطير جدًّا لكلّ كائن حي، ويُسْتَخْدَم في الصناعة للقضاء على البكتيريا، مثلًا يُسْتَعْمل في عمليّات تنقية المياه وتطهير المعدات الطبّية.

إنّ 99% تقريبًا من الأشعّة فوق البنفسجيّة، التي تصل سطح الكرة الأرضيّة، هي من نوع UVA و- 1% تقريبًا من الأشعّة هي من نوع UVB.

أشعّة X أو أشعّة رونتجن

أشعّة X مُؤَينِة تتراوح أطوال أمواجها بين 5 بيكو- متر و- 10 نانو- متر. توجد لهذه الأشعّة قدرة عالية لاختراق العديد من الموادّ، بشكل خاصّ اختراق الأنسجة الرخوة، لكنّها لا تستطيع اختراق العظام لأنّها أكثر كثافة من الأنسجة الرخوة. لقد اكتشف العالم الألماني رونتجن هذه الأشعّة صُدْفة في منتصف القرن التاسع عشر، ومنذ ذلك الحين استطاع العلّماء استخدامها في العديد من المجالًات، منها:

- الصور الطبّية للكشف عن كسور العظام أو عن ثقوب الأسنان.
- صور المباني للكشف عن الشقوق فيها.

منذ خمسينيّات القرن الماضي، ازداد الوعي الصحيّ لدى الناس من المخاطر الصحيّة الناجمة عن التعرّض للأشعّة المؤيّنة، لذا ازداد اتّخاذ الاحتياطات الضروريّة من أشعّة X. هكذا نرى اليوم عند التصوير بأشعّة X يوضع على المريض مِئْزَر من الرصاص وظيفته امتصاص الأشعّة، على هذا النحو تتمّ وِقاية أعضاء الجسم التي لا توجد حاجة لتعريضها للأشعّة أثناء التصوير. كذلك الأمر، فإنّ إجراء عمليّات التشخيص باستعمال جهاز CT الذي خلال عمله يتعرّض المريض لكميّة كبيرة جدًّا من الأشعّة، والتي قد تساوي 100 ضعف من كميّة الأشعّة المُستعملة في التصوير بأشعّة X، لذا يُوَجَّه المريض لهذا النوع من التشخيص فقط في الحالات التي يتأكَّد بها الأطبّاء أنّ الفائدة أكبر من الضَّرر الذي قد يُصاب به المريض. سندرس استخدامات الأشعّة الطبّية بالتفصيل في الفصل العاشر.

أشعّة جاما γ

هذا النوع من الأشعّة مُؤيِّن وأطوال أمواجه أقصر من 5 بيكو- متر. إنّ إصابة أشعّة جاما للخلايا الحيّة خَطِرة جدًّا وقد تُسبّب مَقتل الخلية. تنطلق أشعّة جاما من تفاعلات الاضمّحلال النوويّة المشعّة، أيّ من التفاعلات التي فيها تفقِد الذرة هويّتها وتتحوَّل إلى ذرة أخرى وغالبًا ما تكون الذرة الوَليدَة أكثر استقرارًا من الذرة الوالِدَة، يصاحب مثل هذا التفاعل انطلاق طاقة على شكل أشعّة. غالبًا ما تحدث التفاعلات النوويّة بشكل سلسلة تفاعلات: تفاعل يحدث لِذرة واحدة يَصدُر عنه إشعاع آخر الذي بدوره يُنَشِّط تفاعلًا مماثلًا في الذرّات المحيطة. هذه الأشعّة خطيرة جدًّا لأنّها تُؤَيِّن وبالتالي قد تُسبّب ضررًا للخلايا الحية، خاصّةً وأنّ انطلاق الأشعّة قد يؤديّ إلى سلسلة من التفاعلات التي "ستَسْحَب" معها ذرّات إضافيّة للمشاركة، الأمر الذي يؤديّ إلى زيادة وتيرة انطلاق الأشعّة بشكل ملحوظ.

تفاعلات الاضمّحلال المشعّة تَحدُث في قلب الشمس فتَنْدَمِج أَنْوِية ذرّات الهيدروجين لِتُكَوِّن أنوية ذرّات الهيليوم. لحسن الحظ، الأشعّة المنطلقة من مثل هذه التفاعلات تَبْتَلِعُها الشمس ولا تصل الأرض. تحدث عمليّة اندماج نوويّ مشابهة أثناء انفجار القنبلة الهيدروجينيّة، أمّا في القنبلة الذرية فتحدُث عمليّة انشطار أنوية اليورانيوم خلال سلسلة تفاعلات نوويّة تؤَدّي إلى انطلاق أشعّة جاما.

نَذْكُر هنا أنّ الأشعّة النوويّة تَشْمَل، بالإضافة إلى الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة أو أشعّة جاما، أيضًا أشعّة ألفا وأشعّة بيتا. تَنْطَلِق أشعّة ألفا وبيتا وجاما خلال عمليّات الانشطار النوويّ والاندماج النوويّ. إذ أنّه تنبعث، بالإضافة إلى أشعّة جاما، جُسيمات ذات طاقة عالية تسمّى جسيمات ألفا وجسيمات بيتا.

هذا الكتاب لا يبحث في الأشعّة النوويّة، مع هذا سَنَذكُر هنا استعمالات الأشعّة النوويّة وأهميتها في الطبّ، وخاصّةً استخدامات أشعّة جاما في الطبّ. على سبيل المثال، تُستَعمل أشعّة جاما في معالجة مرض السرطان وفي عمليّات توليد الطاقة. محطّات الطاقة النوويّة هي من أكثر مصادر توليد الطاقة كفاءة، ذلك من حيث النسبة بين كميّة الموادّ الخام المستعملة وبين كميّة الطاقة الناتجة. مع ذلك فإنّ استخدام الطاقة النوويّة هو أمر مثير للجدل، ذلك بسبّب الخوف من الحوادث الرهيبة التي حدثت مع المفاعلات النوويّة، كتلك التي حدثت للمفاعل في تشرنوبيل الروسيّة وفي فوكوشيما اليابانيّة.

فعالية 6.4 التعرُّف على الطيف

1. أمامك جدول يقارن بين مختلف مناطق الطيف الإلكترومغناطيسيّ. أكمل الجدول بناء على المعلومات التي سبق ودرسناها.

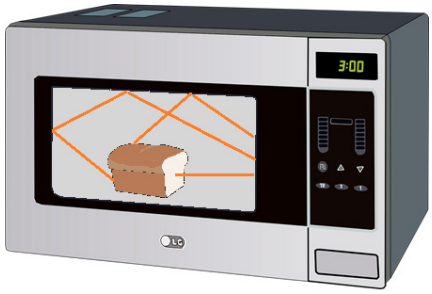
معايير المقارنة	طول الموجة	الاستعمالات	الخطورة (إذا وُجِدت)
أشعّة الراديو			
أشعّة الميكرو			
أشعّة تحت الحمراء			
أشعّة الضوء المرئيّ			
أشعّة فوق البنفسجيّة			
أشعّة X			
أشعّة جاما			

2. هنا يتوجّب عليك ملاءمة الصور التالية مع المنطقة المناسبة في طيف الأمواج الإلكترومغناطيسيّة.

أ- حدّد أطوال الأمواج الملائمة لهذه الصورة:

صورة 6.4 مجموعة من التلِسكوبات في نيو- مكسيكو، الولايات المتحدة الأمريكية. وظيفتها إلتقاط الأشعّة من الفضاء الخارجيّ التي يتراوح أطوال أمواجها بين 0.6 – 4.1 مترًا (المصدر: أنظر ملحق جـ)

ب- حدّد أطوال الأمواج الملائمة لهذه الصورة:



صورة 6.5 تسخين الطعام باستعمال جهاز الميكروويف (المصدر: أنظر ملحق جـ)

ج- حدّد أطوال الأمواج الملائمة لهذه الصورة:

صورة 6.6 الصورة لإوزّة تمّ تصويرها بآلة تصوير حراريّة وتشاهد على يمين الصورة مقياس فهرنهايتي لقياس درجة جسم الوزّة (المصدر: انظر ملحق جـ)

د- حدّد أطوال الأمواج الملائمة لهذه الصورة:

صورة 6.7 عند إضاءة بطاقة الفيزا القديمة باستعمال ضوء تردّده أعلى بقليل من تردُّد الضوء المرئيّ، ستظهر لك صورة طائر "مختفية" لمنع التزييف. عند إضاءة بطاقات ائتمان الشركات المختلفة بالأشعّة فوق البنفسجيّة ستظهر لك أحرف أو رموز مختلفة (المصدر: أنظر ملحق جـ)

هـ- حدّد أطوال الأمواج الملائمة لهذه الصورة:

صورة 6.8 صورة كَفّ اليد باستعمال أشعّة رونتجن، أُشرنا بسهم إلى الكُسر في احدى العظام (المصدر: أنظر ملحق جَـ)

و- حدّد أطوال الأمواج الملائمة لهذه الصورة:

صورة 6.9 صورة الغيمة التي نتجت عن إلقاء القنبلة النوويّة على مدينة ناغازاكي في اليابان خلال الحرب العالمية الثانية (المصدر: أنظر ملحق جَـ)

فعالية 6.5 الطيف في الأخبار

السيّد يعقوب الصحاف: نحن نبحث عن مراسل جديد للمواضيع العلميّة لصحيّفتنا. بعد تَفَحُّص السيرة الذاتية للعديد من المرشحين، وصل المرحلة الأخيرة ثلاثة مرشّحين. طلبنا من المرشحين الثلاثة إرسال مثال على مقال كتبوه يتناول موضوعًا علميًّا. هل يمكنك مساعدتنا في اختيّار المراسل من بينهم؟

- اقرأ المقالات التي أرسلها المرشحون
- قارن بينها باستخدام الجدول المرفق.
- يتوجّب مناقشة المقالات والتصويت عليها في الصّف. أيّ من المراسلين تقبلونه للعمل في الصحيّفة؟ لماذا؟

جدول مقارنة بين المقالات

المقالة	حقيقة الفُشَّار - المحمول	المُتَفرجون في الظلام: تعرَّف على الهاتف الحراريّ	القضاء على البكتيريا
1) مجال الطيف الذي تبحث به المقالة			
2) ما هي المعلومات العلميّة، مثل الحقائق أو التساؤلات أو التفسيرات التي في صُلْب المقالة؟			
3) إلى أيّ مدى قُدِّمت المعلومات بشكل واضح بما فيه الكفاية، لكلّ انسان ليس خبيرا في هذا المجال؟			
4) ما هي مصداقية المقالة للحياة اليوميّة؟ فَسِّر!			
5) هل تعتمد المقالة على مصادر موثوق بها؟ فَسِّر!			
6) هل المقالة موضوعيّة؟ فَسِّر!			
7) برأيك، ما هو موقف كاتب المقالة من الموضوع الذي تتحدّث عنه؟			
8) كيف يمكن، حسب رأيك، تحسين المقالة؟			

المقالة الأولى: الفُشار[33] بالهاتف المحمول[34] - الحقيقة

ظهرت في السنوات الأخيرة، مقاطع فيديو عديدة تَعْرِض عددًا من الهواتف المحمولة المَوَّجَهة نحو عدد من حبّات الذرة. كما وتُظهر مقاطع الفيديو عند الاتّصال بالهواتف المحمولة، انفجار حبّات الذُّرة في ثوان وقفزها وتحوّلها إلى فُشار. إنّ مقاطع الفيديو المُسَلّية من هذا النوع تثير قلقًا كبيرًا لدى العامة - إذا كانت بعض الهواتف المحمولة قادرة على تفجير حبّات الذرة، إذن نحن في خطر كبير أثناء استعمالها!

لمعرفة ما إذا كانت مقاطع الفيديو حقيقيّة، تحدّثت مع يحيى مصالحة، مهندس كهربائيّ، الذي قال أنّ التسخين باستعمال جهاز الميكروويف هو في الواقع تعريض الأغذية لأشعّة تردُّدها مساو 2,450 ميغا-هيرتس، التي تَبْتَلِعها جزيئات الماء والتي تُؤدّي إلى اهتزاز الجزيئات ورفع درجة حرارتها. القسم الداخليّ من حبيبات الذرة رطبّ وتُغَلّفه القشرة الصلبة غير الشفّافة. هكذا، وخلال عمليّة تسخين حبيبات الذرة في الميكروويف، يَسْخُن داخلها فقط واستمرار التسخين يُسبّب سخونة القسم الداخليّ من نواة الذُّرة أكثر فأكثر، الأمر الذي يؤديّ إلى انطلاق البخار من حبيبات الذُّرة "انفجار" الغلاف، وبنفس الوقت تَتَشكّل سحابة بيضاء، هي الفشار الجاهز.

إنَّ نجاح العمليّة التي ذُكِرت في الفقرة الأولى، من هذا البند، يَتطلّب أنّ يكون تردُّد الأشعّة المنطلقة من الهواتف المحمولة مساويا للتَّردُّد الذي تَبْتَلِعه جزيئات الماء. الهواتف المحمولة وأجهزة الاتّصال الأخرى مثل: جهاز التوجيه اللاسلكيّ والهاتف اللاسلكيّ يُطلِق أشعّة قريبة من تردُّدات فرنّ الميكروويف. وهذا هو السبّب لسُخونة الأُذُن بعد محادثة طويلة بالهاتف المحمول. مع ذلك، فإنّ شدّة الأشعّة المنطلقة من الهاتف المحمول قليلة جدًّا بالمقارنة مع شدّة الأشعّة المنطلقة من جهاز الميكروويف. عمليّا، يلزم أنّ يتزامن استعمال 1000 هاتف محمول لتكون شدّة الأشعّة مساوية لشدّة الأشعّة في جهاز الميكروويف. لكن، بطبّيعة الحال، فإنّه لا يمكن توجيه هذا العدد الكبير من الهواتف المحمولة إلى حبيبات الذرة. ومن جهة أخرى، إنّ تزامن تشغيل مثل هذا العدد من الهواتف المحمولة القريبة من بعضها سيضغط كثيرًا على الهوائيّ وسَيُسبّب تشويشات في الاتّصال. الاستنتاج الحتميّ ممّا تقدّم هو أنّ الفشار لا يمكن إعداده باستخدام الهواتف المحمولة.

إذن ما الذي نراه في الفيديو؟ أين الخُداع فيه؟ في هذا النوع من أفلام الفيديو، يتمّ إخفاء الجهاز الذي يُطلِق الأشعّة (Magnetron) من جهاز الميكروويف تحت الطاولة حيث وضعت حبيبات الذُّرة. وعند تشغيل

---

[33]. الفُشَار: هو الذرة المفرقعة بالحرارة [المترجم].

[34] . تعتمد هذه المقالة على مقالة كتبها أورين فاربر، أستاذ العلوم ورائد الأعمال في مجال التربية، من سنة 2008: http://orenmada.net/archives/48124, ومقالة كتبها د. أريه ملميد- كاتس، مهندس إلكترونيكا ود. فيزياء، من سنة 2009: http://arie-science.blogspot.co.il/2009/05/blog-post.html

الميكروويف، تُفَجِّر الأشعّة المنطلقة من المَغْنِطْرُون حبيبات الذُّرة. إنّ اخفاء الميكروويف عن الكاميرا أو قُل عن أعين المشاهدين يَزيد من قناعة مشاهدي الفيديو أنّ الهاتف المحمول هو الذي أعَدَّ الفشار.

كانت بداية انتاج مقاطع الفيديو هذه لاستخدامها في إعلانات تسويق سماعات الأذن (Bluetooth)، الهدف من ذلك كان إخافة الجمهور وتشجيع استخدام سماعات الأذن التي تقلّل من شدّة الأشعّة التي قد تَضُرُّ الدماغ أثناء استخدام الهاتف المحمول. لذا يُنْصح استخدام سماعات الأذن. لكن تَذَكَّر دائما أنّ رؤوسنا لن تنفجر كحُبَيبات الفُشار.

أخيراً نُقَدِّم لكم ملاحظة تحذيرية: إنّ تفكيك أفران المايكروويف عمليّة معقدّة وخطيرة، ولا يمكن أنّ يقوم بها إلا مُخْتَصّ مُحترف. لذلك، تجنّب محاولات إعادة التجربة التي وَرَدَت في مقاطع الفيديو باستخدام المَغْنِطْرُون مخفي تحت الطاولة، ذلك لأنّ الأشعّة المنطلقة منه خطيرة.

المقالة الثانية: المُتَفرجون في الظلام - تعرَّف على الهاتف الحراريّ[35]

سوق الهواتف الذكيّة ما زال يُقَدِّم المفاجأة لنا جميعا. بين الحين والآخر نسمع عن الاختراعات التي ستجعل الهاتف أكثر تطوراً وإفادته ازدادت وإثارته غير محدودة. تُعتبر آلة التصوير (الكاميرا) الحراريّة الجديدة (Therm-App) التي طَوَّرتها شركة أوب-جل الإسرائيليّة، وهي ابتكار مثير للاهتمام. إنّه جهاز صغير يُمكن توصيله بالهاتف الذكي، وهكذا نحصل على آلة تصوير تستقبل ضوءًا في مجال الأشعّة تحت الحمراء.

ما الذي سنراه باستعمال الأشعّة تحت الحمراء؟ في الواقع كلّ واحد منا وكل شيء يصدر عنه إشعاع وِفقًا لدرجة حرارته. كلما ارتفعت درجة الحرارة، ارتفع تردّد الأشعّة المنطلقة من الجسم وكان طول الموجة المُنطلقة أقصر. والشمس، التي تبلغ درجة حرارة سطحها حوالي 5500 درجة مئويّة، تَنطلِق منها أشعّة في النطاق المرئيّ. تَنْطَلِق من مصادر الحرارة على سطح الأرض أشعّة طول موجتها أطول والتي تنتمي إلى مجال الأشعّة تحت الحمراء. عن طريق تحديد الأشعّة تحت الحمراء وقياس طول موجتها، يمكننا الكشف عن مصادر الحرارة وقياس درجة حرارتها.

العديد من أجهزة الأشعّة تحت الحمراء الموجودة حاليًا غالبًا ما تكون مخصّصة لاستخدام قوات الأمن وفرق الإنقاذ. إنّ متابعة الأشعّة تحت الحمراء، الصادرة من أجسام الناس، تُمَكِّن الكشف عن قوات عسكريّة أو جرحى

[35] . تعتمد هذه المقالة على مقالة كتبها شاحر شوشان، مراسل التجديدات والتكنولوجيا وقد نُشِرت في موقع **Ynet** سنة 2014.
http://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-4509769,00.html

في الميدان. كما ويَسْتَخدِم الموسَرْجِيّون أجهزة الأشعّة تحت الحمراء لتحديد موقع أنابيب المياه والكشف عن مناطق الأنابيب التي تُسَرِّب الماء داخل الجدران. كذلك، يَسْتَخدِم الأطبّاء والبيطريون الرؤية بالأشعّة تحت الحمراء لتتبُّع تطورّ الالتهابات لدى المرضى: لأنّ مناطق الالتهاب تَسْخُن أكثر لذا طول موجة الأشعّة المنطلقة منها يختلف قليلًا عن المناطق الصحيّة في الجسم.

والآن، يمكن لجميع الهواتف الذكيّة الاتّصال بآلة التصوير Therm-App لتحويلها إلى مقياس لدرجة حرارة، كما ويمكننا تتبُّع الأشعّة تحت الحمراء في الحياة اليوميّة أيضًا. على سبيل المثال، يمكنك تصوير الطعام الذي سَخَّنته بالفرن والتأكّد أنّ درجة حرارة داخل الطعام قد وصلت الدرجة المطلوبة، كذلك يمكنك المشي ليلًا في البريّة والكشف من مسافة آمنة عن حيوانات البريّة التي ستظهر لك على شاشة آلة التصوير الحراريّة.

المقالة الثالثة: القضاء على البكتيريا[36]

الأشعّة المؤيّنة هي ليست فقط خطيرة وإنّما خطيرة جدًّا. عندما تصطدم هذه الأشعّة بالكائن الحي، فإنّها تسبّب تغيرات (طفرات) في بنية المادّة الجينيّة. في كتب الصور المتحرّكة، يمكن لهذه الطفرات تحويل طالب عادي في المدرسة الثانويّة إلى "الرجل العنكبوت" سبايدرمان. على أرض الواقع، إنّ التعرُّض لمستويات عالية من الأشعّة المؤيّنة تؤَدّي غالبًا إلى أمراض سرطان وأحيانًا إلى الموت أيضًا. هكذا، تتجلّى أمامنا المقدرة الهائلة لهذه الأشعّة والتي يمكن استخدامها في تعقيم الموادّ وتطهيرها من البكتيريا.

في العديد من مُنَقِّيات المياه أُضِيفَ مصابيح تُطلق أشعّة UV. وظيفة هذه المصابيح هو إطلاق أشعّة فوق بنفسجيّة UVC بأمواج ذات أطوال قصيرة نسبيًا، وذلك لِقَتْل البكتيريا الموجودة في الماء أو على الأقل لِوقْف تكاثرها. في السنوات الأخيرة، قُدِّمت اقتراحات جدية لتنقية مياه الصرف الصحيّ المستخدِم ة في رَيِّ المحاصيل الزراعيّة باستعمال الأشعّة فوق البنفسجيّة. اليوم، تتمّ تنقية هذه المياه بإضافة الكلور الذي يقتل البكتيريا. هناك العديد من الإشكالات باستعمالات هذه الطريقة، فيتوجّب بهذه الطريقة تخصيص حاويات خاصة لخلط الكلور في الماء، ولكن هناك خطر آخر باستعمال الكلور إذ يتمّ امتصاصه مع الماء في المحاصيل الزراعيّة الأمر الذي يَضُرّ بصحّتنا. علاوة على ذلك، بعد سنوات من استخدام الكلور، طُوِّرَت أنواع مختلفة من البكتيريا مقاومة

[36] . تعتمد هذه المقالة على مقالة كتبها د. درور بار نير من دائرة العلوم الطبيعية وعلم الأحياء في الجامعة المفتوحة. نُشِرت المقالة في مجلة جاليليو سنة 2007. كما ونُشِرت هذه المقالة في موقع http://www.hayadan.org.il/on-bacteria-and-radiation-0412073. كما وتجد معلومات إضافية في موقع شركة شور-وان http://www.sorvan.co.il.

لمحلول الكلور في الماء. من ناحية أخرى، فإنّ استعمال الأشعّة فوق البنفسجيّة سيضمّن تعقيمًا ناجعًا سريعًا للمياه، هكذا نحصل على مياه نظيفة من البكتيريا وخالية من المركبات الكيميائيّة.

تُستخدم الأشعّة فوق البنفسجيّة في تطهير غرف العمليّات من البكتيريا، ويتمّ ذلك عندما تكون غرف العمليّات في المستشفيات فارغة، حيث الأشعّة فوق البنفسجيّة تُستخدم لِقَتل جميع أنواع البكتيريا في الغرفة.

تخضع بعض المنتجات لعمليّة تعقيم باستعمال أشعّة تكون طاقتها أكبر من طاقة الأشعّة فوق البنفسجيّة. لهذا الأمر تُستَخدم أشعّة جاما المنطلقة من تفاعلات الاضمّحلال النوويّة بانتظام في الصناعة، وذلك من أجل تعقيم التوابل والمعدّات الطبّية أحاديّة الاستعمال. هذه المنتجات يجب أنّ تكون معقّمة جيّدًا وهذا يتمّ باستعمال أشعّة تردُّدها أعلى بِـ - 100.000 مرّة من التردّد المنطلق من مصابيح الأشعّة فوق البنفسجيّة. حقا أشعّة جاما هذه غير متوفّرة للاستعمال في البيوت. وبالقرّب من مركز الأبحاث النوويّة في مدينة يفني توجد شركة شور- وان والتي تستخدم الموادّ المشعّة (الكوبالت 60)، التي يُزَوِّدها بها مركز الأبحاث النوويّة، وتستعمل كمصدر لأشعّة جاما. الموادّ المشعّة هي عبارة عن مادّة غير مستقرة تَضمّحِل بشكل عفويّ وتتحوَّل إلى مادّة أخرى. خلال عمليّة الاضمّحلال تتحرَّر كميّة كبيرة من الطاقة على شكل أشعّة جاما التي تنتشِر في المنطقة المحيطة. توضع التوابل والمعدات الطبّية التي نُريد تعقيمها على شريط يتحرّك بالقرّب من المادّة المشعّة، هكذا تتعرَّض التوابل والمعدات الطبّية لأشعّة جاما وتتَعَقَّم حالا من البكتيريا. يتمّ التعقيم سريعًا عندما تكون الموادّ والمنتجات جاهزة للتسويق، ولا يمكن تلوثها بعد عمليّة التعقيم.

البكتيريا أقلّ حسّاسيّة للأشعّة من الناس. لذا فإنّ القضاء على البكتيريا، يتوجّب استعمال أشعّة طاقتها عشرة أضعاف طاقة الأشعّة التي يمكن أنّ تكون قاتلة للناس. ومقاومة البكتيريا للأشعّة تختلف من نوع إلى آخر. لقد وَجَدَ العلّماء نوعًا من البكتيريا من "هواة الأشعّة"، وهذه البكتيريا تعيش في دفيئة في جنوب أفريقيا وعلى عُمْق ثلاثة كيلومترات تحت الأرض. مصدر طاقة هذه البكتيريا هو الأشعّة المنطلقة من أنوية ذرّات اليورانيوم الموجودة في الصخور المحيطة بالموقع. كما ووُجِدَت بكتيريا من عائلة أخرى لها مقاومة غير عاديّة للأشعّة، تستطيع هذه البكتيريا البقاء على قيد الحياة عند مستويات أشعّة أعلى بِـ - 1000 مرّة من تلك التي تُعَرِّض الناس للخطر. لقد نجحت مجموعة البحث التي يرأسها البروفسور آفي - مينسكي من معهد وايزمن للعلوم، في شرح الآليّة التي تحمي البكتيريا من أضرار الأشعّة عام 2003[37].

[37]. Smadar Levin-Zaidman, Joseph Englander, Eyal Shimoni, Ajay K. Sharma, Kenneth, W. Minton, Abraham Minsky, *Science.* **299**:(5604)254-256.

هذا النوع من البكتيريا هو من الأنواع الشاذّة. غالبًا ما يوفر التعريض للأشعّة حلًّا مناسبًا للتعقيم من البكتيريا، لذلك إذا اشتريت التوابل التي تعرَّضت لأشعّة جاما، يمكنك أنّ تكون متأكّدًا من عدم وجود البكتيريا.

ملخّص الفصل

- أمواج الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة تنقسم إلى سبعة مجالات وِفقًا لتردّداتها أو أطوال أمواجها. تمّ ترتيب هذه المناطق تصاعديا مع التردُّد، وتشمل منطقة أشعّة الراديو، فأشعّة الميكرو، فالأشعّة تحت الحمراء، فأشعّة الضوء المرئيّ، فالأشعّة فوق البنفسجيّة، فأشعّة X فأشعّة جاما. وتشكّل هذه المجالات السبعة طيف الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة.
- تردُّد الأشعّة أو طول موجتها هو الذي يُحدّد مقدرة أو عدم مقدرة الأشعّة على تأيين الذَّرَّة بغضّ النظر عن شدّة الأشعّة. هذه الظاهرة تسمّى التأثير الفوتوكهربائيّ.
- أمواج الراديو، وأمواج الميكرو وأمواج الأشعّة تحت الحمراء وأمواج الضوء المرئيّ، جميعها أشعّة غير مؤيّنة، ذلك لعدم مقدرتها تأيين الذرّات في جسم الإنسان.
- أمواج جاما وأشعّة رونتجن وقسم من الأمواج فوق البنفسجيّة بمقدورها تأيين ذرّات الجسم وتسمّى الأشعّة المؤيّنة.
- لكل مجال من مجالات طيف الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة توجد استخدامات تكنولوجيّة وعلّميّة أو طبّية فريدة من نوعها، فضلًا عن معايير تَحُدُّ من مدّة التعرّض للأشعّة. سندرس ذلك في الفصول التالية.

الفصل 7: انعكاس الأمواج، واختراقها وامتصاصها

الأسئلة التي يمكنك الإجابة عنها بعد تعلّم هذا الفصل:

- لماذا يُفَضَّل عدم استعمال الهاتف الجوّال في المصعد؟
- هل يُمكن منع وصول الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة؟

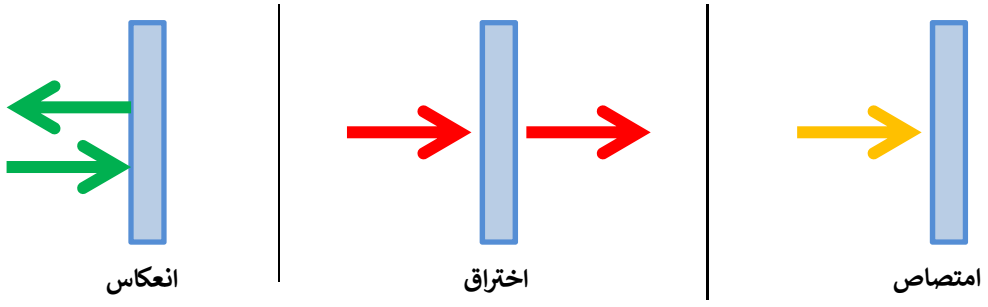
المصطلحات الأساسيّة التي سنتناولها في هذا الفصل:

الاختراق، والانعكاس، والامتصاص.

تعلّمنا في الفصول السابقة أنّ الموجة هي التأثير الحامل للطاقة المتقدّمة في الفضاء. التأثير في الأمواج الصوتيّة يكون عبارة عن تغيُّرات في الضغط. أمّا في حالة الأمواج الإلكترومغناطيسيّة، فإنّ التأثير يتمثّل بذبذبة المجالين الكهربائيّ والمغناطيسيّ .

تعلّمنا أيضًا كيفيّة توليد الأمواج، على سبيل المثال، يمكن توليد موجة إلكترومغناطيسيّة من التيّارات الكهربائيّة المتغيّرة مع الزمن أو من الأجسام الساخنة. لقد ميَّزنا الأمواج باستخدام مفاهيم علميّة جديدة، مثلًا: التردّد، زمن الدورة وطول الموجة، كما وأدْرَكنّا أنّ الأمواج لها أطوال أمواج وتردُّدات مختلفة، كما ورأينا أنّها تُستخدم لأغراض متنوعة.

سندرُس في هذا الفصل ماذا سيحدث للأمواج أثناء تقدُّمها واصطدامها بحاجز كالحائط أو أيّ جسم آخر. إنّ سلوك الأمواج يختلف عن سلوك الجزيئات، والأمواج قد تكون قادرة أحيانًا على اجتياز الحواجز. يمكنك، أحيانًا أثناء وُجودك في الصّف، سماع نقاش الطلّاب في الصّف المجاور، هذا يعني أنّ قسم من الأمواج الصوتيّة يَخترق الجدار. لاحظ أنّ قِسمًا آخر من الأمواج الصوتيّة ينعكس وقت اصطدامه بالجدار ممّا يجعله يشكّل ظاهرة الصدى المعروفة لنا. كما ومن الممكن أنّ يمتصّ الجدار الموجة المصطدمة به، أيّ أنّه يُعطي طاقته للحائط أو لكلّ عائِق آخر.



صورة 7.1 امتصاص واختراق وانعكاس الموجة المصطدمة بحاجز

الضوء الذي نراه يمرّ عبر نافذة زجاجيّة شفافّة عبارة عن موجة أشعّة. وهكذا نتمكّن من رؤية المنظر خلف النافذة. لاحظ أنّ قِسمًا من الضوء الساقط على النافذة الزجاجيّة سينعكس، الأمر الذي يؤديّ إلى رُؤية صورته تَتَمَثَّل في النافذة، تمامًا كما هو الحال في المرآة. قسم آخر من الأشعّة الساقطة يمتصّه زجاج النافذة ويؤديّ إلى ارتفاعٍ بدرجة حرارته. في عمليّة الامتصاص، يمكن أنّ تسبّب الطاقة التي تُعطيها الموجة الإلكترومغناطيسيّة للمادّة إلى تسخينها. يوجد لهذه الظاهرة العديد من الاستعمالات بما في ذلك تسخين المياه في السخانات الشمسيّة.

أيُّ قسم من الموجة يَخْتَرِق الحاجز؟ بكلمات أخرى، ما مدى شفافيّة الحاجز؟ أيّ قسم من الموجة ينعكس وأيُّ قسم يُمْتَص؟ أي، إلى أيّ مدى يكون الحاجز غير شفّاف تمامًا؟ تعتمد الإجابة عن هذه التساؤلات على خصائص الموجة ونوعيّة الحاجز. مثلًا، جدران الصّف، تسمح بمرور قسم من أمواج الصوت ولكنّها لا تسمح بمرور أمواج الضوء المرئيّ.

للتوسُّع: الضوء – موجة أم جُسَيم؟

الطالبة شمس النور: لقد تعلّمنا في الفصل السابق عند شرح الظاهرة الفوتوكهربائيّة، إنّ الضوء يتكوّن من جُسَيْمات تسمّى فوتونات. غير أنّنا تعلّمنا في هذا الفصل أنّ الضوء هو موجة، وبناء على ذلك رأينا أنّه بالإمكان مرور أمواج الضوء عبر الحواجز. هل الضوء إذاً موجة أم جُسيم؟

بروفيسور أمواج الشعاع: هذا سؤال رائع. لقد أشغلت هذه المسألة العلّماء لعدّة قرون. وقد ناقش الفلاسفة اليونانيون هذه القضيّة منذ القرنيّن الخامس والرابع قبل الميلاد، فزعم أرسطو أنّ الضوء موجة، بينما اعتقد ديموقريطُس أنّ الضوء جُسَيم. ومع مرور الزمن، تطوّرت المعرفة العلميّة، وتراكم قدر كبير من الأدلة لسلوك الضوء الموجيّ، وعلى الجانب الآخر، تمّ اكتشاف ظواهر لا يمكن تفسيرها إلا إذا افترضنا أنّ الضوء له سِمَة جُسَيمية. استمرّ الجدل حتّى تطوّرت نظرية الكم في بداية القرن العشرين. وِفقًا لِأُسُس نظرية الكم يعتبر الضوء على حد سواء موجة وجُسيم، أيّ أنّ سلوكه أحيانًا يكون كتيّار من الجُسَيمات وأحيانًا أُخرى يتصرّف كأمواج، وتعتمد طاقة جُسَيمات الضوء (الفوتونات) على طول الموجة. وتُعْرَف سِمَة الضوء هذه **بازدواجيّة الضوء**، كما سبق وأسلفنا في الفصول السابقة.

الطالبة شمس النور: ما هو القصد من ذلك؟ موجة وجُسَيم في آنٍ واحد! أَلَم يَحْسِم العلّم حتّى الآن وبشكل قاطع هذا التساؤل؟

السيّد يحيى الأخضر: أحيانًا يكون الجواب جليًا مع الأخذ بالظروف. لاستيعاب ذلك، هيا نفترض أنّنا سألنا ما هو لون الحرباء؟ أحيانًا تبدو الحرباء سوداء وأحيانًا خضراء، الأمر يتعلّق بالظروف البيئيّة الموجودة بها، مثل: الزمن، درجة الحرارة أو درجة التهديد من جانب الحيوانات المفترسة. نعم بالإمكان تخمين لون الحرباء، لكننا لا نستطيع الجزم بلونها كونه يتغير وفق الظروف.

بروفيسور أمواج الشعاع: صحيح جدًّا. إذا وصَفْتِ لي ظاهرة تتعلّق بالضوء، عندها أستطيع أنّ أقول إذا كان للضوء في هذه الظاهرة المُقْتَرَحة سِمَة موجيّة أم جُسَيمية. وبشكل عام يوصَف الضوء كموجة وجُسَيم في الوقت نفسه. تحديد السِمَة الجُسَيّمية أو الموجيّة يحدث وِفقًا لشروط القياس.

فعالية 7.1 الاختراق، والانعكاس والامتصاص

صف الظواهر التالية باستعمال مفاهيم اختراق الأمواج، وانعكاسها وامتصاصها. أذكر أيضًا مصدر الأشعّة.

مثال: يَسْخُن الشارع ظُهرا في يوم صيفيّ.

أشعّة الشمس التي **اخْتَرَقَت** الغلاف الجويّ اصطدمت بالشارع **فامتصَّ** قِسمًا منها ممّا أدّى إلى تسخينه.

أ- الهاتف المحمول داخل البيت تصله أمواج البثّ من هوائيّ خارج البيت.

ب- رجل يتمعن في المرآة ويرى صورته فيها.

ج- الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة تصطدِم بجسم فتسبّبت في تأيّنه، كما هو الحال في الفعاليّة 6.2 .

د- رجل داخل كهف يصرخ فيسمع صدى صوته.

هـ- تعقيم التوابل باستخدام الأشعّة

و- تسخين الطعام باستعمال الميكروويف

ز- عريشة تُظَلّل الملعب

سؤال للتَّفَكُّر: كيف باستطاعتنا أنّ نرى في الظلّ، حيث أنّ المكان الذي ننظر إليه غير مُضاء مباشرة من ضوء الشمس؟

فعالية 7.2 تقدّم الأمواج الصوتيّة – هاتف الكأسين

الأدوات:

- عُلبتان من عُلب الجبن الفارغة أو كأسان من البلاستيك أحاديّ الاستعمال أو عُلبتان من التنك
- خيط خياطة / خيط تَطريز طوله عدّة أمتار.
- إبرة / مفكّ براغي لثَقْب الكأس. يسهل ثَقْب الكأس باستعمال إبرة ساخنة.

مراحل العمل:

- استخدم الإبرة لِثَقْب كلّ كأس (علبة) من أسفله.
- مرِّر طرف الخيط من ثقب أحد الكأسين واربطه من داخل الكأس .

- خُذ الطرف الثاني للخيط ومرِّره من ثقب الكأس الثاني واربطه من داخل الكأس أيضًا.
- أطلب من أحد الأصدقاء أنّ يمسِك إحدى الكأسين وأنت أمسك الكاس الثانية وابتعدا عن بعض حتّى يَشْتَد الخيط. أحدكما يضع فتحة الكأس على أذنه، والآخر يَهْمِس في الكأس في فتحة الكأس الذي يمسكه. تبادلا الأدوار فيما بينكما. هكذا قد نجحت في إجراء مكالمة هاتفيّة.

صورة 7-1 هاتف الكأسين (المصدر: أنظر ملحق ج)

كيف يعمل هاتف الكأسين؟

عندما تتحدّث إلى هاتف الكأسين، تتولَّد أمواج صوتيّة تَهُزُّ هواء الكأس الذي تحدَّثْت فيه، الأمر الذي يُسبّب اهتزاز الكأس وطرف الخيط، هذا بدوره يؤديّ إلى توليد موجة في الخيط مشابهة لأمواج النابض التي درسناها في الفصل الثاني. بما أنّ الخيط مشدودٌ، فإنّ اهتزاز أحد طرفيه يؤديّ اهتزاز بقيّة أجزاء الخيط وهكذا تتقدّم الموجة على امتداد الخيط. نحن لا نرى اهتزازات الخيط في العين لكَوْنِها خفيفة جدًّا. الموجة تتقدّم على امتداد الخيط وتهزُّ الكأس على طرف الخيط الآخر وهواء الكأس يهزّ طبّلة أُذن المُسْتَمِع. وبكلمات أخرى، تمّ تحْويل الموجة الصوتيّة في الكأس الأوّل إلى موجة ميكانيكيّة تقدّمت على امتداد الخيط المشدود، ثمّ تحَوَّلت الموجة الميكانيكيّة إلى موجة صوتيّة في الكأس الثانية. الموجة تنقل الطاقة عبر الخيط.

1. هل يمكن إجراء محادثة بهاتف الكأسين في حالة كَوْن الخيط غير مشدود (افحص!)؟

صورة 7.3 هل يمكن إجراء محادثة بهاتف الكأسيْن في حالة كَوْن الخيط غير مشدود (المصدر: أنظر ملحق ج)

2. هل يمكن استعمال هاتف الكأسيْن إذا كان طالب ثالث قد أمْسَك الخيط جيّدًا (افحص!)؟
3. لماذا يكون تقدّم الأمواج الصوتيّة في هاتف الكأسيْن أفضل من تقدّمها في الهواء؟

الفرق الرئيسيّ بين هاتف الكأسيْن والهاتف الأرضيّ والهاتف المحمول هو نوعيّة الوسط بين هاتف المُرسِل (هاتف المُتَكَلِّم) وهاتف المُستقبل (هاتف المُسْتَمِع) ونوعيّة الإشارة التي يمكنها التقدّم في الوسط. وظيفة الكأسيْن في الهاتف بَثّ واستقبال الاهتزازات الميكانيكيّة في الخيط. وظيفة جهاز الهاتف الأرضيّ هي بَثّ واستقبال الإشارة الكهربائيّة بين جهازي الهاتف الأرضيّ. أمّا الهاتف المحمول فإنّه يبِثُّ ويستقبل الأمواج الإلكترومغناطيسيّة، أيّ أمواج الأشعّة. لأنّ أمواج الأشعّة ليست بحاجة لوسط لتتقدّم فيه، نجد الهواتف المحمولة تحظى بشعبيّة كبيرة.

عندما أَمَسَك صديقك خيط هاتف الكأسيْن، فإنّه حَدَّ من اهتزاز الخيط وبهذا يكون قد مَنَع تقدّم الموجة ومنع الصوت من الوصول إلى الأذن. ما هو رأيك؟ هل باستطاعتنا منع التواصل بين أجهزة الهواتف المحمولة؟

فعالية 7.3 تشويشات على استقبال الاتّصال بالهاتف المحمول

سنحاول في هذا الفعاليّة تعطيل الاتّصال بين الهاتف المحمول والهوائيّ الذي يَبُثُّ إليه.

لإجراء هذه الفعاليّة، نُدْخِل أحد الهواتف المحمولة داخل مُغلفات أو داخل عُلب مختلفة، ونتَّصِل به من هاتف آخر، ثمَّ نفحص إذا تمّ تسجيل المكالمة في جهاز الهاتف المحمول المُغَلَّف، أيّ هل انطلقت موسيقى من الهاتف المُغَلَّف.

أمامك قائمة مغلفات وعُلَب نوصي باستعمالها. يمكنك إضافة عُلَب وأغطية إلى هذه القائمة.

- طنجرة طبّخ معدنيّة مع غطائها المعدنيّ
- علبة خَشَبيّة
- بَطانية مَطوية
- علبة زجاجيّة
- كفات يديك
- علبة بلاستيك
- ثلاثة مُغَلَّفات ورقيّة
- ثلاثة أطبّاق ورق ألومنيوم المُستعملة في المطابخ
- علبة مليئة بالقطن

1. أيّ من المُغلفات والعُلب تمنع وصول الأشعّة في مجال الضوء المرئيّ؟
2. خَمِّن أيّ الموادّ تختارها لِتَغليف الهاتف المحمول ولتشويش استقباله للأشعّة. فسِّر اجابتك!
3. افحص أيّ من المُغلفات والعُلب تمنع وصول الأشعّة في مجال أمواج الميكرو بين هوائيّ البثّ وجهاز الهاتف.
4. ما هو المشترك بين جميع العُلب والمُغلفات التي نجحت في منع وصول الأشعّة إلى الهاتف المحمول؟
5. طول موجة أشعّة جهاز الميكروويف مساوٍ لطول الموجة التي يستقبلها ويبُثُّها الهاتف المحمول. الورقة التي تغلّف معظم عبوات الزبدة تحتوي على معدن. تَخَيَّل ماذا سيحدث إذا حاولت تسخين علبة الزبدة باستعمال الميكروويف دون إزالة غلافها. هل ستَسْخُن الزبدة؟ خَمِّن وفسِّر وتحقّق من ذلك في البيت[38].

الطالبة شمس النور: لقد تعلّمنا أنّ الأشعّة هي أمواج إلكترومغناطيسيّة، أيّ أنّها مجالات كهربائيّة ومغناطيسيّة تتقدّم في الفضاء. في هذا الصدد، لا يختلف إشعاع مصباح القراءة جوهريًا عن الإشعاعات المنطلقة من الهواتف المحمولة، مع ذلك، يمكن لأشعّة الهواتف المحمولة أنّ تَمُر عَبْر الجدران بينما الضوء لا يَمر عَبْر الجدار. ما هو سبّب هذا الاختلاف؟

السيّد يحيى الأخضر: يوجد لكلّ من النملة والفيل الكثير من أوجه الشبه. كلّ منهما مركّب من خلايا متشابهة جدًّا. مع ذلك، نحن لا نَتَوَقَّع مرورهما عَبْر الحواجز بسهولة.

بروفيسور أمواج الشعاع: هذا صحيح جدًّا. لجميع مجالات الأمواج الإلكترومغناطيسيّة هناك خصائص مشتركة، لكن يوجد اختلاف في طول الموجة وفي التردّد. إنّ طول موجة الأشعّة المُصطدمة بالحاجز وخصائص المادّة المصنوع منها الحاجز يحدّد أيّ قسم من الأشعّة المُصطدمة سَيَخترِق الحاجز، وأيّ قسم سينعكس وأيّ قسم سيمتصَّه الحاجز. لهذا، نجد أنّ أشعّة الميكرو المستعملة في الهواتف المحمولة يمكنها اختراق جدران المنازل، في حين أنّ الضوء المرئيّ لا يستطيع ذلك. البثّ لمسافات طويلة، يتطلّب اجتياز العديد من الحواجز، لذا تُستعمل في ذلك الأشعّة الراديويّة طويلة الموجة.

[38] بشكل عام، يُفَضَّل عدم تشغيل جهاز الميكروويف عندما يكون بداخله معدن، ذلك لأن المعادن تعكِس الأشعة وربما تصل الأشعة المنعكسة إلى جهاز بَثّ أشعة الميكروويف، الأمر الذي قد يؤدي إلى تعطيله. إذا اخترت إجراء تجربة في البيت، ضع كوبًا مملوءا بالماء (سيمتص الماء بعض الإشعاع) وتجنب التسخين لأكثر من ثلاثين ثانية.

سؤال للتفكير: عندما تقود سيارتك في نفق طويل، أيّ الأمواج سوف تُحتجب أولا؟ أمواج الضوء أم أمواج البثّ الإذاعيّ؟ لماذا؟

الموادّ المعدنيّة الموصلة للكهرباء لا تستطيع الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة اختراقها. لهذا السبّب، عندما نكون في منطقة مغلقة وجدرانّها معدنيّة، فإنّ استقبال الهاتف المحمول سيكون سيئ جدًّا. لاحظ أنّ شدّة إرسال الهواتف المحمولة - شدّة الإشارة المنطلقة من الهاتف المحمول - تُحَدَّد **بتوافق عكسيّ** لشدّة استقبال الإشارة التي يُوَجِّهها الهوائيّ المركزيّ، فكلما كان الاستقبال قويا، خفّت شدّة الإرسال. لذلك، عند الاصرار على استعمال الهاتف المحمول في مكان تكون فيه شدّة استقبال الإشارة ضعيفة، تزداد كثيرًا شدّة الأشعّة المُنْبَعثة من أجهزتنا. إنّ هذا الأمر خطير جدًّا، خاصةً عند استعمال الهاتف المحمول في المصعد. في هذه الحالة، توجد محاولة لإرسال إشارة إلكترومغناطيسيّة من صندوق معدنيّ مغلق **نسبيًا**، ونظراً لأنّ الإشارة التي يستقبلها الجهاز ضعيفة جدًّا فإنّنا حين نُجري مكالمة هاتفيّة أو نُرسل رسالة نصية في صندوق معدنيّ مغلق، فإنّ هاتِفَنا المحمول سوف يُطْلِق أشعّة إلكترومغناطيسيّة شِدَّتُها عالية. الجدران المعدنيّة سوف تعكِس الأشعّة تمامًا كما تعكس المرآة الضوء الساقط عليها. الأمر الذي قد لا يَضُرُّ بالشخص نفسه فحسب وإنما كلّ من هو حوله. لهذا السبّب **احرص تمامًا على عدم استعمال الهاتف المحمول أثناء وجودك في المصعد.**

المعادن الموصلة للكهرباء تُستخدم كثيرًا لمَنْع وُصول الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة. رأينا في المثال أنّ أوراق الألومنيوم حَجَبَت الأشعّة عن الهاتف المحمول في عمليّتي الإرسال والاستقبال. يحدث حَجْبٌ للأشعّة الإلكترومغناطيسيّة في حالتين: الأولى عند اصطدام الأشعّة الصادرة بجدران المعدن فتنعكس بدلًا من اختراقه، أمّا الثانية فعندما يمتصّ المعدن طاقة الأشعّة الساقطة عليه، وبالتالي فإنّ الموجة لا تَخْتَرِقه. إنّ نوعيّة المعدن وطول موجة الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة المُستعملة يُحَدِّدان مدى نسبة الأشعّة المنعكسة ومدى نسبة القسم الذي يمتصُّه. مثلًا معدن الرصاص، يمتصّ قِسمًا كبيرًا من الأشعّة المؤيّنة. لهذا السبّب تُستعمل الألواح الرصاصيّة كثيرًا في حجب أشعّة – X عن أعضاء الجسم التي ليست بحاجة لتعريضها للأشعّة، ويتمّ ذلك بتغطية جسم المريض بسُتْرَة بها رقاقة من الرصاص، باستثناء المنطقة المراد تصويرها بالأشعّة.

صورة 7.4 يتمّ تصوير الأسنان بعد أنّ يرتدي المريض سُتْرَة بها رقاقة من الرصاص تمتصّ الأشعّة وتحافظ على الجسم (المصدر: أنظر ملحق جـ)

ملخّص الفصل

- عندما تصطدم الموجة بسطح ما، أمّا أنّ تخترقَه، أو تنعكس عنه، أو يَمْتَصَّها.
- يعتمد مقدار اختراق الموجة للوَسَط أو انعكاسها أو امتصاصها على نوع الموجة وتردّدها أو طول موجتها ونوع الوسط الذي تصطدم به.
- يمكن للأمواج الإلكترومغناطيسيّة، في المجالين الراديويّ والميكرو، أنّ تخترق الحواجز مثل الجدران والأشجار بطريقة جيّدة نسبيًّا ولذلك تُستخدم في البثّ الإذاعي وفي الهواتف المحمولة.
- الأمواج الإلكترومغناطيسيّة لا تخترق المعادن.

الفصل 8: الضوء المرئيّ

الأسئلة التي يمكنك الإجابة عنها بعد تعلّم هذا الفصل:

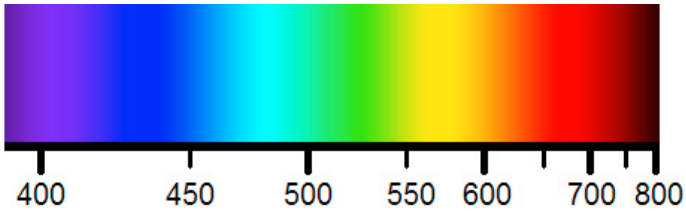
- كيف نحصل على الألوان على شاشة الحاسوب أو شاشة الهاتف المحمول؟
- ما هو اللون الذي ستظهر لك به شقائق النعمان الحمراء إذا وضعناها في غرفة مضاءة بضوء أزرق فقط؟
- هل أكل الجزر يُحَسِّن الرؤية فعلا؟

المصطلحات الأساسيّة التي سنتناولها في هذا الفصل:

انكسار الضوء، أَسْوَد، أبيض، RGB

أجزاء العين: القرنيّة، بؤبؤ العين، والقزحيّة، عدسة العين، الشبكيّة، الخلايا المخروطيّة والخلايا العَصَوِيّة

تعلّمنا في الفصل السادس، أنّ الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة والتي أطوال أمواجها بين 380 و- 700 نانومتر (واحد من المليون من المليمتر) تسمّى الضوء المرئيّ. عندما تسقُط أمواج هذه الأشعّة على عين الإنسان، يتمّ امتصاصها وتَنْتَقِل طاقتها إلى العين، وتتوَلَّد إشارات تنتقل إلى الدماغ عن طريق العصب البصري، هناك يتمّ تفسيرها على أنّها ألوان. يُحدّد طول موجة الأشعّة التي سقطت على العين اللون الذي نراه. انظر الشكل 8-1.

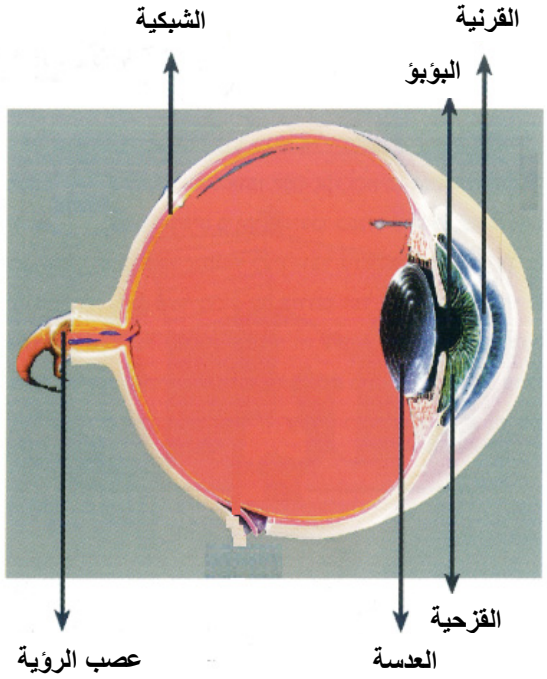


صورة 8.1 أطوال أمواج الضوء المرئيّ بالنانوميتر (المصدر: أنظر ملحق جـ)

سنتعامل في هذا الفصل، فقط مع أطوال أمواج الضوء المرئيّ، بين 380 و-700 نانوميتر. لذلك، سنستخدم مفهوم الضوء لوصف الأمواج الإلكترومغناطيسيّة التي أطوال أمواجها في مجال الضوء المرئيّ. خلال هذا الفصل، سندرس المبادئ العلميّة التي تسمح للعين بالعمل بشكل صحيّح. وبناءً على هذه المبادئ، تمّ تطوير العديد من الأجهزة، مثل النظارات والكاميرات وشاشات التلفاز.

كيف نرى؟

بالرغم من أنّ معظم الأجسام المحيطة بنا لا تضيء إلا أنّنا نراها. تسقط أشعّة الضوء على الأشياء وتتشتّت، قسم من هذه الأشعّة يَصِل أعيننا ويخترق القرنيّة وبؤبؤ العين (أنظر الشكل 8.2) ويُشَكِّل الصورة التي ننظر إليها. تقوم العدسة بِكَسْر الأشعّة[39] القادمة وتركزها على الشبكيّة الموجودة على مؤخّرة مقلة العين. يقوم العصب البصريّ الموجود داخل الشبكيّة بنقل المعلومات القادمة من الأشعّة الضوئيّة إلى الدماغ. يعرف الدماغ كيفيّة ترجمة الإشارات العصبيّة القادمة من العصب البصريّ إلى صورة ذات خطوط وألوان. **من الجدير بالذكر أنّ** الإنسان وعبر التاريخ قام ببناء العديد من الأجهزة التي قَلّدت مبادئ عمل العين البشريّة كالنظارات والكاميرات وشاشات التلفاز.



صورة 8.2 مبنى العين (المصدر: أنظر ملحق جـ)

لكلّ جزء من أجزاء العين في الشكل 8.2 خصائص فريدة تُمَكِّنَه من أداء وظيفته أثناء الرؤية. بؤبؤ العين يَنْكَمِش أو يَتَّسِع لتنظيم كميّة الضوء القادمة إلى العين؛ تَتَكَيَّف العدسة تِلقائيًا ممّا يسمح للعين برؤية الأشياء من مسافات متفاوتة، أمّا الشبكيّة فتقوم بتحديد نوع مستقبلات الضوء الواصل لها وِفقًا لظروف الإضاءة. هل تعلّم أنّ العين تقوم بجميع هذه الافعال **تِلقائيًا** دون درايتنا.

[39] . انكسار الموجة هو مرورها من وسط إلى وسط آخر، ونتيجة لذلك ينحرف اتجاه تَقَدُّم الموجة.

فعالية 8.1 دُخول الضوء إلى العين عن طريق بؤبؤ العين

تَمَعَّن عين أحد زملائك في الصّف.

1. كم هو تقديرك لقطر بؤبؤ عينه؟

أطفئ الضوء واجعل الصّفّ مُعْتِما قدر الإمكان.

2. هل كَبُرَ أم صَغُرَ قطر بؤبؤ العين؟

الطالبة شمس النور: كيف ولماذا يتغيَّر كِبَر بؤبؤ العين؟

د. نوره الحكيم: بؤبؤ العين هو الفتحة التي يدخل خلالها الضوء إلى العين، وهو محاط بعضلات القزحيّة. القزحيّة هي الحلقة التي تعطي العين لونها. انقباض وانبساط عضلات قزحيّة العين يؤثر على كِبر بؤبؤ العين. عندما نتواجد في الظلام، تنقبض بعض عضلات القزحيّة الأمر الذي يؤديّ إلى اتّساع البؤبؤ، هكذا تزداد كميّة الضوء داخل العين وهذا يساعدنا على رؤية أفضل. في المقابل، عندما تكون كميّة الضوء القادمة إلى العين كبيرة، تنقبض عضلات للقزحيّة من نوع آخر وهذا يؤديّ إلى تصغير البؤبؤ، هكذا تَقِل كميّة الضوء القادمة للعين.

السيّد منير الضياء: تحتوي آلات التصوير أيضًا على قطعة مسؤولة عن ضبط كِبَر الفتحة التي يدخل خلالها الضوء، ذلك وِفقًا لظروف الإضاءة. تُسمّى هذه القطعة مِصْراع آلة التصوير.

فعالية 8.2 انكسار الضوء في قرنيّة العين وعدستها - تجربة عدسة التكبير

الأدوات: عدسة تكبير وأوراق صحيّفة - جريدة، يمكن أيضًا استعمال عود ثقاب

العدسة المكبّرة هي عدسة محدّبة من الزجاج. تقوم هذه العدسة بتغيير اتّجاه أشعّة الضوء المارّ عبرَها، حيث تبدو لنا الأجسام من خلالها أقرب، وبالتالي تبدو أكبر. يُعّرَف التغيير في اتّجاه تقدّم أشعّة الضوء بالانكسار.

يمكن تمثيل مقدرة عدسة التكبير على تغيير اتّجاه (أي انكسار) الأشعّة الضوئيّة في التجربة التالية:

- يَخرج المعلّم وطلّابه إلى ساحة المدرسة في يوم مشمس مع عدسة تكبير. يمسك المعلّم عدسة التكبير الصّفيّحة من خلال عدسة التكبير.

- يحدّد المعلّم ارتفاع عدسة التكبير عن ورقة الصّفيّحة لتركيز أشعّة الشمس المارّة عَبْر العدسة ويَحْصَل المعلّم على نقطة صغيرة. انتظروا عدّة دقائق، إذا كان قُطر عدسة التكبير كبيرًا فإنّه يكفي لتركيز الضوء على نقطة واحدة، عندها ستبدأ عمليّة ثَقْب (حَرْق) ورقة الجريدة. كما ويمكن تركيز أشعّة الشمس على رأس عود ثقاب لإشعاله. **كن حذِرًا مع النار!**

التفسير: عدسة التكبير غَيَّرت اتّجاه أشعّة الضوء الساقطة عليها، الأمر الذي أدّى إلى تركيز الأشعّة على بُقْعة صغيرة. شدّة الضوء التي تمّ تركيزها في هذه النقطة عالية جدًّا الأمر الذي أدّى إلى ثَقْب (حَرْق) الورقة.

صورة 8.3 حَرْق الورقة باستعمال عدسة التكبير (المصدر: أنظر ملحق جـ)

رأينا في العرض السابق، أنّ أشعّة الضوء قد عَبَرت من وسط إلى آخر، مثلًا رأينا أنّه عَبَر من الهواء إلى الزجاج وعَبَر ثانية إلى الهواء، هكذا يكون الشعاع قد انكَسَر والصورة التي نراها تكون قد تَغيَّرت. مقدار انكسار الشعاع يَعتمد أيضًا على مقدار تَحَدُّب وَجْهَي عدسة التكبير. إذا كَرَّرنا إجراء التجربة واستبدلنا العدسة بِلَوْح زجاج مسطح تمامًا، فَلَن نتمكّن من تركيز أشعّة الضوء وحرق ورقة الصحيّفة. وِفقًا لهذا المبدأ تَعْمَل قرنيّة العين وعدستها (انظر الصورة 8.2). تَكْسِر قرنيّة العين الضوء الساقط عليها وتُرَكِّزَه على البؤبؤ. عدسة العين تَكْسِر الضوء لِيصل إلى الشبكيّة. شكل قرنيّة العين ثابت، تمامًا كَشَكْلِ عدسة التكبير. أمّا عدسة العين فهي مَرِنة ويمكن تغيير درجة انحنائها. تتيح لنا هذه التغييرات رؤية الأجسام على مسافات مختلفة البعد عن أعيننا بوضوح. لرؤية الأجسام البعيدة، فإنّ العين تأخذ شكلًا مستويًا تقريبًا، ولرؤية الأجسام القريبة، فإنّها تأخُذ العين شكلا محدّبا.

مع تقدّم العمر، تضعف العضلات المسؤولة عن تَحَدُّب عدسة العين، ممّا يؤديّ إلى صعوبة رؤية الأجسام القريبة. لذا يحتاج المُسنّون أحيانًا إلى نظاراتٍ للقراءة. عَدَسَتَا النظارة تكسر أشعّة الضوء. يقوم

مُختصّ العيون بملاءمة عَدَسَتَي النظارة لِتُكْمِل عمل عَدَسَتَي العين، ذلك بتَكْوين صورة مُرَكَّزة وواضحة على شبكيّة العين.

قسم من الأشعّة فوق البنفسجيّة القادمة إلينا من الشمس تصل عدسة العين وأحيانًا تُؤدّي إلى نقص في شفافيّتها، هكذا تتولَّد على عدسة العين غشاوة غير شفافة. لذا، يُفضَّل استعمال النظارات الشمسيّة التي تَحُدُّ من الأشعّة فوق البنفسجيّة عندما نتعرّض لأشعّة الشمس. الفعاليّة 9.3 في الفصل التاسع، تُساعِدُك في فحص مدى مَقْدِرَة نظارتك الشمسيّة في منع الأشعّة فوق البنفسجيّة من الوصول إلى عَيْنَيْك.

كيف يُفَسِّر الدماغ الصورة التي تمّ الحصول عليها على شبكيّة العين؟

الضوء الذي نراه يَخترق قرنيّة العين والبؤبؤ والعدسة ويَتَمَركز على الشبكيّة. لِشبكيّة العين نظام خاصّ وظيفته ترجمة الضوء إلى وَمْضَات كهربائيّة تَنْتَقِل إلى الدماغ عبر العصب البصريّ. خلق الله شبكيّة العين من خلايا وظيفتها الأساسيّة استقبال الضوء الذي يصلها، وتُعرف باسم خلايا مخروطيّة وأخرى عَصَوِيّة. تمتصّ هذه الخلايا الأشعّة الضوئيّة التي تصلها، كما أنّها تتفاعل مع الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة في المجال المرئيّ. تستخدم الخلايا العَصَوِيّة لرؤية الأجسام في الإضاءة الخافتة وأمّا الخلايا المخروطيّة فهي المسؤولة عن الرؤية في ظروف شديدة الإضاءة. الخلايا العَصَوِيّة والخلايا المخروطيّة موجودة على شبكيّة العين بكثافة عالية، حيث يوجد في منطقة مساحتها كمساحة طابع بريد ما يُقارب من 130 مليون خلية عَصَوِيّة وخليّة مخروطيّة!

فعالية 8.3 كيفيّة عمل الخلايا المخروطيّة والخلايا العَصَوِيّة

الأدوات: أوراق ذات أربعة ألوان مختلفة ومقصّ.

سنفحص في هذه الفعاليّة مدى مَقدرتنا على التمييز بين الأشكال والألوان في الظلام. أمامك أوراق ذات أربعة ألوان مختلفة.

- قُصَّ أربعة أشكال مختلفة من كلّ لون، هكذا تكون قد حصلت على 16 قصاصات ورقيّة بأربعة ألوان (مثلًا: مثلث، مستطيل، مُرَبع ودائرة. ولَوِّن المربعات: باللون الأحمر، والأزرق، والأخضر واللون الأصفر).
- أَظْلِم تدريجيا غرفة الصّف حتّى يَصْعُب رؤية قصاصات الورق، ثمّ صَنِّفها وِفقًا لِشكلها.

- أضِئ غرفة الصّفّ وافحص إذا كان تصنيفك وتصنيف زملائك في الصّف صحيحًا.
- كم هو عدد الطلّاب الذين نجحوا في تصنيف القصاصات الورقيّة دون أخطاء؟
- أَظْلِموا غرفة الصّفّ ثانية ثُمَّ صَنِّفوا قصاصات الورق وِفقًا لِلَوْنِها.
- أضِئ غرفة الصّفّ وافحص إذا كان تصنيفك وتصنيف زملائك في الصّف صحيحًا.

كم هو عدد الطلّاب الذين نجحوا في تصنيف القصاصات الورقيّة دون أخطاء؟

ما هو استنتاجكم من هذه التجربة؟

إذا كانت غرفة الصّفّ الدراسيّ مظلمة بما فيه الكفاية، تكون قد لاحظت أنّه في الظلام يَسْهل تحديد شكل قصاصات الورق من تحديد لَوْنِها، والسبّب في ذلك هو أنّ الخلايا العَصَوِيّة التي تُساعِدنا في الرُؤيَة في الظلام لا تَقْدِر على التمييز بين الألوان المختلفة. في المقابل، الخلايا المخروطيّة التي تُساعِدنا في رُؤيَة الألوان يَنْشَط عملها في ظروف إضاءة كافية.

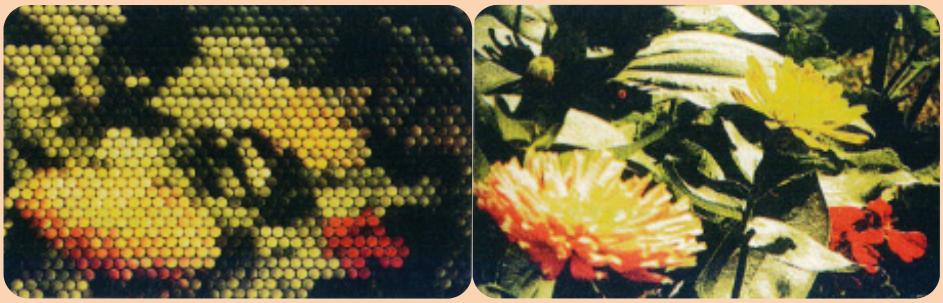
الطالبة شمس النور: لقد سمعت أنّ تناول الجزر يُحَسِن وضع العين الصحيّ. هل هذا صحيّح؟

د. نوره الحكيم: تحتوي الخلايا المخروطيّة على صبغة تسمّى رودوبسين التي تمتصّ الضوء. يَتَحَلَّل الرودوبسين تحت تأثير الضوء الشديد، لذا يَتَلاشى تقريبًا عندما نكون في منطقة مُضيئة. لكن، عندما ندخل منطقة مظلمة، يبدأ الرودوبسين في التكوّن في خلايا الشبكيّة المخروطيّة، وفقط عندما يرتفع تركيز الرودوبسين، يَتَمكن المرء أنّ يرى ثانية. لهذا السبّب، يستغرق الأمر بعض الوقت حتّى "نَعْتاد الظلام" وننجح في الرؤية من جديد. يتطلّب إنتاج مادّة الرودوبسين فيتامين A، النقص في فيتامين A ضار في الرؤية الليليّة. يحتوي الجزر على فيتامين A، لذا انتشَرَت الشائعة التي تقول أنّ تناول الجزر صحيّ للعيون.

للتوسُّع: الرؤية لدى الحيوانات

الثدييات ترى تمامًا كما يرى البشر. بينما حيوانات أخرى قد تكون رؤيتها مختلفة قليلاً. الأسماك، على سبيل المثال، تتحكّم بِبُعد مقلة العين عن الشبكيّة ذلك بِبُروز مقلة العين وتسطيحها الأمر الذي يُمَكِّن تركيز الأشعّة الضوئيّة على الشبكيّة. أمّا الطيور والرخويات فلا يوجد عدسة في عيونها، لكنّها قادرة على تغيير تَحَدُّب القرنيّة، الأمر الذي يتسبّب في تركيز الضوء على شبكيّة العين.

تتمّ عمليّة الرؤية لدى الحشرات من خلال آلاف العُيَيْنات[40] التي تعمل في آنٍ واحد. مثلًا، تحتوي عين الذبابة على نحو ستة آلاف عُيَيْنة، يتجه كلّ منها في اتّجاه مختلف في الفضاء. كلّ عُيَيْنة مجهزة بعدسة وخلايا شبكيّة خاصّة بها وتُكَوِّن صورة خاصّة بها. ترى الذبابة جميع الصُوَر معا، بطريقة شبيهة لغز الكلمات المتقاطعة. تَمَعَّن الشكل 8.4.



صورة 8.4 مقارنة بين الرؤية عند الإنسان (اليمين) وبين الرؤية عند الذبابة (اليسار) (المصدر: أنظر ملحق جـ)

اقرأ المزيد عن كيفيّة الرؤية لدى الحيوانات في مقال آفي الياهو، الذي نُشِر في كيشِت الفائزة في مناقصة البثّ الإذاعي[41].

[40] . عُيَيْنة تصغير عَين [المترجم].

[41] http://www.mako.co.il/hix-weekend/Article-a5371de9361cb41006.htm

فعالية 8.4 مبنى العين – فحص ذاتي

1) رَتِّب أجزاء العين وِفقًا لمرور الضوء عَبْرَها:

أ- القرنيّة، البؤبؤ، العدسة، شبكيّة العين

ب- البؤبؤ، القرنيّة، العدسة، شبكيّة العين

ج- شبكيّة العين، القرنيّة، البؤبؤ، العدسة

د- القرنيّة، البؤبؤ، شبكيّة العين، العدسة

2) عندما تدخل غرفة مظلمة، تَنْتَظر قليلًا حتّى "تعتاد العين على الظلام" وبعدها ترى جيدًا. سبّب ذلك هو:

أ- يَلْزَم القزحيّة وقت لتوسيع البؤبؤ

ب- يستغرق بعض الوقت لتكوُّن الرودوبسين في خلايا الشبكيّة المخروطيّة

ج- يستغرق بعض الوقت تَحَدُّب العدسة للشكل الأفضل

د- جميع الإجابات صحيّحة

3) الوظيفة الصحيّة لنظارات الشمس، هي:

أ- حماية عدسة العين من الأشعّة فوق البنفسجيّة التي تُسبّب تشويشًا للرؤية

ب- حماية عضلات القزحيّة من الانكماش المفرط

ج- تقليل كميّة الضوء المرئيّ التي تدخل العين

د- حماية عدسة العين من الأشعّة تحت الحمراء

4) نحن نرى في الظُلْمَة

أ- بواسطة الخلايا المخروطيّة، لهذا نُمَيِّز الأشكال ولا نُمَيِّز الألوان

ب- بواسطة الخلايا العَصَوِيّة، لهذا نُمَيِّز الأشكال ولا نُمَيِّز الألوان

ج- بواسطة الخلايا المخروطيّة، لهذا نُمَيِّز الألوان ولا نُمَيِّز الأشكال

د- بواسطة الخلايا العَصَوِيّة، لهذا نُمَيِّز الألوان ولا نُمَيِّز الأشكال

تعلّمنا حتّى الآن عن دخول الضوء إلى العين واستيعابه في الشبكيّة. أمّا الآن سندرس التساؤل التالي: كيف يتمّ تحديد اللون؟ هكذا سيكون هدفنا تفسير كيف أنّ الضوء، وهو موجة إلكترومغناطيسيّة ذات تَرَدُّد معيّن أو حزمة أمواج إلكترومغناطيسيّة ذات تردّدات مختلفة، تتمّ ترجمته في الدماغ إلى لون. لهذا سنتعلّم كيفيّة معالجة البيانات في خلايا الشبكيّة العَصَوِيّة، وعندها سنفهم كيفيّة مُلاءمة مبادئ تشغيل الشاشات المختلفة، مثل شاشات التلفزيون، مع كيفيّة تفسير الخلايا العَصَوِيّة للألوان التي نراها.

الأسود والأبيض – الامتصاص والانعكاس

اللون الأسود هو ما نراه عندما لا تمتصّ عيوننا أيّ موجة ضوئيّة. قد يحدث مثل هذا الموقف في حالتين:

أ- في حالة عدم وجود مصدر ضوء، مثلًا، في ليلة مظلمة، لا يصطدم الضوء بالأجسام الموجودة حولنا. لهذا السبّب لا يوجد انعكاس ضوء إلى عيوننا ولا نتمكّن من رؤيتهم. كلّ ما نراه أنّه ظلام أسود.

ب- كذلك في وضّح النهار، أيضًا، تبدو لنا أجسامًا سوداء. هذا لأنّ هذه الأجسام تمتصّ كلّ الضوء الساقط عليها ولا ينعكس عنها أمواج ضمّن مجال الضوء المرئيّ إلى المنطقة المحيطة بهذه الأجسام. ذلك لأنّ هذه الأجسام تمتصّ الأمواج الساقطة عليها، الأمر الذي يؤديّ إلى تزويد هذه الأجسام بالطاقة وتسخينها.

نَعْتَبِر في حياتنا اليوميّة أنّ الأبيض والأسود هما كلمتان متعاكستان؛ وفي الواقع، الأجسام السوداء تمتصّ كلّ الضوء الساقط عليها، بينما الأجسام البيضاء لا تمتصّ الضوء الساقط عليها على الإطلاق. الجسم الأبيض يعكس جميع أطياف أطوال أشعّة الضوء الساقطة عليه. مثلًا، الضوء الداخل للغرفة من النافذة كافٍ لإضاءة غرفة جُدْرانها بيضاء، ذلك لانعكاس الضوء عن الجدران البيضاء. بينما الغرفة ذات الجدران السوداء لا تعكس الضوء الذي يدخلها، لذا تظهر لنا معتمة.

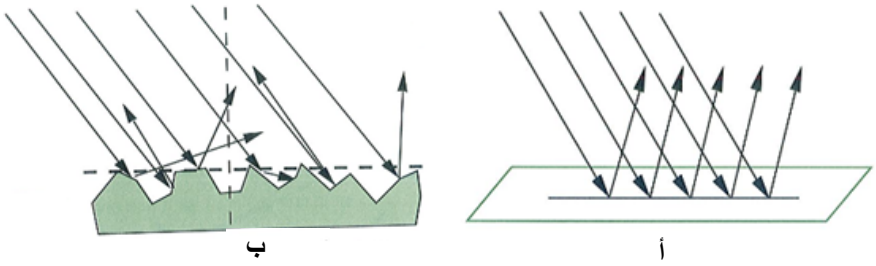
سؤال: لماذا يهتمّ العديد من أصحاب المنازل طِلاء سقف بيوتهم من الخارج بِدِهان أبيض اللون أيام الصيف؟

الطالبة شمس النور: تعكس الأجسام البيض الضوء الساقط عليها والمرآة تعكس الضوء الساقط عليها أيضًا. ما الفرق بين الجدار الأبيض والمرآة؟

بروفيسور أمواج الشعاع: صحيح أنّ الضوء ينعكس في الحالتين، لكن يوجد اختلاف في كيفيّة الانعكاس. يَعود ذلك إلى كَوْن سطح المرآة قد صُقِلَ جيّدًا، الأمر الذي يؤديّ إلى انعكاس الضوء عنه بانتظام[42]؛ لكنّ الجدار الأبيض خَشِن السطح، لذا فإنّ الضوء المُنْعَكِس عنه لا ينعكس بانتظام، وبالتالي فإنّ الضوء لا ينعَكِس عنه باتّجاه واحد، أيّ أنّه يَنْتَشِر في اتّجاهات مختلفة. تَمَعَّن الشكل 8.5.

الطالبة شمس النور: يوجد معي لوحة بلاستيكيّة بيضاء مَصْقولة جيدًا. لماذا لا يعمل البلاستيك الأبيض عمل المرآة؟

بروفيسور أمواج الشعاع: يجب أنّ يكون صَقْل سطح المرآة مناسبًا لطول موجة الضوء الساقطة عليه. طول أمواج الضوء المرئيّ أقلّ من واحد من الألف من المليمتر. علمًا أنّه لا توجد إمكانيّة للكشف عن مدى خشونة السطح بالاعتماد على حاسة اللمس. عندما تَتَحَسَّس سطح اللوحة، تجد أنّها ناعمة، لكن هذه النعومة ليست كافية، لذا فهي لوحة خشنة، ولا يُمْكِنُها العمل كمرآة.



صورة 8.5

أ. انعكاس منتظم عن سطح مصقول
ب. انعكاس غَير منتظم عن سطح خَشِن (المصدر: أنظر ملحق جـ)

يُمكنكم التَّعرُّف على المزيد عن الانعكاس المنتظم وغير المنتظم في الفيديو التالي لمركز تكنولوجيّا التعليم[43]

[42] . جميع الضوء المنعكس عن السطح المصقول ينعكس باتجاه واحد فقط [المترجم].

[43] . https://www.youtube.com/watch?v=7s5q6997ykQ

الاستنتاج: نستنتج ممّا تقدّم أنّ الأجسام السود تمتصّ جميع الضوء الساقط عليها، بينما الأجسام البيض تعكس جميع الضوء الساقط عليها. غالبًا ما يكون معظم انعكاس الضوء غير منتظم. أمّا بالنسبة للمرآة، فإنّ الأمر مختلف، حيث يكون الانعكاس منتظمًا ونستطيع رُؤية الصورة في المرآة.

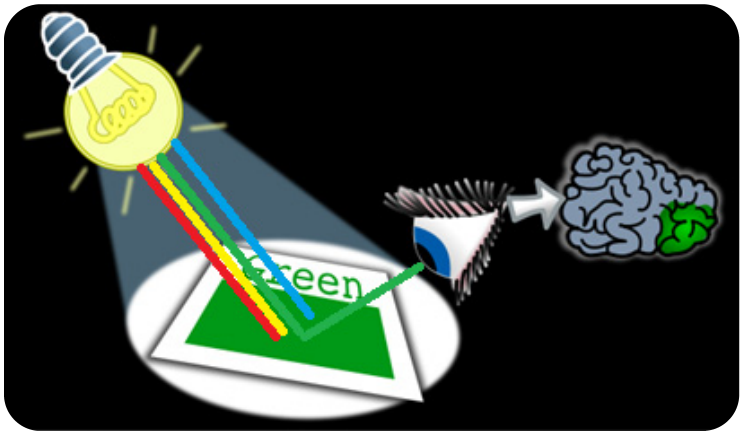
الضوء الأبيض – خليط من الألوان

ضوء الشمس يشمل طيف الضوء المرئيّ كاملًا بالإضافة إلى أجزاء أخرى من الطيف. بعبارة أخرى، جميع ألوان قوس قزح المعروفة لنا موجودة ضوء الشمس. عندما تصل جميع مكوّنات طيف الضوء المرئيّ إلى العين، فإنّ الدِّماغ يُفَسِّر ذلك على أنّها بيضاء؛ في حالة عدم وصول أيّ جزء من طيف الضوء المرئيّ إلى العين، فإنّ الدِّماغ يُفَسِّر ذلك على أنَّها سوداء. هكذا نرى إنّ اللونين الأبيض والأسود ليسا جزءًا من طيف الضوء المرئيّ ولا يظهران في الشكل 8.1.

كنّا قد ذكرنا في الفصل السابق إنّ مرور الضوء من وسط إلى آخر يؤديّ إلى انكسار مسار الضوء. هذا هو المبدأ الذي يعتمد عليه عَمَل العديد من الأجهزة البصريّة التي نعرفها، مثل النظارات. تختلف زاوية انكسار (انحراف) شعاع الضوء قليلًا مع اختلاف طول الموجة، هكذا نجد أنّ شعاع الضوء المارّ عَبَر المنشور الزجاجيّ أو عَبْر قطرات الماء يتمّ تفريقه (تحليله) إلى مركّباته الأساسيّة. إنّ قوس قزح الذي نراه أيام المطر عند ظهور الشمس ينتج عن انكسار شعاع الضوء المارّ عَبْر قطرات الماء. انظر الى الصورة 8.6

صورة 8.6 قوس قزح في غيوم وادي الأردن (المصدر: أنظر المصدر جـ)

إذا سقط شعاع الضوء الأبيض على جسم أسود، فسيتمّ امتصاصه وسيبدو الكائن لنا داكنًا وأسود. أمّا إذا سقط الضوء الأبيض على جسمٍ أبيض، فسيتمّ انعكاسه إلى العين وسيتمّ تفسير ذلك أنّ الجسم أبيض اللون. ماذا سيحدث إذا سقط الضوء الأبيض، كضوء الشمس أو ضوء المصباح مثلًا، على جسم ليس أبيض وليس أسود؟ في الصورة 8.7، يمكنك رؤية الضوء الأبيض الصادر عن المصباح والساقط على ورقة خضراء. يَشْمَل الضوء الأبيض، الصادر عن المصباح، على جميع ألوان الطيف المرئيّ، تمتصّ الورقة الخضراء جميع ألوان الطيف وتَعْكِس اللون الأخضر. وبهذا تصل العين فقط الأمواج الإلكترومغناطيسيّة ذات التَرَدُّد الذي يتمّ تفسيره في الدماغ على أنّه اللون الأخضر للورقة.



صورة 8.7 يُضيئ اللون الأبيض الورقة الخضراء، فتنعكس الموجة الخضراء إلى العين (المصدر: أنظر المصدر جـ)

فعالية 8.5 الألوان – أسئلة للتفكير والنقاش

1) في أيام الصيف المُشْمِسة، مَن سيكون أكثر سخونة، شارع الإسفلت الأسود أم الأرض المحيطة به؟ فسِّر!
2) وضعنا ورقة زرقاء اللون في غرفة مضاءة بالضوء الأبيض، ووضعنا ورقة ثانية زرقاء اللون في غرفة أخرى مضاءة بالضوء الأحمر فقط. دَخَلت طالبة إلى كلّ غرفة. بأيّ لون ستبدو الورقة للطالبة في كلّ غرفة؟ فسِّر!
3) الأوراق الخضراء تنتفع بأشعّة الشمس من أجل إنتاج سُكَّر الجلوكوز في عمليّة معروفة بالتمثيل الضوئيّ. ماذا يحدث إنّ أضأنا النبات فقط بالضوء الأخضر؟ هل ستكون النباتات قادرة على القيام بعمليّة التمثيل الضوئيّ؟ علّل!

فعالية 8.6 قرص الألوان لنيوتن

سنلاحظ في هذه الفعاليّة كيف أنّ خليطًا من الألوان سيراه دماغنا أبيض اللون.

الأدوات:

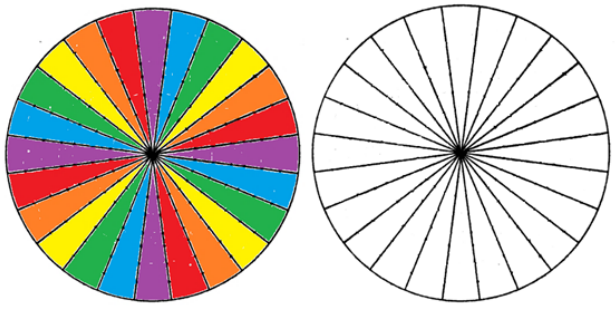
- كرتونة بيضاء أو كرتونة بأيّ لون ملصق عليها ورق أبيض
- مقص
- عود لتنظيف الأسنان (سواك)
- معجونة (مما يستعملها الأطفال)
- أقلام رصاص بألوان مختلفة بالألوان: الأرجواني والأزرق والأخضر والأصفر والبرتقاليّ والأحمر.

مراحل العمل:

أ- قُصَّ دائرةً قطرها 8 سم من الورق المقوى (الكرتونة).

ب- قَسِّم الدائرة إلى 24 قطاعًا متساوياً ولَوِّنْها كما في صورة 8.8. يُسْتَحْسَن استخدام أقلام ناشفه مُلَوَّنة أو الطبّاشير. **لا تستخدم** أقلامًا مائيّة. نرجو المحافظة على ترتيب الألوان كما هو في صورة 8.8.

ج- أِغْرِس عُود السواك في مركز الدائرة الكرتونيّة وثَبِّته في مكانه مُسْتَعينًا بالقليل من المعجونة.



*صورة 8.8 نرى على **يمين** الصورة دائرة كرتونية مقسمة إلى 24 قطاعا، ونرى على **يسار** الصورة قطاعات الدائرة بعد تَلْوِينِها بألوان الطيف*

1) أدِر قُرص الدوران الذي بَنَيْتَه سريعًا. أيّ لون ترى؟
2) لماذا يوجد فرق بين لون القرص الساكن ولونه أثناء الدوران؟

الطالبة شمس النور: عند استعمال ألوان مائيّة معتمة (Gouache - غواش) نلاحظ أنّ الورقة الخالية من الألوان ستبدو بيضاء اللون، بينما إذا خلطنا جميع ألوان الغواش معاً فإنّنا نحصل على لون غامق. لكنّك شرَحت في هذا الفصل أنّ اللون الأسود هو في الواقع نَقْص في اللون بينما اللون الأبيض هو خليط من جميع الألوان. كيف يُمْكِن لهذا الأمر أنّ يحدث؟

بروفيسور أمواج الشعاع: من المهمّ أنّ نُمَيِّز بين الألوان الصادرة عن مصادر الضوء وبين الألوان التي نرسم بها وهي الألوان التي نراها فقط عند انعكاس الضوء الساقِط عليها. المصباح الصادر منه اللون الأخضر يُطْلِق ضوءًا طول موجته يتطابق مع اللون الأخضر. وإذا أضفنا مصباح ضوء بلون آخر، سَتَصِل الى العين أمواج أخرى، هكذا سنحصل على صورة أكثر إشراقًا وأكثر سطوعًا. إنّ دمج ألوان الضوء يُسمّى **جمع** الألوان والذي سندرسه بتوسُّع في الفعاليّة 8.7.

على النقيض من ذلك، لا تُعْتَبَر رسومات ألوان الغواش مصادر ضوئيّة، ذلك لأنَّها تمتصّ معظم أطوال أمواج الضوء الساقطة عليها وتعكس لونها فقط. إنّ لون الغواش الأخضر، مثلًا يمتصّ كلّ الضوء الساقط عليه باستثناء اللون الأخضر. إذا خلطنا اللون الأخضر بلون آخر، عندها نكون قد أضفنا في الواقع مادّة تمتصّ موجة اللون الأخضر؛ هكذا نحصل من خليط العديد من الألوان على مادّة تمتصّ جميع أطوال أمواج الضوء ولا ينعكس عنها ضوء، أيّ سوداء اللون. وخليط كهذا يسمّى **طرح** الألوان.

تحديد اللون في العين البشريّة - شبكيّة العين

لقد تعلّمتم أنّ تحديد الألوان يتمّ في الخلايا العَصَوِيّة الموجودة على شبكيّة العين.

وهي تنقسم إلى ثلاثة أنواع:

- خلايا عَصَوِيّة حسّاسة للضوء المرئيّ في مجال الأشعّة طويلة الموجة (= أصفر/ أحمر)
- خلايا عَصَوِيّة حسّاسة للضوء المرئيّ في مجال الأشعّة متوسّطة طول الموجة (= أخضر)
- خلايا عَصَوِيّة حسّاسة للضوء المرئيّ في مجال الأشعّة قصيرة الموجة (= أزرق)

كل خلية من الخلايا العَصَوِيّة تنقل إلى الدماغ معلومات عن شدّة الضوء الذي امتصَّته وطول الموجة المميّزة له، وعلى أساس المعلومات المرسلة من أنواع الخلايا الثلاث يُفَسِّر الدماغ لون الضوء. مثلًا، إذا تفاعلت أنواع الخلايا الثلاث مع الضوء الواصل بالتساوي، عندها سَيُفَسِّر الدماغ أنّ الضوء هو الأبيض. إنّ دَمْج الإشارات

التي تُرْسِلُها الخلايا العَصَوِيّة لتحديد لون الضوء تمّ بِجَمْع الألوان، وكلما استقبل الدماغ المزيد من الألوان، كلما كانت الصورة أكثر سطوعًا.

فعالية 8.7 رؤية الألوان – باستعمال المحاكاة

شَغِّل المحاكاة[44] من الرابط التالي على الحاسوب وليس من الهاتف الجوّال.

https://phet.colorado.edu/sims/html/color-vision/latest/color-vision_iw.html

اخْتَر إمكانيّة لتشغيل المصابيح من بين **الأحمر-الأخضر-الأزرق**.

ستظهر على شاشة الحاسوب ثلاثة مصابيح بلون أحمر وأخضر وأزرق. إنّ تحريك الشريط الموجود على يمين كلّ مصباح، يَسْمح لك بالتحكّم في شدّة إضاءة المصباح. تَتَلاءَم المصابيح الثلاثة مع ثلاثة أنواع الخلايا المخروطيّة المتمركزة على شبكيّة العين. إنّ الإضاءة بالضوء الأزرق مثلًا من شأنّها إثارة الخلايا المخروطيّة الحسّاسة للّون الأزرق. التحكّم بشدّة إضاءة المصابيح يتوافق طردًا مع درجة إثارة الخلايا المخروطيّة.

في المحاكاة على يسارَ الشاشة، وبالقرّب من مجسّم رأس الطالب الباحث تجد أربعة أشكال بيضاوية[45]. اللون بداخلها يعكس اللون الذي يراه الإنسان. بمعنى أنّه هو اللون الذي يُفَسِّره الدماغ للإشارات القادمة من الخلايا المخروطيّة الموجودة على شبكيّة العين. تظهر لك هذه المجسمات في بداية المحاكاة سوداء توافقا مع المصابيح المطفأة.

عدِّل من شدّة إضاءة المصابيح واملأ الجدول التالي. تركنّا لك خانات فارغة حتّى تتمكّن من التسليّ واكتشاف حالات أُخرى وِفقًا لرغبتك.

---

44. PhET Interactive Simulations, University of Colorado, Boulder, https://phet.colorado.edu

45 الأصح؛ أشكال لقطع ناقص (Ellipse) [المترجم]

وضع الفانوس الأحمر	وضع الفانوس الأخضر	وضع الفانوس الأزرق	اللون الذي نراه
مُطْفَأ	مُطْفَأ	مُطْفَأ	
مضاء بكامل شدَّته	مُطْفَأ	مُطْفَأ	
مُطْفَأ	مضاء بكامل شدَّته	مُطْفَأ	
مُطْفَأ	مُطْفَأ	مضاء بكامل شدَّته	
مضاء بكامل شدَّته	مضاء بكامل شدَّته	مضاء بكامل شدَّته	
مضاء بكامل شدَّته	مضاء بكامل شدَّته	مُطْفَأ	
مُطْفَأ	مضاء بكامل شدَّته	مضاء بكامل شدَّته	
مضاء بكامل شدَّته	مُطْفَأ	مضاء بكامل شدَّته	
مُطْفَأ	مضاء بكامل شدَّته	مضاء بنصف الشدّة	
مُطْفَأ	مضاء بنصف الشدّة	مضاء بكامل شدَّته	
مضاء بكامل شدَّته	مُطْفَأ	مضاء بنصف الشدّة	
مضاء بنصف الشدّة	مُطْفَأ	مضاء بكامل شدَّته	
مضاء بكامل شدَّته	مضاء بنصف الشدّة	مُطْفَأ	
مضاء بنصف الشدّة	مضاء بكامل شدَّته	مُطْفَأ	

وضع الفانوس الأحمر	وضع الفانوس الأخضر	وضع الفانوس الأزرق	اللون الذي نراه

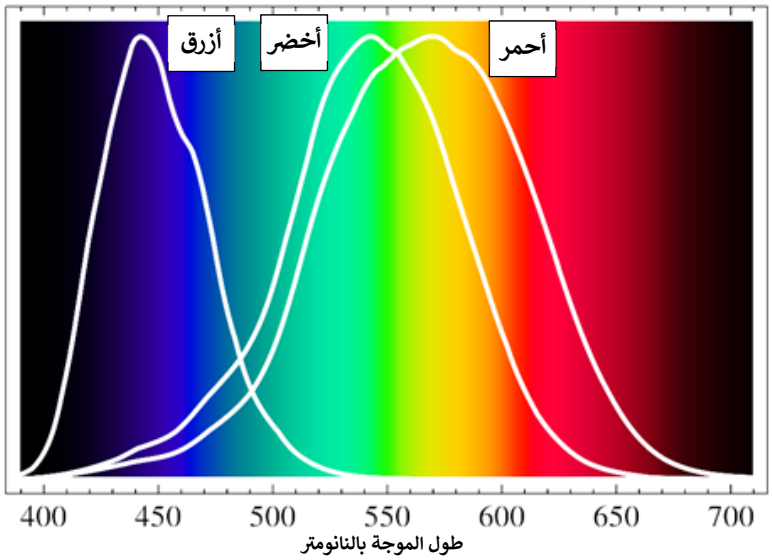
الألوان على الشاشات الرقميّة

يُمْكِن الحصول على أيّ لون من ألوان الضوء إذا مزجنا اللون الأحمر والأخضر والأزرق بنسب معيّنة. هذه الحقيقة تعتبر الركيزة الأساس في إنشاء تكنولوجيّا الشاشات الرقميّة. حيث تتكوّن شاشات الكمبيوتر والتلفزيون وأيضًا الهاتف المحمول من أضواء صغيرة، بعضها يُصْدِر ضوءًا أحمر، وبعضها أخضر والمتبقي يُصْدِر الضوء الأزرق. بقيّة الألوان التي نراها على الشاشة هي بفعل مَزْج هذه الألوان بنسب متفاوتة أو تتابع سريع، كما يَتَّضِح

في محاكاة الفعاليّة 8.7. يُعرّف تَجْميع درجات الألوان الأحمر والأزرق والأخضر بِـ RGB وهي مُشْتقَّة من Red، Green وَ- Blue.

الطالبة شمس النور: رأينا أنّه من مزج الضوء الأحمر والضوء الأخضر نحصل على اللون الأصفر. لكن، ليس بالضرورة الحصول على الضوء الأصفر من خلط الألوان. نرى في الصورة 8.1 الملّونة، طيف الضوء المرئيّ، إنّ طول موجة الضوء الأصفر 570 نانومتر بالتقريب، ذلك دون أيّ خلط للألوان. كما ونرى اللون الأصفر في قوس القزح، الذي لا ينتج عن اختلاط الألوان. كيف نتمكّن من رؤيته؟

بروفيسور أمواج الشعاع: الخلايا العَصَوِيّة على شبكيّة العين لا تمتصّ طول موجة معيّن فقط بل تمتصّ أيضًا أطوال الأمواج القريبة منه. تمتصّ الخلايا العَصَوِيّة، المسؤولة عن رُؤية الضوء الأحمر، أمواجًا أطوالها 580 نانومتر تقريبًا. بينما تمتصّ الخلايا العَصَوِيّة، المسؤولة عن رُؤية الضوء الأخضر، أمواجًا أطوالها 545 نانومتر تقريبًا. تَعْرِض الصورة 8.9 وصفا لكيفيّة استجابة الخلايا العَصَوِيّة للأمواج الضوئيّة. مثلًا، تُحْدِث موجة الضوء الأصفر (570 نانومتر) إثارة لدى الخلايا العَصَوِيّة المسؤولة عن رؤية الضوء الأخضر وعن تلك المسؤولة عن رؤية الضوء الأحمر. هكذا، يَحْدُث في الدماغ اختلاط الألوان، التي تُفَسَّر على أنّها صفرًاء، ذلك على الرغم من أنّ الضوء الذي وصل إلى شبكيّة العين لم يكن خليطا.



صورة 8.9 استجابة ثلاثة أنواع الخلايا العَصَوِيّة للضوء في المجال المرئيّ؛ في الواقع، شدّة استجابة ثلاثة أنواع الخلايا العَصَوِيّة للضوء ليست متطابقة (المصدر: انظر الملحق جـ).

للتوسُّع: ألوان قوس قزح

عندما نقول ألوان قوس قزح نقصِد به أنّه غني جدًّا بالألوان. لكن، عندما نتمعَّن قوس قزح، فإنّنا لا نرى به جميع الألوان التي نعرفها. ألوان قوس قزح هي الألوان التي نراها في صورة قوس قزح في الصورة 8.6.

ما هي الألوان التي نفقِدَها في قوس قزح؟ لا نرى مثلًا اللون الوَردي واللون البُني واللون الأخضر الداكن واللون الرمادي.

يعود ذلك لأنّه تظهر في الطيف الألوان التي يُناسبها طول موجة واحد من المجال المرئيّ، وتتراوح بين 390 و- 700 نانومتر. إنّ آلية الرؤية لدى الإنسان لا تعتمد على الكشف عن طول موجة واحد، وإنّما تعتمد على الحصول على معلومات حول مكوّنات اللون الأحمر والأخضر والأزرق التي تدخل العين، أيّ أنّنا نعرف كيف نرى خليطًا من الألوان، وهو مزيج يتمّ تفسيره في الدماغ أنّه لون. نتيجة هذا الاختلاط لا يمكن تحقيقها دائمًا في موجة ذات طول موجة واحد مُحدّد. لذلك، نجِد أنّ مجموعة الألوان التي نتمكّن من رؤيتها أكثر من ألوان قوس قزح.

ملخّص الفصل

- تستقبل عين الإنسان الضوء الذي يصلها من الخارج، وتُرسل إشارات كهربائيّة إلى الدماغ وِفقًا للصورة التي ننظر إليها.
  - بؤبؤ العين هو الفتحة التي يدخل منها الضوء إلى العين، وهي محاطة بعضلات القزحيّة التي يُمَكِّنها تنظيم كِبَر البؤبؤ، الأمر الذي يؤديّ إلى التحكّم في كميّة الضوء التي تدخل العين.
  - القرنيّة وعدسة العين تَكْسِر الضوء الداخل وتغيّر اتّجاه تقدّمه. القرنيّة تُوَجِّه الضوء نحو البؤبؤ في حين أنّ عدسة العين تُوَجِّه الضوء المارّ عَبْر البؤبؤ نحو شبكيّة العين.
  - خلايا الشبكيّة تُتَرجِم الضوء إلى إشارات كهربائيّة وترسلها إلى الدماغ.
- الفرق بين انعكاس الضوء عن الأجسام العاديّة وانعكاسه عن المرايا هو في كيفيّة الانعكاس. المرآة تعكس الضوء بانتظام. ينتج عن الانعكاس المنتظم صورة الكائن داخل المرآة. الأجسام العاديّة لا تعكس الضوء بانتظام بل في اتّجاهات مختلفة.
- الضوء الذي نراه هو حُزْمة من الأمواج الإلكترومغناطيسيّة التي يتمّ تفسيرها في الدماغ كألوان.
  - اللون الأسود هو الظلام، أيّ أنّه لا تنعكِس أيّ مُرَكبة من مركبات الضوء الساقط على الجسم. الجسم الأسود يمتصّ جميع الضوء الساقط عليه.

- اللون الأبيض هو خليط ألوان الطيف المرئيّ. يبدو لنا الجسم أبيض إذا انعكس عنه جميع الضوء الساقط عليه، ذلك على فرض أنّ الضوء الساقط يحتوي على جميع أطوال أمواج المجال المرئيّ.
- تعكس الأجسام، التي لا تكون سوداء ولا بيضاء، قِسمًا من الضوء الساقط عليها. على سبيل المثال، يمتصّ الدفتر أحمر اللون معظم أطوال أمواج الضوء الساقط عليه ويعكس فقط طول موجة اللون الأحمر.
- تستوعب عين الإنسان الألوان من خلال الخلايا العَصَويَّة الموجودة على شبكيّة العين. توجد ثلاثة أنواع من الخلايا العصوية على الشبكيّة: النوع الأوّل يمتصّ أمواج الضوء القريبة من أمواج اللون الأحمر، النوع الثاني يمتصّ أمواج الضوء القريبة من أمواج اللون الأخضر، والنوع الثالث يمتصّ أمواج الضوء القريبة من أمواج اللون الأزرق. تعتمد الصورة الملونة الدقيقة التي يُفَسِّرُها الدماغ على المعلومات التي حصل عليها من ثلاثة أنواع الخلايا العصويَّة.

- لون شاشات العرض الرقميّة، يكون نتيجة تجميع من الضوء الأحمر، والضوء الأخضر، والضوء الأزرق (RGB).

الفصل 9: تأثير الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة على جسم الانسان

الأسئلة التي يمكنك الإجابة عنها بعد تعلّم هذا الفصل:

- هل التعرُّض للأشعّة باستمرار مُضرّ للصحّة أكثر من التعرُّض المُتَقَطِّع؟
- ماذا يعني الرقم الظاهر على المرهم الواقي من أشعّة الشمس؟
- كيف نُقارن بين الأشعّة المُنْطلقة من الهواتف المحمولة المختلفة؟

المصطلحات الأساسيّة التي سنتناولها في هذا الفصل:

ضرر الأشعّة، وتيرة الامتصاص النوعيّ SAR ومعامل الوقاية من أشعّة الشمس SPF

من المعروف أنّ التعرُّض لأشعّة الشمس قد يَضُرّ بجسم الإنسان. كنّا قد درسنا في الفصل الخامس عن معايير التعرُّض للأشعّة وتعلّمنا أنّه من المستحسن عدم التعرُّض لمستويات عالية من الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة، وأنه يتوجّب تجنّب التعرُّض المُفرط للمجالات المغناطيسيّة المتغيّرة المُنْطلقة من الأجهزة البيتيّة. وسبّب ذلك يعود لِكَوْن أمواج الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة تحمل الطاقة، وعندما يمتصّها جسم الإنسان يقوم بنقل طاقتها إليه، الأمر الذي قد يُسبّب تغيُّرات في خلايا الجسم بل إلى تغيُّرات في وظائفها. سندرس في هذا الفصل عن تأثير الأشعّة على الجسم وسوف نتحدّث عن كيفيّة تقليل مضارّها. كما وسندرس بالتفصيل عن أشعّة الشمس وعن الأشعّة التي نتعرّض لها أثناء استخدام الهواتف المحمولة.

أيّ التغييرات في جسم الإنسان يُسبّبها التعرّض للأشعّة؟

امتصاص جسم الإنسان للأشعّة قد يُسبّب حدوث العديد من العمليّات، بما في ذلك:

- تأيّن الذرّات وهي عمليّة تحرير إلكترون من الذّرة أو إضافة إلكترون للذّرة، انظر الفصل 6؛
- تفاعلات كيميائيّة مختلفة.
- التسخين.

تأيّن الذرّات يمكن أنّ يحدث بسبّب الأشعّة المُؤيّنة. وهذه الأشعّة تكون بالأمواج قصيرة الطول في مجال الأشعّة فوق البنفسجيّة، ومجال الأشعّة -X، أو مجال أشعّة چاما (أنظر الفصل 6). تستطيع الأشعّة المُؤيّنة أنّ

تُحْدِث تغيّرات ملحوظة في خلايا الجسم، الأمر الذي يُوجِب علينا تجنّب التعرّض لها قدر الإمكان[46]. أيضًا الأشعّة غير المُؤيّنة في مجال أشعّة الراديو، أشعّة الميكرو، والأشعّة تحت الحمراء، وأشعّة الضوء المرئيّ وقسم من مجال الأشعّة فوق البنفسجيّة يمكنها التأثير على الجسم أيضًا بتسخينه أو إحداث تفاعلات كيميائيّة.

الطالبة شمس النور: أَشْعُر، بعد محادثة طويلة على هاتفيّ المحمول (لاسلكيّ/ خلويّ)، إنّ أُذني تصبح أكثر دفئا. هل هذا الأمر خطير؟

د. نوره الحكيم: يصدر عن الهاتف المحمول أشعّة في مجال الميكرو، هذه الأشعّة غير مؤيّنة، إلا أنّها تؤثّر على الجسم وتشْعُرين أنّ أذنك قد سَخنت. الحقيقة أنّنا مازِلنا نجهل مدى خطورة هذا الأمر. هناك دراسات متناقضة حول هذا الموضوع، لذا نوصي بالاحتياط واستخدام الهاتف المحمول والشبكة اللاسلكيّة بِحِكمَة، خاصّة تلك التي تَصْدُر عنها الأشعّة. والتقليل من التعرّض للأشعّة غير المؤيّنة.

إنّ جميع العمليّات المذكورة هنا من تأيُّن وتفاعلات كيميائيّة وتدفئة، يُمكنها أنّ تسبّب تغيّرات في الخلايا الحيّة. بعض هذه التغييرات قد تكون مفيدة، لكن معظمها قد يُؤديّ إلى توليد مصاعب وعيوب في الجسم والذي يُحاول بدوره إصلاحَها. تَحْدُث العيوب في الخليّة خلال جزء من الثانية، أمّا إصلاحُها قد يستغرق دقائق أو حتّى بضع ساعات. غالبًا ما يستطيع الجسم إصلاح ضرر الأشعّة وأمّا الخليّة المتعرّضة للأشعّة فتَستعيد نشاطها بشكل طبيعيّ. نظرًا لأنّ تفعيل أنْظِمة الإصلاح يستغرق وقتًا فإنّ الجسم يستصعب التعامل مع وضع يتمّ فيه توليد العديد من أضرار ما بعد التعرُّض للأشعّة في وقت قصير. إنّ التعرُّض للأشعّة لفترة زمنيّة طويلة يُسبّب أضرارًا أكثر خطورة من تلك التي تكون لفترات زمنيّة قصيرة والتي تمكّن الجسم من التعافي.

في حال فشل آليّات إصلاح الجسم فإنّ الخليّة قد تموت أو تستمر في العمل ولكن بشكل سيء. في كثير من الحالات يكون الجزء المتضرر في الخليّة هو الحمض النوويّ، وهو المادّة الوراثيّة في الخلية، فينتج عن ذلك تكوين خلايا جديدة لا تعمل وِفقًا لنظامها الأصلي، الأمر الذي قد يُسبّب أضرارًا في المدى الطويل. ويؤديّ ذلك، في بعض الحالات، إلى حدوث سرطان. بإمكان السرطان الظهور بعد عقود زمنيّة من التعرّض للأشعّة، وبالتالي يصعب جدًّا إجراء تجارب تثبت وجود صلة بين التعرّض للأشعّة والمرض.

[46] . سندرس في الفصل 10 عن الإجراءات الطبية التي يتعرض فيها المريض للأشعة المُؤينة. مثل هذا التعرض له ما يبرره عندما نرى أن فائدة الإجراءات الطبية تتجاوز الضرر الناتج عن التعرض للأشعة، وذلك وفقًا لِتَقييم الطاقم الطبي المُختص.

عند التعرّض للأشعّة فإنّ الخلايا المختلفة تتأثّر على نحو مختلف. بشكل عامّ، الخلايا الموجودة في طور الانقسام[47] تكون الأكثر حسّاسيّة للأشعّة. خلال فترة الطفولة والإرضاع تنمو أعداد الخلايا بمعدّل سريع، ممّا يعني أنّ الخلايا تنقسم بمعدّل مرتفع. لهذا السبّب يكون الأطفال والرُضّع أكثر تأثرًا بالأشعّة من البالغين. على الشباب الانتباه أيضًا أنّ الضرر طويل المدى قد يكون أكثر خطورة بالنسبة لهم. الرجل المُسنّ لن تقلقه أمراض قد تحصل بعد عقود ولكنّ الأطفال والمراهقين يقلقهم ذلك، لذا يتوجّب عليهم توخّي الحذر. من المهمّ للغاية إذًا حماية الأطفال والرُضّع من الإشعاعات وأضرارها.

الخلايا في طور الانقسام تكون حسّاسة جدًّا للأشعّة المُسْتَغَلَة في علاج السرطان. تنقسم الخلايا السرطانيّة بمعدّل أعلى من الخلايا السليمة. في العلاج بالأشعّة يتمّ اصدار أشعّة مؤيَنة إلى المنطقة بالجسم حيث يوجد الورم السرطانيّ. تتأثّر كلّ من الخلايا السليمة والخلايا السرطانيّة بالإشعاع، لكن ونظرًا لأنّ معدّل انقسام الخلايا السرطانيّة يكون أكبر، فإنّها تتأثّر بشدّة أكبر، في حين تقوم الخلايا السليمة بإصلاح الضرر.

الطالبة شمس النور: مهلاً! إذا كان التعرّض للأشعّة قد يُسبّب تكوُّن سرطان، وفي الوقت نفسه يُسْتَخدم أيضًا للقضاء على المرض؟

د. نوره الحكيم: فعلا هذا صحيّح، عند تعرّض الخلايا السليمة للأشعّة ممكن أنّ تصبح خلايا سرطانيّة. بالمقابل نحاول أيضًا استئصال الخلايا السرطانيّة عن طريق العلاج الإشعاعي. الحفاظ على أقصى قدر من الكفاءة في العلاج. يتمّ إجراء علاج الأشعّة بطريقة مضبوطة. يُرَكّز الفريق الطبّي الأشعّة في المنطقة التي يوجد فيها السرطان وذلك بهدف الحد من الأضرار التي قد تلحق بالخلايا السليمة، مع الحفاظ على أقصى قدر من كفاءة العلاج.

[47] انقسام الخلايا أو الانقسام الفتيلي كما يسمى في علم الأحياء، هي العملية التي تنقسم بها الخلية وتخلق خليتين جديدتين متطابقتين. هذه هي آلية انتشار الخلايا في الجسم. تتم العملية في أجسامنا باستمرار وتسمح بنمو وتجديد وإعادة تأهيل المناطق المتضررة. يمكنك أن تقرأ عن هذه العملية في مقالة بقلم إيريس غيرتي على موقع معهد دافيدسون للتربية العلمية.
https://davidson Weizmann.ac.il/online/maagarmada/life_sci/ איך–תאים–מתחלקים-מיטוזה

للتوسُّع: مرض السرطان

السرطان هو اسم لمرض يضمّ 200 نوع من الأمراض التي تتضاعف فيها بعض خلايا الجسم دون ضبط أو كبح مع تكوين أوعية دمويّة جديدة تسمح باستخدام موارد الجسم والأضرار بالخلايا الأُخرى. نجد أنواعًا مختلفة للسرطان وفق مكان المنطقة المصابة بالورم، ومعدّل نموه، والآثار الجانبيّة المرتبطة بالمرض.

ظاهرة تَكَوُّن السرطان تعود إلى أسباب وراثيّة وأيضًا بيئيّة. هناك عوامل تزيد بشكل ملموس من خطر الإصابة بالمرض:

- التدخين - تدخين السجائر يزيد من خطر الإصابة بسرطان الرئة بنسبة 20-10 مرّة. من المهمّ الإشارة الى أنّ تدخين الشيشة (الأرجيلة) ضارّ تمامًا إنّ لم يكن أكثر من تدخين السجائر.
- استهلاك الكحول المفرط
- التعرّض للإشعاع
- ضعف وزن الجسم وعدم ممارسة الرياضة
- سوء التغذية في الفواكه والخضروات

في إسرائيل، يتسبّب السرطان بإصابة ما يقارب من 28 ألف مريض جديد كلّ عام. حوالي نصف مرضى السرطان يتعافون مع العلاج الطبّي الذي يتلقّونه. كلما كان اكتشاف المرض في مراحله المبكرة، ازدادت فرص الشفاء.

يمكن قراءة المزيد من المعلومات حول السرطان على الموقع التابع لـ جمعيّة السرطان الإسرائيليّة [48].

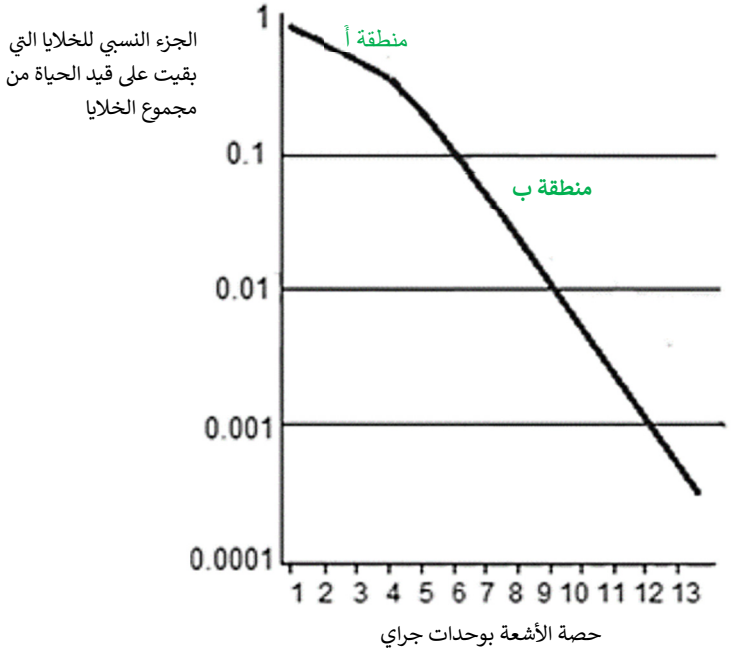
فعالية 9.1 الإشعاع المُطَوَّل لعلاج الخلايا باستعمال الأشعّة المُؤيّنة

عرضنا، في الرسم البيانيّ 9.1، نتائج تجربة تمّ فيها توجيه أشعّة – x على مُسْتَنْبَت خلايا ثَدِيَّات لفترة زمنيّة معيّنة، وخلال ذلك قياس نِسَب بقاء هذه الخلايا على قيد الحياة كدالّة لكميّة الأشعّة التي تَتَعَرَّض لها الخلايا. هنا نُعَرِّف **جُرْعَة الأشعّة** أنّها كميّة الطاقة لكلّ كيلوغرام من الجسم الذي تَعَرَّض للأشعّة وتقاس بوحدة جراي (Gray).

1 جراي يُمَثِّل مقدار امتصاص 1 كيلوغرامًا من المادّة ل-1 جاول من طاقة الأشعّة، **انظر الملّحق أ: وحدات القياس**.

[48] . http://www.cancer.org.il

محور- X في الرسم البيانيّ يُمثّل كميّة الأشعّة التي تمتصّها الخلايا أثناء عمليّة الإشعاع، ومحور Y يُمثِّل النسبة المئويّة للخلايا التي تبقى على قيد الحياة، و- 1 يشير إلى إنّ 100% من الخلايا بقيت سليمة، بينما 1.0 تعني أنّ 10% من الخلايا فقط ما زالت على قيد الحياة وهلّم جرا.



صورة 9.1 منحنى البقاء على قيد الحياة لخلايا الثدييات المعرضة للإشعاع بالأشعّة السينيّة تبعاً للجرعة الممتصة (المصدر: انظر المرفق ج)

1. أيُمكن أنّ يكون خطّ الرسم البيانيّ، الذي يظهر في الصورة 9.1، بالكامل هو نتيجة لقياسات تمّ إجراؤها عمليّا؟ فسر! تلميح: حاول معرفة ما إذا كان بإمكانك تحديد عدد القياسات التي تمّ إجراؤها بالفعل.
2. صِف تأثير الأشعّة على الخلايا.

منطقة "أ" في صورة 9.1 تصف استجابة الخلايا المُعرّضة لجرعة صغيرة نسبيًا من الأشعّة، بينما المنطقة بَ تصف مدى استجابة الخلايا المُعرّضة لجرعة كبيرة من الأشعّة. في المنطقة بَ ينحدر الرسم البيانيّ بشكل حادّ أكثر. وهذا يعني أنّ الضرر الناجم عن جرعة أشعّة 1 جراي مُرتَبِط بكميّة الأشعّة التي امتصتّها الخلايا قبل الإشعاع.

الطالبة شمس النور: لم افهم. لماذا تتسبّب جرعة إشعاعيّة من 1 جراي ضررًا أصغر في المنطقة "أ" وأضرارًا أكبر في المنطقة "ب"؟

د. نوره الحكيم: سأحاول توضيح ذلك من خلال مثال. تعلّمين أنّ مدرستك تضع 10 دقائق راحة بين درس وآخر. لنفترض أنّ معلّم الساعة الأولى ألغى لكم الاستراحة. سيكون امرا مؤسفًا، لكنّك ستستمرين في التركيز وقت الدرس الثاني أيضًا. إذا تمّ في نفس اليوم إلغاء الاستراحة بين الدرسين الثاني والثالث، وأيضًا الاستراحة التالية، ستلحظين أنّ الطلّاب قد تَضَرَّروا كثيرًا وأنه أصبح من الصعب عليكم مواصلة الدراسة كالمعتاد. الاستراحة الثانية التي تمّ إلغاؤها من شأنّها أنّ تتسبّب في ضَرَرٍ أكبر من ضَرَرِ إلغاء الاستراحة الأولى، ذلك أنّ الطالب الذي أُخذت منه فترة راحة واحدة **سيجد صعوبة في التعامل** مع إلغاء استراحة أخرى.

الطالبة شمس النور: إذا كان الأمر كذلك، أنا أفهم أنّه عندما نُعَرِّض الخلايا لجرعة صغيرة من الأشعّة فإنّها تسترد عافيتها وتتغلب على الضرر كما هو واضح في المنطقة أ من الرسم البيانيّ. من ناحية أخرى، عندما يكون التعرّض مُطَوَّلاً وكميّة الأشعّة التي امتصَّتْها الخليّة كبيرة، فإنّ قدرة هذه الخليّة على التعافي ستتضرر وأي جرعة أشعّة إضافيّة سوف تتسبّب في ضَرَرٍ أكبر، كما هو ظاهر في المنطقة بَ.

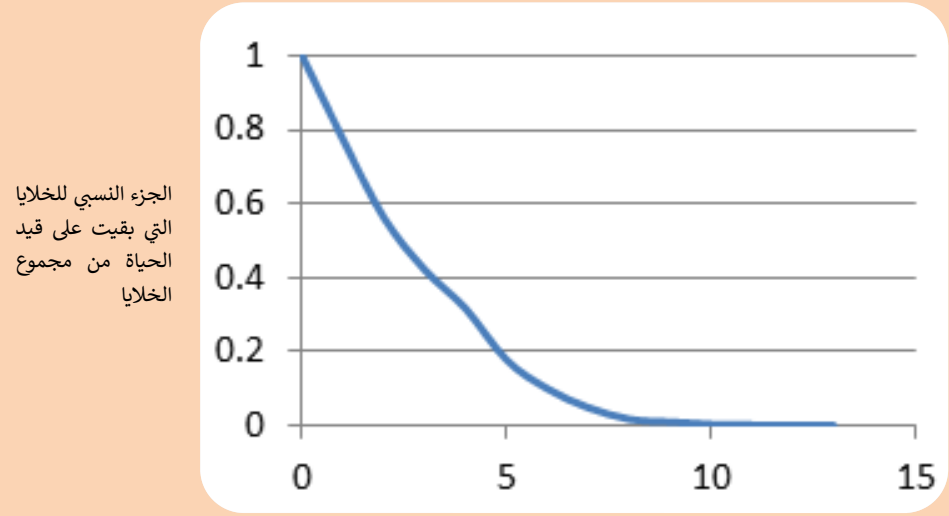
للتوسُّع: رسوم بيانيّة بنظام الاحداثيات اللوغاريتميّة

انظر إلى الأعداد التي تظهر بجوار المحور الرأسي في الشكل 9.1. ترى أنّ الأعداد لا تكتب بالقرّب من المحور على فترات متساوية كما اعتدنا عليها. الفواصل الزمنيّة على المحور تُشير إلى أُسُس العدد 10،

أيّ أنّ؛ $10^{0}=1$، $10^{-1}=0.1$، $10^{-2}=0.01$ وهكذا.

في الرسم البيانيّ XY التقليديّ يتمّ عادة زيادة القيم في المحور Y بمعدّل ثابت، كالأعداد 1، 2، 3، 4 وهكذا. بينما نرى في الرسم البيانيّ لشكل 9.1 ازدياد الفواصل الزمنيّة بين المقاييس كلما زادت قيمة المحور Y (0.001، 0.01، 0.1، 1 وهكذا).

تمثيل بيانيّ كهذا يسمّى رسمًا بيانيًّا لوغاريثميًّا. يستخدم الرسم البيانيّ اللوغاريثميّ لوصف رسم تتغيّر فيه القيم في أحد المحاور بشكل متسارع. إذا استخدمنا في رسم المخطط في الشكل 9.1 رسمًا بيانيًّا XY تقليديًّا فإنّنا نحصل على الرسم البيانيّ الموضّح في صورة 9.2 لاحظ أنّنا لن نستطيع تمييز عدد الخلايا الناجية في هذا المخطط بعد امتصاص جرعات كبيرة من الأشعّة.



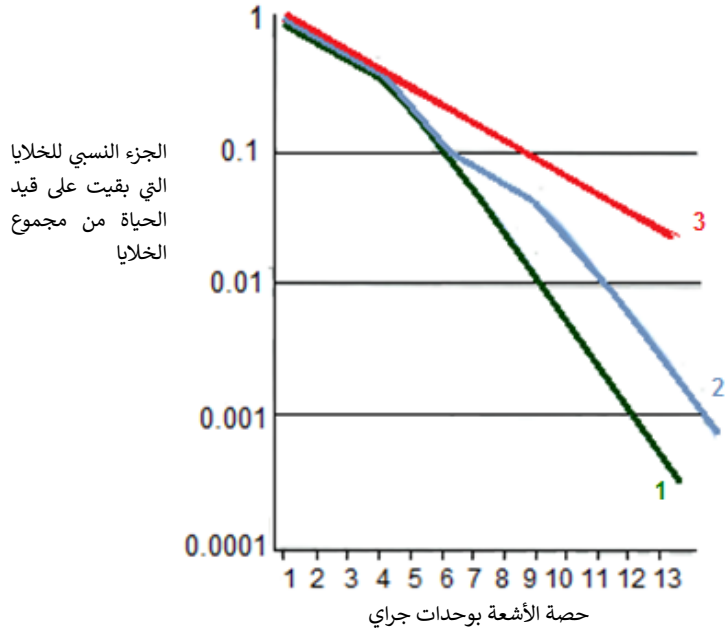
صورة 9.2 مُعطَيات صورة 9.1 في نظام الاحداثيات الخطي غير اللوغاريتمي

الخلاصة: يقدّم نظام الإحداثيّات اللوغاريثميّ كما في صورة 9.1 صورة أوضّح لمسائل تتغيّر فيها القيم المُقاسة بأبعادٍ كبيرةِ التفاوتِ، هنا نستعمل أُسُس العدد 10.

صورة 9.3 يصف تجربة أخرى تعرّضت فيها الخلايا للأشعّة السينيّة بثلاث طرق مختلفة. وكل طريقة في التخطيط ممثلةً بلون خاص:

1) **الأخضر** - تعرُّض مستمرّ لإشعاع قويّ، على غرار التجربة الموضحة في الشكل 9.1.
2) **الأزرق** - التعرّض لإشعاع قوي على النحو التالي: عند وصول جرعة الأشعّة التي امتصّتها الخلايا إلى 6.5 جراي، توقّفت عمليّة الإشعاع لمدة ثماني ساعات وبعد ذلك تَجَدَّدت عمليّة الإشعاع.
3) **الأحمر** - التعرّض المستمرّ لإشعاع ضعيف جدًّا لفترة زمنيّة طويلة جدًّا.

في كلّ تجربة من التجارب كان إجماليّ كميّة الإشعاع الممتصّ في الخلايا حتّى نهاية التجربة هو نفسه، في حين كانت الاختلافات محصورة في الفترة الزمنيّة التي تعرَّضت لها الخلايا.



صورة 9.3 منحنى بقاء الخلايا يعتمد على جرعة الإشعاع الممتصة في ثلاث تجارب مختلفة (انظر: الملحق جَـ)

3. اشرح الاختلافات في نسبة الخلايا التي بَقِيَت على قيد الحياة في التجارب المختلفة.
4. نورة، يُمنى ورُبى تَمَشَّيْن ظهرًا في فصل الصيف، وتَلَقَّى الفتيات الثلاث جرعات متطابقة من الأشعّة.
   - خرجت نورة للركض صباحاً وتعرّضت لأشعّة الشمس الضعيفة بين الساعة 8:00 والساعة 9:30.
   - خرجت يُمنى للعمل في الحديقة ظهرًا وتعرّضت للأشعّة بين الساعة 12:00 والساعة 12:30.
   - ذهبت رُبى إلى محلّ البقالة ظهرا وتعرّضت للأشعّة وهي في طريقها إلى متجر البقالة بين الساعة 12:00 ظهراً و 12:15 وفي طريق العودة بين الساعة 13:00 والساعة 13:15.

حدِّد، بالاستعانة بالرسم البيانيّ الموضّح في صورة 9.3، أيّ من الفتيات سوف يكون تعرّضها للشمس أكثر ضررًا وأيُّهن أقلّ ضررًا. علّل!

5. ما هي الاستنتاجات التي يمكنك استخلاصها من هذه المسألة فيما يتعلّق بالتعرُّض للأشعّة في الحياة اليوميّة؟
6. أيّ عادةٍ من عاداتك يتوجّب عليك تغييرها حتّى تتجنّب التعرّض المتواصل للأشعّة؟

تأثير الأشعّة غير المؤيّنة على جسم الإنسان - تقييم التَّعرُّض للأشعّة من الهواتف

يعتمد الضرر الناجم عن التعرُّض للأشعّة على نوع الأشعّة، أيّ على طول موجتها أو تردّدها، وعلى المنطقة المُستهدفة. تُشير المعايير التي تُحدِّد سلامة استخدام الهاتف المحمول إلى مقدار الطاقة الممتصّة التي تمتصَّها وحدة كتلة من المادّة البيولوجيّة، كجسم الإنسان. **تقاس كميّة الطاقة التي تمتصّها وحدة الكتلة خلال وحدة زمنيّة في وحدة قياس تسمّى مُؤَشِّرSAR (Specific Absorption Rate).**

SAR 1 هي طاقة قدرها 1 جاول يمتصَّها جسم كتلته 1 كغم خلال ثانية واحدة (أي 1 واط). هكذا، تُعَبِّر وحدة ال - SAR عن القدرة التي يَسْتَوعِبَها جسم كتلته 1 كغم، وهي: واط لكلّ واحد كيلوغرام (Watt/kg). مستوى مُؤَشِّر SAR المسموح به مُلْزِم وِفقًا للإرشادات والمعايير الدوليّة. وِفقًا لوزارة حماية البيئة يحظر استخدام الهواتف المحمولة التي يؤديّ استعمالها إلى رفع درجة حرارة الجسم أكثر من درجة واحدة (1°C). تمّ ترجمة هذا الأمر إلى القوانين التي حَدَّدت مستوى مُؤَشِّر SAR المسموح به في الهواتف المحمولة، كما سيُوضّح فيما بعد.

الاستخدام الرئيس لقياس معدّل الامتصاص النوعيّ (SAR) يكون للدلالة على شدّة انطلاق الأشعّة من الهواتف المحمولة. نجد في المختبرات المتخصّصة في قياسات مُؤَشِّر SAR مُجسَّم بلاستيكيّ مجوف على شكل رأس بشريّ، كما هو موضّح في صورة 9.4. يتمّ ملء المُجسّم بمحلول من الماء والأملاح والسكريّات بحيث يتمّ امتصاص الأشعّة بطريقة مشابهة لامتصاص الأنسجة البشريّة لها.

يتمّ وضع مُجسّم الرأس في غرفة معزولة عن الأشعّة الخارجيّة ومُلصق بها هاتف محمول يبثّ بطاقته القصوى. تقيس أجهزة الاستشعار الخاصّة شدّة امتصاص الأشعّة في نقاط مختلفة داخل المُجسّم. ويتمّ حساب قيمة مُؤَشِّر SAR وِفقًا لقيمة الامتصاص القصوى المُقاسة في منطقة معيّنة خلال ستّ دقائق من استخدام الهاتف.

صورة 9.4 قياس معدّل الامتصاص النوعيّ للأشعّة الإلكترومغناطيسيّة المنبعثة من الهاتف المحمول (انظر: الملحق جـ)

هناك طريقتان مختلفتان ومقبولتان على نطاق واسع لتقييم معدّل الامتصاص النوعيّ للأشعّة المنبعثة من الهاتف. يُطلب من مصنّعي الهواتف أنّ يقدّموا إلى المستهلكين نتائج قياسات مُؤّشِّر SAR لكلّ واحدة من هذه الطرق، حيث تختلف الحدود المسموح بها في كلّ منها:

- الطريقة الأوروبيّة - يقيس أقصى امتصاص 10 غرامات من المحلول. يسمح المعيار الأوروبي بالتعرّض الموضعيّ للدماغ بقيم مُؤّشِّر SAR أقلّ من 2 واط لكلّ كيلوغرام.
- الطريقة الأمريكيّة - تشير إلى الحدّ الأقصى لامتصاص غرام واحد من المحلول. يسمح معيار الولايات المتحدة بالتعرّض الموضعيّ للدماغ بقيم مُؤّشِّر SAR تحت 1.6 واط/كغم.

يقوم مصنّعو الهواتف بنشر نتائج قياسات مُؤّشِّر SAR، وفي إسرائيل يتمّ حصرًا السماح ببيع تلك الهواتف المحمولة التي تلبي كلاً من المعايير الأمريكية والأوروبية. ووِفقًا لتقديرات وزارة حماية البيئة، فإنّ الهواتف التي تستوفي هذه المعايير لن ترفع حرارة الجسم بأكثر من درجة مئويّة واحدة، وبالتالي مسموح بيعها. يمكن توسيع نطاق القياس وقياس مُؤّشِّر SAR أو معدّل الامتصاص المحدّد ليس فقط في منطقة الرأس وإنما أيضًا في باقي أعضاء الجسم.

الطالبة شمس النور: هل الهاتف المحمول ذو قيمة لمُؤّشِّر SAR أقلّ من القيمة القصوى الآمنة للاستخدام؟

د. نوره الحكيم: من الصعب الإجابة عن هذا التساؤل بشكل حاسم. ذلك لأنّ قياس مُؤّشِّر SAR هو قياس بسيط للغاية لا يأخذ في الاعتبار العوامل المختلفة التي يمكن أنّ تُغيِّر درجة امتصاص الجسم للأشعّة. على سبيل المثال، تمّ قياس مُؤّشِّر SAR لِنموذج رأس شخص بالغ وليس من الواضح إذا كانت النتائج صالحة لرأس طفل.

أضِف إلى ذلك، إنّ المُجسم يمتلئ بمحلول موحد، بينما دماغ الإنسان في واقع الأمر ليس متجانسًا حيث أنّه يمكن لبعض المناطق امتصاص المزيد من الأشعّة بخلاف مع قياسات وتقديرات SAR.

السيّد منير الضياء: يتوجّب أيضًا الأخذ بعين الاعتبار أنّ القياس تمّ عندما كانت وتيرة انطلاق الأشعّة من الهاتف الجوّال هي القصوى. هذا هو الحال عندما نتحدَّث عن منطقة يكون فيها استقبال الأشعّة ضعيفا للغاية. بينما في الواقع يتمّ إجراء معظم المكالمات في المناطق التي يوجد فيها استقبال جيّد للأشعّة، بهذا الوضع تكون وتيرة انطلاق الأشعّة من الجهاز أثناء المكالمة في مستوياتها الدنيا. ليس من المؤكدّ أنّ قيمة مُؤّشِّر SAR تُمثل كميّة انطلاق الأشعّة المعتاد من الأداة.

لذا، من الممكن أنّ تكون قيمة مُؤّشِّر SAR الخاصّة بجهاز معيّن عالية جدًّا ومع ذلك، يكون انطلاق الأشعّة في الغالب منخفضًا.

الطالبة شمس النور: إذا لم يعكس مُؤّشِّر SAR كميّة امتصاص الجسم للأشعّة جيدًا، إذن لماذا نستخدمه؟

السيّد عيَّاش أبو الذهب: نحن لا نرغب بالتخليّ عن استخدام الهواتف المحمولة، فإنّها تجعل حياتنا أسهل. مع ذلك، لا نريد أنّ نتعرّض للأشعّة دون فحص. يعطي مُؤّشِّر SAR في الوقت الحاضر أفضل تقدير لكميّة امتصاص الجسم للأشعّة. لا يوجد حتّى الآن طريقة مُثلى لقياس امتصاص الأشعّة المنطلقة من الهواتف، علمًا أنّ جميع الهيئات المهنيّة على علّم أنّ هذا التقدير غير دقيق. وبالرغم من هذا كلّه فإنّ تقدير SAR يُعد مهمًا جدًّا لأنه يوفر أساسًا لوضع المعايير والمقارنة بين الأجهزة.

د. نوره الحكيم: حتّى عند استخدام هاتف محمول ذي مُؤّشِّر SAR أقلّ من المعيار المُحدّد فإنّه يتوجّب عليك توخيّ الحذر واخذ الحيطة، استخدم السمّاعة أو مكبّر الصوت أو أيّ وسيلة اخرى حتّى يكون الهاتف بعيدًا عن الرأس أثناء المكالمة؛ لا تَضَع الهاتف قريبًا من الجسم خاصّة بالقرب من الأعضاء التناسلية وإن كان مغلقا، حيث تنطلق منه أشعّة. كما ونوصي أيضًا بتقليل تواجد الهواتف المحمولة واللاسلكيّة من الأطفال عامّة ومن الرضَّع خاصة. كما يُفَضّل استخدام الجوّال في المناطق التي يكون فيها استقباله للأشعّة جيدًا، وتجنّب تمامًا استخدامه في المصاعد والغرف المحاطة بالمعدن.

الطالبة شمس النور: هل تصدر عن السمّاعة اللاسلكيّة أشعّة؟

السيّد منير الضياء: بالتأكيد، الهاتف يرسل الأشعّة إلى السمّاعة اللاسلكيّة وهي بدورها إلى الهاتف وهكذا يتمّ التواصل بينهما. كثافة الأشعّة المنبعثة من السمّاعة اللاسلكيّة أقلّ بكثير من تلك التي من الهاتف المحمول، لذلك فإنّ استخدام سماعة لاسلكيّة يساعد على تقليل التعرّض للأشعّة.

فعالية 9.2 مقارنة بين الأشعّة المنطلقة من مختلف الهواتف المحمولة

1. هل يوجد بحوزتك أو بحوزة أحد أفراد العائلة هاتف محمول؟ اكتب إذًا اسم طراز الهاتف.
2. ابحث في الإنترنت عن بيانات مُؤَشِّر SAR لهاتفك وقم بتعبئة الجدول.

نوع القياس	الرأس	الجسم
مُؤَشِّر SAR - أوروبي		
مُؤَشِّر SAR - امريكي		

3. يُمنع في البلاد بيع الهواتف التي يتجاوز قياس الـ SAR الأمريكي فيها 1.6 واط / كيلوغرام أو يتجاوز قياس مُؤَشِّر SAR الأوروبيّ فيها 2 واط / كيلوغرام. هل يتوافق هاتفك المحمول مع هذا المعيار؟
4. **إجراء مناقشة صَفِّيَّة**: ما هي أعلى وأدنى قيم لمؤشِّر SAR إذا وُجِدت؟ لأيّ من الأجهزة هذه القياسات؟
5. هل من الضروريّ اعتبار الهاتف ذي القياس الأقل لمؤَشّر SAR أكثر أمنًا خلال استخدامه؟ علّل!

التعرّض لأشعّة الشمس

تتكّون أشعّة الشمس من مجموعة متنوّعة من الأطوال الموجيّة، بما في ذلك الأشعّة فوق البنفسجيّة Ultra Violet، والتي تشكّل خطرًا على الصحّة كما هو مذكور في الفصل 6. وللوقاية منها يتمّ باستخدام تدابير الحماية مثل واقي الشمس أو النظارات الشمسيّة أو الملابس الخاصّة. تحتوي أدوات الحماية هذه على مكوّنات تمتصّ أو تَعْكِس أطوال الأمواج القصيرة في نطاق الأشعّة فوق البنفسجيّة فتمنع بالتالي إصابة الجسم.

الطالبة شمس النور: ما هو مفهوم الرقم المذكور على زجاجات كريم الوقاية؟

د. نوره الحكيم: لِنفترض أنَّك خرجت إلى منطقة مُشْمِسة دون وقاية من أشعّة الشمس، في حالة كهذه سوف تَظهَر على جسمك حروق بعد 20 دقيقة تقريبًا. أمّا إذا وضعت مَرْهَماً للوقاية من أشعّة الشمس قد يؤديّ إلى إطالة (Sun Protecting Factor) الفترة الزمنيّة لبداية ظهور الحروق إلى 15 ضعفاً من الفترة بدون استعمال المَرْهَم، أيّ أنّه ستُصبح خمس ساعات. يجب أنّ تعلّميّ أنّ الفترة الزمنيّة المذكورة هي الوقت النظريّ الذي توفره الشركة المصنِّعة بعد دَهْن طبّقة سميكة جدًّا من المرهم. بالإضافة إلى ذلك، فإنّ الماء والعرق يضرّان بفاعليّة الواقي من الأشعّة. لذلك يُفَضَّل وضع طبّقة سميكة من المرهم على فترات زمنيّة مُتقاربة.

بروفيسور أمواج الشعاع: لاحظي أنّ SPF يشير فقط إلى إمكانيّة حدوث الحروق بسبّب التعرّض لأشعّة UVB. بالإضافة إلى ذلك تُرْسِل الشمس أشعّة UVA ذات طول موجة أكبَر من طول موجة الأشعّة فوق البنفسجيّة UVB. وهذه الأشعّة قادرة على اختراق طبّقة الجلد الخارجيّة.

د. نوره الحكيم: الأشعّة فوق البنفسجيّة UVA لا تتسبّب في حدوث حروق، لكنّها قد تُتسبّب تسريع التفاعلات السرطانيّة وتسبّب تجاعيد الجسم. لذلك عند شراء واقٍ من الشمس، من المهمّ أيضًا التحقّق من أنّه يحمي من الأشعّة فوق البنفسجيّة نوع UVA.

فعالية 9.3 خَرَزات الشمس تَتَسَمَّر

سنستخدِم في هذه الفعاليّة خرزات الشمس لفحص مدى فعاليّة تدابير الوقاية من الأشعّة فوق بنفسجيّة – UV. خرزات الشمس؛ هي خرزات بيضاء يتغيّر لونها أثناء تَعَرُضِها لأشعّة UV.

الأدوات:

- مصدر للأشعّة فوق البنفسجيّة UV، مثلًا مكان ما مُعَرَّض لأشعّة الشمس أو مصباح UV

انتبه!!! إذا استعملت مصباح UV لا تُوَجِّه أشعته للعينين!!!

- خَرَزَتان على الأقل من خرزات الطاقة الشمسيّة اللاتي يكتسِبْن اللون نفسه بِتَعَرُّضهن لأشعّة UV.
- كريم وقاية
- نظارات شمسيّة
- منديل / منشفة ورقيّة / ورق التواليت لتنظيف خرزات الطاقة الشمسيّة

1. عَرِّض الخرزات للأشعّة UV. صف التغيير الذي حدث للخرزات أثناء تَعْريضَهن للأشعّة.
2. خَمِّن ما هي التغييرات التي قد تحدث أثناء تَعَرُّضها للأشعّة، إذا تمّ دهان الخرزات بالكريم الواقي قبل تعريضها للأشعة فوق البنفسجية؟ ما هو تأثير معامل SPF للكريم المستخدِم؟

الآن نريد إجراء سلسلة من التجارب والتي سنقوم من خلالها بتعريض الخرزات للأشعّة UV، ورَصْد وتيرة تغير لَوْن الخرزات التي تمّ وقايتها بالكريم الواقي، وبالنظارات الشمسيّة وغيرها من وسائل الوقاية.

3. لكل واحدة من وسائل الوقاية التي تريد فحصها، نَفِّذ العمليّات التالية:

أ. تأكّد من وجود خرزة بيضاء ناصعة. إذا كانت الخرزة ملوّنة بسبّب التعرّض السابق للأشعّة فوق البنفسجيّة، فيجب وضعها في مكان لا تصله الأشعّة والانتظار لمدّة دقيقتين حتّى تكتسب اللون الأبيض الناصع.

ب. قم بحماية الخرزة من تأثير الأشعّة بِوَضع الكريم الواقي، أو ضعها خلف حاجز مثل العدسة أو قطعة قماش.

ج. عَرِّض الخرزة المحميّة لأشعّة UV، وتتبَّع وتيرة تغير لونها. إذا اسْتَخْدمت مصباحًا يدويًا، اهتمّ بأن يكون بُعْد المصباح عن الخرزة ثابتًا في جميع القياسات.

د. كَرِّر اجراء كلّ قياس ثلاث مرات أو اكتب النتائج التي حصل عليها اثنان من طلّاب صفِّك. ناقش أهميّة تكرار إجراء القياسات في التجربة.

لخّص النتائج التي توصّلت إليها في الجدول. يمكنك تصوير الخرزات باستخدام آلة تصوير الهاتف الخلويّ وإدراج الصور أو استخدام الإشارة + لتُشير إلى شدّة اللون.

(مثلًا: أزرق، أزرق +، أزرق ++ وأزرق +++).

تركنّا في الجدول التالي السَطرين الأخيرين فارغين، ذلك للسماح لك بالاطِّلاع على تدابير وقاية أخرى، مثلًا كريم مع SPF مختلف، كريم وقاية لشركة تصنيع أخرى، مساحيق الماكياج والحلاقة، عدسة نظارات الرؤية، زجاج النوافذ، طبّقة ماء أو طبّق الورق.

جدول 9.1 تعريض الخرزات للأشعّة مع وسائل وقاية مختلفة

نوع الوقاية	**لون الخرزة بعد تعرُّضه لمدة** ثانية واحدة	**لون الخرزة بعد تعرُّضه لمدة** ثلاث ثوانٍ	**لون الخرزة بعد تعرُّضه لمدة** 10 ثوانٍ	**لون الخرزة بعد تعرُّضه لمدة** 60 ثانية
بدون وقاية				
كريم وقاية معامل SPF ____ **طبّقة رقيقة**				
كريم وقاية معامل SPF ____ **طبّقة سميكة** (معامل مطابق للسطر السابق)				
عدسات نظارات الشمس				
قطعة قماش، مثلًا قماش القميص				

الاستنتاجات

4. هل كريم الوقاية يحمي جلد الجسم تمامًا كما تفعل الملابس لحمايته من أضرار أشعّة الشمس؟ علّل!
5. هل هناك أهميّة لسُمْك طبّقة كريم الوقاية التي نضعها؟ ما هو رأيك؟ هل معامل ال - SPF، الذي سُجِّل على عبوات الكريم، يُشير إلى سُمك الطبّقة أو رِقّتها؟

في هذا السياق، نوصي قراءة إرشادات **جمعيّة مكافحة السرطان**[49]، بصدد دِهان كريمات الوقاية من الأشعّة.

[49] . http://www.cancer.org.il/template/default.aspx?PageId=6747

6. هل نظاراتك الشمسيّة فعّالة في حماية عينيك من الأشعّة UV؟ علّل!

تنبيه: إنّ **النظارات الشمسيّة التي لا تحمي العينين بشكل فعّال من أشعّة UV، هي ليست فقط غَيْر مفيدة لصحتنا، بل هي ضارّة!** والسبّب في ذلك هو أنّ مثل هذه النظارات الشمسيّة تحجب بعض الضوء المرئيّ، لذا تَشْعُر العين كأنّنا في ظلام ممّا يؤديّ إلى اتّساع بؤبؤ العين. أنظر تفسير ذلك في الفصل 8. إنّ اتّساع بؤبؤ العين يؤديّ إلى دُخول كميّة أكبر من أشعّة UV (التي لا يتمّ حجبها بواسطة النظارات) إلى العين ممّا يُلْحِق الضرر بعدسة العين.

7. ما هي استنتاجاتك من القياسات التي وَثَّقتها في السطرين الأخيرين من الجدول؟
8. استنادًا إلى ما تعلّمته في هذه الفعّاليّة، أكتب بلغتك الخاصّة توصياتك لتقليل التَّعَرُّض لأشعّة UV أثناء تَواجُدك في الخارج.

الطالبة شمس النور: فهمت أنّ التَعرُّض للأشعّة الشمسيّة هو خطر، ومع ذلك عندي رغبة في التسمير (أصبح سمراء = حمام شمسيّ). هل تنصحيّن باستخدام جهاز تَسْمِير البشرة؟

د. نوره الحكيم: بالتأكيد لا! أيضًا جهاز تسمير البشرة يشكّل خطرًا على الصحّة ويمكن أنّ يسبّب أضرارًا طويلة الأمد. أوصيك قراءة المقالة المنشورة على موقع ICA الإلكتروني حتّى تدركي المخاطر التي ينطوي عليها استخدام جهاز تَسْمير البشرة[50]: يجب أنّ تفهمي أنّ عمليّة التسمير ليست مثل وضع ماكياج أو طلاء الأظافر. هذه عمليّة ضارّة وليس بالإمكان عكس نتائجها. بالمناسبة أيضًا عند وضع طلاء من النوع الهُلامي فإنّنا نعرض اليديْن للأشعّة فوق البنفسجيّة.

الطالبة شمس النور: حقا؟ أنا أعرف الكثير من النساء اللواتي يضعن بانتظام طلاء هُلاميًّا.

د. نوره الحكيم: الطلاء الهلامي واسع الانتشار بسبّب كونه، خلافاً للطّلاء العادي، قادرًا على الصمود لأسابيع دون أنّ يتساقط. من المهمّ أنّ تعلّم أنّ الاجهزة المستخدِم ة في تجفيف الهلام وتثبيته تَسْتَخْدم الأشعّة فوق البنفسجيّة وتسبّب في الواقع عمليّة تسمير مُركّزة للأصابع. التعرّض للإشعاع يزيد من خطر الإصابة بسرطان الجلد ويسبّب شيخوخة الجلد ويضرّ بصحّة الأظافر.

[50] http://www.cancer.org.il/template/default.aspx?PageId=6745

الطالبة شمس النور: لكنّني سمعت أنّهم بدأوا مؤخّرًا باستخدام مصابيح LED لتجفيف الطلاء وأنّها ليست خطرة على الإطلاق!

السيّد منير الضياء: مصابيح الـ LED ترسل أشعّة فوق البنفسجيّة أيضًا، لكن شدّة أشعّتها قليلة نسبيًا. عند زيارتك للمركز في المرّة القادمة قومي بقلب الجهاز وقراءة ما كُتِب في أسفل الجهاز، حتما ستجدين أنّه مكتوب عليه بوضوح أنّه يَسْتَخدِم أشعّة UV.

د. نوره الحكيم: توصيّ منظّمة أطبّاء أمراض الجلد الأمريكيّة، أيّ شخص يرغب وضع الطلاء الهلامي، إنّ يتّخذ تدابير وقائية: أنّ يَضَع مرهماً واقِياً على الأصابع والأظافر قبل العلاج، وأن يقوم بتغطية اليدين بقفازات مقصوصة الأطراف حيث تتعرض الأظافر للإشعاع فقط.

فعالية 9.4 امتحن نفسك

1. **عندما تسقط الأشعّة على الجسم**
   أ. يصاب الجسم دائما بالضرر.
   ب. قد تحصل تغييرات ضارّة في خلايا الجسم بعضها لا رجعة فيه.
   ج. يحصل ضرر فقط في حالة كون الأشعّة مؤيّنة.
   د. يقوم الجسم دائمًا بإصلاح أضرار الأشعّة

2. **عندما تُحدث الأشعّة ضررًا قابلاً للإصلاح**
   أ. تقوم أنظمة إصلاح الجسم بإصلاح ضرر الخليّة على الفور.
   ب. تقوم أنظمة إصلاح الجسم بإصلاح ضرر الخليّة في غضون بضع دقائق أو ساعات.
   ج. تقوم أنظمة إصلاح الجسم بإصلاح ضرر الخليّة في غضون عقود.
   د. لا توجد أضرار يمكن إصلاحها

3. **ما هي العلاقة بين الأشعّة وأمراض السرطان؟**
   أ. زيادة التعرُّض للأشعّة يزيد من فرص الإصابة بأمراض السرطان.
   ب. تعرُّض الخلايا السرطانيّة للأشعّة قد يُدمِّرها وبالتالي يعالج المرض.
   ج. الإجابات أ و- ب صحيّحة

د. لا توجد علاقة بين الأشعّة وأمراض السرطان

4. لماذا من المهمّ حماية الأطفال من التعرُّض للأشعّة؟

أ. أنظمة الإصلاح لدى الأطفال ما زالت غير متطورّة ولا تعرف كيفيّة التعامل مع ضرر الأشعّة.

ب. وتيرة انقسام خلايا جسم الأطفال عالية، لذا تكون أكثر حسّاسيّة للأشعّة.

ج. الحياة ما زالت أمامهم، لذا يتوجّب الحَذَر من الأمراض التي قد لا نعرِفَها إلا بعد عقود.

د. الإجابتان بَ و- جَ صحيّحتان.

5. قياس معدّل الامتصاص النوعيّ (SAR) في الهواتف المحمولة يصف

أ. مقدار الطاقة المُمتصّة في الثانية لكلّ كيلوغرام من الجسم في ظلّ ظروف نقل الطاقة القصوى للهاتف المحمول.

ب. كميّة الطاقة التي يتمّ امتصاصها في الثانية لكلّ كيلوغرام من الجسم في ظروف النقل التقليديّة للهاتف المحمول.

ج. الحدّ الأقصى لمقدار الطاقة التي يصدرها الهاتف المحمول في الثانية.

د. كميّة نموذجيّة من الطاقة يصدرها الهاتف المحمول في الثانية.

6. ما مفهوم الرقم SPF المسجل على المَرْهم الواقي من أشعّة الشمس؟

أ. الرقم يُعبّر عن عدد الدقائق التي نكون فيها محميّيّن من الأشعّة بعد دهن المرهم في ظروف مثاليّة.

ب. الرقم يُشير كم ستتضاعف المدّة التي سيستغرقها حدوث الحروق على بشرتنا عند التعرّض لأشعّة الشمس عند دَهن المرهم في ظروف مثالية.

ج. الرقم يُشير إلى مستوى حماية UVA.

د. كلّ الإجابات خاطئة.

ملخّص الفصل

- عند امتصاص الأشعّة في الجسم، فإنّه ينقل للجسم طاقة ويمكن أنّ يسبّب ذلك حدوث عمليّات مختلفة، بعضها ضارّ.
- أكثر الخلايا تأثرًا بالأشعّة هي تلك التي تكون في حالة انقسام كخلايا الأطفال الصغار أو الخلايا السرطانيّة.
- لدى الجسم آليّات إصلاح يمكنها إصلاح معظم الضرر الناتج عن الإشعاع في غضون دقائق أو ساعات.
- في حالة الإشعاع القويّ والمستمرّ، لن تكون آليّات الإصلاح كافية لإصلاح كلّ الضرر وقد يتلف الجسم. لذلك، من المستحسن، تجنّب التَّعَرُّض المستمرّ للأشعّة.
- من الشائع تقدير أشعّة الهواتف المحمولة من خلال قياس معدّل الامتصاص المحدّد (SAR)، وهو مقدار الطاقة الممتصة في الثانية لكلّ كيلوغرام من كتلة الجسم.
- المرهم الواقي من أشعّة الشمس يعكس الأشعّة أو يَمْتَصَّها وبالتالي يحمي جسدنا.
  - يشير معامل SPF المشار إليه على قارورة المرهم إلى الحماية فقط من الأشعّة UVB فوق البنفسجيّة.
  - قيمة SPF هي مقياس لمنتجات الوقاية من الشمس. وهو يشير بكم مرّة تتضاعف فترة التعرُّض لأشعّة الشمس حتّى حدوث الحروق بعد استخدام المرهم مقارنة مع وقت التعرّض لأشعّة الشمس وحدوث الحروق دون استخدام المرهم.
  - من المستحسن اختيّار واقٍ للشمس يحمي أيضًا من الإشعاع UVA الفوق البنفسجيّ.
- يوصى بتقليل التعرّض للأشعّة الشمسيّة وكيفيّة التصرّف خلال السياقة تحت أشعّة الشمس وِفقًا لإرشادات جمعيّة مكافحة السرطان.

الفصل 10: الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة في خدمة الطبّ

الأسئلة التي يمكنك الإجابة عنها بعد تعلّم هذا الفصل:

- ما هو مبدأ التصوير بالأشعّة السينيّة والتصوير المقطعيّ والتصوير بالرنين المغناطيسيّ والفحوصات بالنظائر المشعّة؟
  - متى يُفَضَّل إجراؤها؟

المصطلحات الأساسيّة التي سنتناولها في هذا الفصل:

التصوير، الأشعّة السينية، الأشعّة المقطعيّة (CT)، التصوير بالرنين المغناطيسيّ (MRI) والنظائر المشعّة

تعلّمنا في الفصل 9 عن المخاطر الصحيّة الناتجة عن التعرّض للأشعّة. لكن من المهمّ أنّ نَذْكُر أنّ الأشعّة ليست فقط خَطِرَة، حيث أنّ لها فائدة كبيرة عند استخدامها في مجموعة متنوّعة من فحوصات التشخيص والعلاجات الطبّيّة.

كنّا قد ذكرنا بالفعل في الفصل 9 عن استخدام الأشعّة للقضاء على الأورام السرطانيّة. سنتعرّف في هذا الفصل على طرق التصوير المختلفة، تُسْتَخْدم الأشعّة في "تصوير" الأعضاء الداخليّة المُراد فحصها في الجسم. وتمتاز عمليّة التصوير في كونها تتمّ من خارج الجسم وتُمَكّن من عرض بُنْيَة أعضاء الجسم الداخليّة بالصورة أو بيانيًّا. الفكرة الرئيسية التي تعتمد عليها هذه الفحوصات هو أنّ مدى اختراق الأشعّة لأنسجة الجسم ومدى انعكاسها يتعلّق بطول موجة الأشعّة الساقطة وعلى مبنى المادّة.

الطالبة شمس النور: كيف يمكن تصوير الأعضاء الداخليّة؟ أنّها مستترة داخل الجسم.

بروفيسور أمواج الشعاع: صحيح أنّ الأعضاء الداخليّة لا يمكن رؤيتها بالضوء المرئيّ، ولكنّ الضوء في أطوال موجيّة أخرى قد تخترق الجلد وتخترق أنسجة الجسم الأخرى. يتمّ اتّخاذ صور التشخيص الطبّي عن طريق الأشعّة التي اخترقت بعض أنسجة الجسم، حيث يتمّ امتصاصها أو انعكاسها عن الأنسجة الأخرى.

الفحص بالأشعّة السينيّة والتصوير المقطعيّ (CT) والتصوير بالرنين المغناطيسيّ (MRI)، كلّ هذه الفحوصات تُتيح اكتشاف وتشخيص كسور العظام والنزيف الداخليّ والأورام الداخليّة والعمليّات الالتهابيّة بل

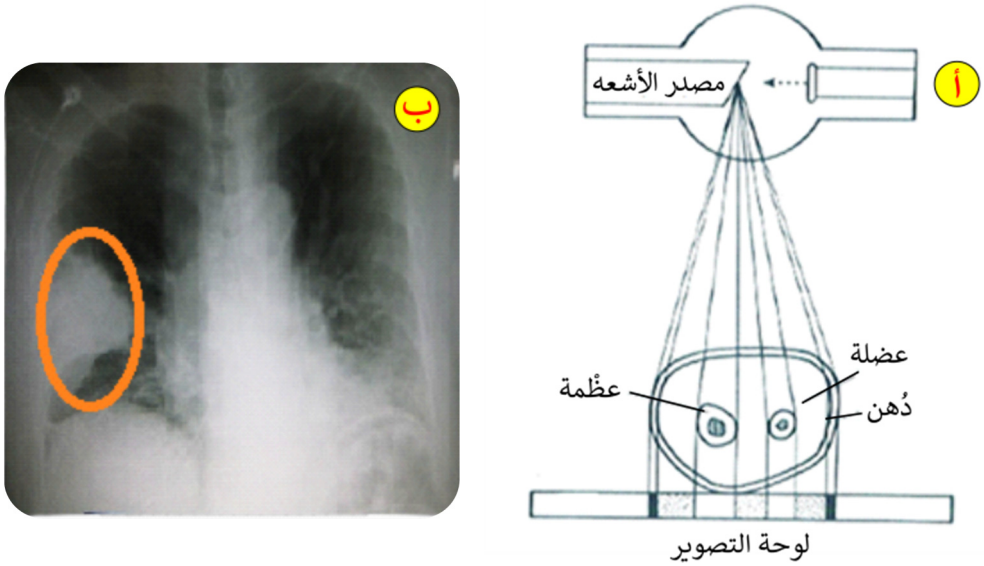
وأكثر من ذلك. هذه الفحوصات يمكنها تشخيص الأمراض مُبكّرًا ومساعدّة الطاقم الطبّي في اختيّار العلاج الأنسب. في الصّفحات التالية ستجد معلومات عن كلّ واحدة من طرق الفحص والتشخيص ومعها فعآليّات تُساعد في اتّخاذ القرار الأنسب بناءً على هذه المعلومات.

التشخيص بالأشعّة السينيّة

الأمواج الإلكترومغناطيسيّة ضمّن مجال الأشعّة السينيّة تستطيع اختراق أَنْسِجَة الجسم الرخوة. لكن العظام أو غيرها من الموادّ الكثيفة حين تسقط عليها الأشعّة السينيّة فإنّها تَمْتَصُّها. تُمَكِّننا هذه الميزة من استعمال الأشعّة السينيّة لتصوير عظام الجسم وتحديد مكان الكسور والكشف عن حالات هشاشة العظام أو تجاويف الأسنان وغيرها من العمليّات الطبّية. إنّ امتصاص الأشعّة السينيّة لا يتمّ في العظام فقط بل يحدث أيضًا في مناطق الجسم التي تعاني من الالتهاب. هكذا يسمح التشخيص باستعمال الأشعّة السينيّة لدراسة تطوّر الأمراض المختلفة ومعالجتها.

تمرّ الأشعّة السينيّة مُخترقة الجسم أثناء عمليّة التصوير وتصطدم بفيلم التصوير- وهو شريحة بلاستيكيّة حسّاسة للأشعّة السينية، الموجودة خلف الجسم. الأشعّة التي تصل فيلم التصوير تترك أثرًا أسود اللون عليه، بينما المناطق التي لا تصلها الأشعّة تبقى كما هي، تَمَعَّن الصورة 10.1. ولتجنّب وصول الأشعّة لأعضاء الجسم السليمة، والتي لا توجد حاجة لتعريضها للأشعّة، نقوم بتغطيتها بثوب مُطَعَّم بلوحة رقيقة من الرصاص تمتصّ الأشعّة وتَمْنَع وصولها لأعضاء الجسم السليمة.

غالبًا ما نستخدم الأشعّة السينيّة للكشف عن أمراض الرئة وتحديد نوعها. عندما تكون الرئة سليمة ومليئة بالهواء، فإنّها لا تمتصّ الأشعّة السينيّة أبدًا. إنّ الالتهاب أو الأورام أو أثار تدخين السجائر تُسبّب امتصاص الأشعّة الأمر الذي يؤديّ إلى حدوث تغيير صورة الأشعّة الناتجة.



صورة 10.1 (أ) مبدأ عمليّة التصوير والحصول على الصورة باستعمال الأشعّة السينيّة (المصدر: أنظر ملحق جـ)
(ب) صورة الأشعّة السينيّة لشخص مصاب بالتهاب رئوي في الفص الأيمن الأوسط؛ منطقة الرئة المصابة أُحيطت بدائرة (المصدر: أنظر ملحق جـ).

إنّ تكلفة التصوير بالأشعّة السينيّة قليلة نسبيًا (عشرات الشواقل)، كما وأنّ الفحص يتمّ خلال فترة زمنيّة قصيرة وكميّة الأشعّة التي يمتصّها المريض ليست عالية، هي حوالي 0.03 ملي سيفرت[51]، وتُمثّل واحدًا بالمئة من جرعة متوسّطة الأشعّة يتمّ استيعابها سنويا من المصادر الطبيعيّة[52]. لذلك، نجد أنّ الأشعّة السينيّة شائعة الاستعمال كوسيلة أوليّة للتشخيص قبل التوجُّه لإجراء الفحوصات الأكثر تكلفة أو تعقيدًا. أمّا فترة الانتظار لإجراء الفحوصات والحصول على النتائج فهي قصيرةٌ نسبيًا.

التشخيص بالأشعّة المقطعيّة (CT)

الحرفان CT هما مطلع Computer Tomography (أيّ التصوير المقطعيّ بالحاسوب) للتشخيص المقطعيّ ويُسْتَخدم الأشعّة السينيّة أيضًا، ولكنّه يختلف عن التشخيص بالأشعّة السينيّة العاديّة. حيث أنّ مصدر

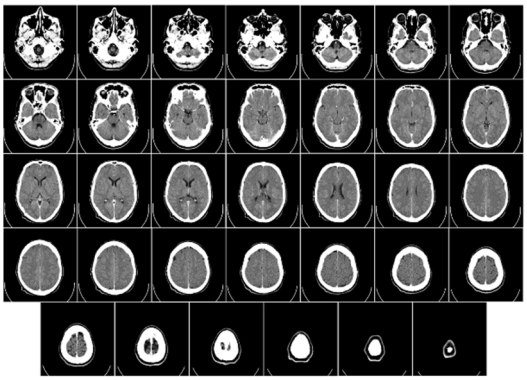
---

51 سيفرت Sievert ورمزها (Sv) هي وحدة لقياس جرعة الأشعة المكافئة لـِ - 1Sv = 1 J/kg.
تعلمنا في الفصل 9 أن جراي هي وحدة تحدد كمية امتصاص الأشعة. نُذَكِّر أن مفهوم امتصاص أشعة بمقدار 1 جراي هو أن أشعة طاقتها 1 جاول امتصَّها 1 كغم من المادة. وهذا هو التأثير الفيزيائي للأشعة. كما وتعلمنا أيضًا أن هناك أعضاء أكثر حساسية للأشعة وأخرى أقل حساسية. لذلك، نجد أنَّ امتصاص مقدار متساو من الأشعة سيُؤثّر بشكل مختلف على الأعضاء المختلفة. الأمر الذي استوْجَبَ إيجاد وحدة قياس جديدة لِتَقدير الضرر البيولوجي للأشعة، التي تأخذ بعين الاعتبار ليس فقط التأثير الفيزيائي (كمية الأشعة التي تمّ امتصاصها) وإنَّما تأخذ أيضًا تأثيره البيولوجي (الضرر الذي يسببه للجهاز المسقط). **سيفرت** هي الوحدة التي نقيس بها التأثير البيولوجي للأشعة التي امتصّتها المادة. لِحساب كمية الأشعة التي تمّ امتصاصها بوحدة سيفرت، نأخُذ كمية الأشعة التي تم امتصاصها بوحدة جراي ونضْربها بمعامل (عدد) لا وحدات له ويتعلّق بجزء الجسم المُعَرَّض للأشعة وبنوع الأشعة. لهذا السبب، نجد أنَّ امتصاص أعضاء الجسم المختلفة أشعة مُؤَيّنة بقيمة 1 جراي سَتُقَدَّر بِقِيَم مختلفة باستعمال وحدة سيفرت

52 المقصود هنا الأشعة الكونية التي تصلنا من الفضاء الخارجي والأشعة التي تصلنا من المواد المُشعة المتواجدة في بيئتنا بشكل طبيعي، دون الأخذ بعين الاعتبار التعرُّض للأشعة الصادرة عن الأجهزة أو من الشمس.

الأشعّة هنا ليس ثابتًا وإنّما يدور حول الجسم المُراد فحصه وخلال ذلك تصوير العديد من الصور التي تتمّ ترجمتها إلى صُوَر للجسم بأكمله. إنّ الصُوَر المقطعيّة العديدة التي نحصل عليها من زوايا مختلفة، تُعطينا صُوَراً ثلاثيّة الأبعاد للأعضاء التي تمّ تصويرها، هذا الأمر يُساعد على تحديد الموقع بِأكثر دقّة وبنفس الوقت تتمّ عمليّة تشخيص المرض بشكل أفضل. مع هذا فإنّ المريض يتعرض لجُرعة عالية نسبيًا من الأشعّة السينيّة قد تتراوح بين 1 إلى 10 مللي سيفرت (مقدار الجرعة يعتمد على العضو الذي سيجري تشخيصه)، أيّ امتصاص مقدار يزيد عن 100 مرّة من الأشعّة مقارنة بامتصاصه خلال تشخيصه باستعمال الأشعّة السينيّة العادية. يُوَفِّر التصوير المقطعيّ CT صورًا تصويرية لمعظم أعضاء الجسم ويُحدِّد الموقع بدقّة أكثر مقارنة مع نتائج الفحوصات الأخرى في حالات إصابات العظام، وحدوث النزيف ووجود الأورام. عندما تكون حاجة لإجراء تصوير مقطعيّ أو أخذ صورة بالأشعّة السينيّة للدورة الدمويّة، غالبًا يُحْقَن المريض بمادّة بمقدورها امتصاص الأشعّة السينيّة قبل إجراء الفحص. هكذا، تنتشر هذه المادّة في الأوعية الدمويّة، الأمر الذي يؤديّ إلى ظهورها بشكل أوضح.

إجراء الفحص يستغرق دقائق معدودة فقط لكن تكلفته أكبر من تكلفة الفحص بالأشعّة السينيّة العاديّة. وتُقدَّر تكاليف الفحص المقطعيّ بمئات الشواقل. أمّا زمن الانتظار لإجراء الفحص وتحليل النتائج فهو قصير نسبيًا.



صورة 10.2 - (من اليمين) جهاز التصوير المقطعيّ (المصدر: أنظر ملحق جـ)
(من اليسار) نتائج الفحوصات للدماغ (المصدر: أنظر ملحق جـ)

التشخيص بالرنين المغناطيسيّ (MRI)

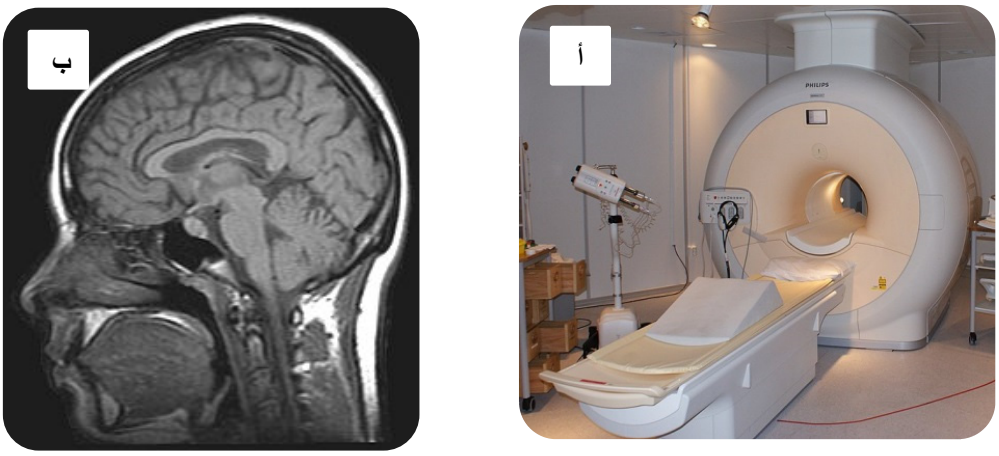
الحروف MRI هي من الكلمات Magnetic Resonance Imaging (أي التصوير بالرنين المغناطيسيّ). هي طريقة تشخيص خارجيّة تُستخدم لتَصْوير الأعضاء الداخليّة في الجسم دون تَعَريضه للأشعّة المؤيّنة. في هذا الفحص يتمّ الدمج بين الأشعّة الراديويّة وبين المجالات المغناطيسيّة ذات الشدّة العاليّة نسبيًا. تُسبّب المجالات المغناطيسيّة الشديدة تَمَغْنُط ذرّات الجسم وعند توجيه الأشعّة الراديويّة على الذرّات المُمَغْنَطة، فإنّها تُصْدِر

أمواجًا إلكترومغناطيسيّة يُمْكِن الكشف عنها وقياسها من خارج الجسم. تتفاعل الأنسجة المختلفة بشكل مختلف مع المجال المغناطيسيّ، وبالتالي تستجيب بشكل مختلف للأشعّة الراديويّة المُرسلة إليها. التصوير بالرنين المغناطيسيّ يُمَكِّن تحديد نوعيّة النسيج وِفقًا للأشعّة المنطلقة منها أثناء تَشْغيل الأشعّة الراديويّة.

الفحص بالرنين المغناطيسيّ (MRI) يُشَخِّص الأنسجة الرخوة في الجسم بشكل أكثر دقّة، ومن بينها الدماغ والنخاع الشوكيّ والعضلات، ولكنّه يُوَفِّر معلومات أقلّ دقّة عن عمليّات في العظام. بما إنّ هذا التشخيص يَسْتَخْدِم الأشعّة غير المؤيّنة (الإشعاع الراديويّ)، فإنّ التعرُّض للأشعّة أثناء عمليّة التصوير غير ضارّ. هنا أيضًا يتمّ تصوير الجسم من زوايا مختلفة تمامًا كما رأينا في التصوير المقطعيّ CT.

تُقَدَّر تكلفة التصوير بالرنين المغناطيسيّ آلاف الشواقل. ذلك نظرًا لأنّ عدد الأجهزة قليل نسبيًّا والفحص يستغرق فترة زمنيّة طويلة نسبيًّا. كما وقد تكون فترة الانتظار لإجراء هذا الفحص طويلة نسبيًّا، وفي الحالات التي لا تكون عاجلة، قد تستغرق فترة الانتظار أسابيع أو حتّى شهورًا.

خلال التصوير بالرنين المغناطيسيّ، يكون المريض في تَجويف حجمه أكبر بقليل من حجم الشخص البالغ. يعتمد نجاح الفحص على بقاء المريض مستلقياً دون حِراك أثناء فترة الفحص. التيّارات الكهربائيّة، التي تُوَلِّد المجال المغناطيسيّ في الجهاز، عالية الشدّة وتَصدُر عنها أصوات صاخبة جدًّا، الأمر الذي يُلْزِم المريض وضع واقٍ لأذنَيْه. الفحص طويل نسبيًا (يستغرق نصف ساعة تقريبًا)، لذا فإنّه في حالات خاصة مثل الأطفال الصغار والأشخاص الذين يعانون من اعاقات، والأشخاص الذين يعانون من الخوف من الأماكن المغلقة يتمّ تخديرهم. هذا الامر، وأيضًا كون الجهاز غير متوفّر بكثرة، يجعله أقلّ استخدامًا في حالات الطوارئ. في بعض الأحيان يفضّلون إرسال المريض إلى اختبار التصوير المقطعيّ المحوسب (CT) والذي يعطي صورة وأجوبة بشكل سريع.



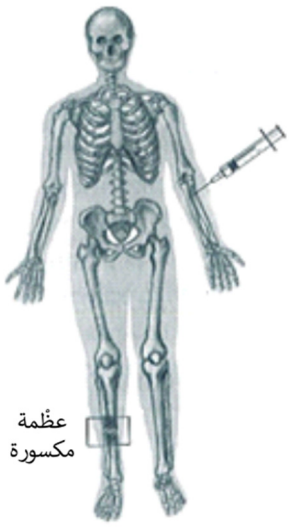
صورة 10.3 - (أ) (على اليمين) جهاز التصوير MRI (المصدر: أنظر ملحق جَـ)
(ب) (على اليسار) صورة (MRI) لأنسجة الدماغ (المصدر: أنظر ملحق جَـ)

التشخيص بالنظائر المشعّة

بالإمكان أيضًا استعراض أعضاء الجسم من خلال حقنها بموادّ مشعّة إلى الدم، بحيث يكون عمرها قصيرًا (النظائر المشعّة). المادّة ذات "**زمن العُمر القَصير**" هي مادّة غير مستقرّة وتَضمّحل سريعًا مَكَوِّنَة موادّ أخرى، وخلال هذا الاضمّحلال تُطْلِق أشعّة إلكترومغناطيسيّة يتمّ الكشف عنها باستعمال الأجهزة الكاشفة الموجودة خارج الجسم.

من أجل الاستفادة القصوى من فحص كهذا، ينبغي استخدام النظائر المشعّة التي تَرْتَبط جيدًا بأنسجة محدّدة في الجسم، أو رَبط نظائرها المشعّة مع جزيئات خاصة تَرْتَبط بدورها مع الأنسجة المُراد تصويرها. مثلًا، لتشخيص العظام يتمّ حقنها بمادّة مشعّة تَتَمَركز في العظام. المناطق التي يتزايد بها بناء العظام، كما يحدث خلال الإصابات أو الالتهاب أو النمو السرطانيّ، تمتصّ الكثير من المادّة الخاصّة المشعّة، تبعًا لذلك تَصْدُر عنها أشعّة بشدّة عالية. تَمَعَّن الصورة 10.4. بهذه الطريقة، أيضًا، يمكن تصوير وتشخيص الرئتين والكلى والغدة الدرقيّة والقلب والأعضاء الأُخرى، وذلك بحقنها بموادّ مشعّة مناسبة. إنّ التشخيص باستعمال النظائر المشعّة تُزَوِّد الطبيب المختص بمعلومات نوعيّة عن عمل العضو الذي يجري فحصه. كما ونستَدِلّ من نتائج التشخيص عن عمليّات النمو غير الطبيعيّ وعمليّات الأيض والعمليّات الأُخرى، وهذا بخلاف التشخيص بالطرق التي وصفناها سابقًا (كالأشعّة السينية، CT و- MRI) والتي تُزَوِّدنا بمعلومات عن بُنْيَة الأعضاء. الأشعّة المنطلقة خلال عمليّة التشخيص بالنظائر المشعّة هي أشعّة جاما، التي طول موجتها أقصر من طول موجة الأشعّة السينيّة وشدّتها تكون مُنْخَفِضة جدًّا، فشدّة الأشعّة التي يَمتصّها الجسم مشابهة لِشدّة الأشعّة التي يمتصّها الجسم أثناء تشخيص CT. مثلًا، أثناء تصوير العظام تصل كميّة الأشعّة التي يَمتصّها الجسم 8 مللي سيفرت (8 mSv)

الموادّ المشعّة المُستخدمة في هذا التشخيص تضمّحل سريعًا، لذا يتوجّب استحضارها سُوَيْعات معدودة قُبَيْل إجراء التشخيص. هذا الأمر يؤديّ إلى زيادة تكاليف التشخيص بهذه الطريقة، والتي تُقَدَّر بآلاف الشواقل.



صورة 10.4 تصوير العظام؛ يتمّ امتصاص أكبر للموادّ المشعّة في منطقة الكسر (المصدر: انظر الملحق جـ)

للتوسُّع: الفحص باستعمال الأمواج فوق الصوتيّة (Ultrasound)

اعتدنا حتّى الآن تصوير أعضاء الجسم الداخليّة باستخدام الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة، بالإمكان أيضًا استخدام الأمواج فوق الصوتيّة. يبثّ جهاز الأمواج فوق الصوتيّة وهو ملتصق بالجسم أمواجًا صوتيّة ذات تردّد أعلى من درجة سمع الإنسان، ومن ثَمَّ يستقبل الأمواج المُنعَكِسة عن مختلف الأعضاء. الصورة الناتجة تُصَوّر هيكل أعضاء الجسم الداخليّة. فحوصات الأمواج فوق الصوتيّة متوفّرة بسهولة ولا تُعَرِّض الجسم للأشعّة أو أيّ مخاطر أخرى، ولكن دِقّتها منخفضة مقارنة باختبارات التصوير المقطعيّ أو التصوير بالرنين المغناطيسيّ. كما وأن الأمواج فوق الصوتيّة لا تستطيع المرور خلال العظام أو الجيوب الهوائيّة، وبالتالي فهي ليست مناسبة لتصوير جميع الاعضاء. يتمّ استخدام الأمواج فوق الصوتيّة بشكل شائع لتشخيص الأعضاء في التجويف البطني، للكشف عمّا إذا توجد السوائل في الرئة وعند الرُضَّع للكشف عن نزيف أو أيّ ازدياد للسوائل في حجرات الدماغ (Ventricular system).

فعالية 10.1 مقارنة بين الفحوصات بالأشعّة السينيّة، CT، MRI والنظائر المشعّة

1. املأ الجدول استنادًا للمعلومات التي قرأتها سابقًا.

جدول 10.1 مقارنة الفحوصات التصويريّة

الفحص بـ	الأشعّة السينية	CT	MRI	النظائر المشعّة
الهدف الطبّي				
نوع الأشعّة				
امتصاص الأشعّة				
التكلفة				
مزايا بالمقارنة مع الفحوصات الأخرى				
عيوب بالمقارنة مع الفحوصات الأخرى				

فعالية 10.2 الاستشارة الطبّية - ما هو الفحص المناسب لنا؟

تجد أمامك تساؤلات استعرضنا فيها قصصًا متنوّعة للمرضى. المطلوب منك اختيّار الفحص المناسب الذي يساعد في تشخيص حالة المريض، وماهي الأسئلة التي يتوجّب عليك طرحها على طبّيبك لاتّخاذ القرار حول نوع الفحص المطلوب لهذه الحالة. ناقش الإجابات في الصّف.

يُمكِن الإشارة إلى أكثر من إجابة صحيّحة لكلّ سؤال.

1. سقطت خديجة في فناء منزلها، ومُنذ ذلك الحين وهي تعاني من أَلَمٍ شديد في قدمها اليمنى. تَعْتَقِد أمّها وجود كسر ولذا اهتمت بإجراء فحص لخديجة. ما هي الفحوصات التي يمكن أنّ تساعد في تَشخيص وضع رِجْلِ السيدّة خديجة؟ اختر الفحص المناسب وعلل سبّب اختيّارك!
   أ. أشعّة سينية
   ب. أمواج فوق صوتيّة
   ج. CT
   د. MRI

2. أوصى الطبيب تصوير رِجْل خديجة بالأشعّة السينيّة. لماذا تَعْتقد أنّ التصوير يجب أنّ يكون بالأشعّة السينيّة وليس بـِ CT؟
   أ. نتائج التصوير بالأشعّة السينيّة أكثر دقّة.
   ب. التصوير بالأشعّة السينيّة يُعرِّض المريض لكميّة أشعّة أقلّ بالمقارنة مع تلك لـِ CT.
   ج. مدّة الانتظار بغية إجراء التصوير بالأشعّة السينيّة أقصر بالمقارنة مع تلك لـِ CT.
   د. تكاليف التصوير بالأشعّة السينيّة أقلّ بالمقارنة مع تلك لـِ CT.

3. نُقِلَ أبو أحمد ذو 90 عامًا إلى غرفة الطوارئ مصابًا بنزيف في الدماغ وبوضع يهدّد حياته. أيّ الفحوصات ستساعد الأطبّاء على تشخيص وتحديد أصل المشكلة؟ حدِّد وعلل سبّب اختيّارك!
   أ. MRI
   ب. CT
   ج. الأشعّة السينيّة
   د. النظائر المشعّة

4. أحال الطبيب أبا أحمد، وبشكل عاجل، لإجراء فحص CT، لكّن أولاده يَخشون من مخاطر الأشعّة. تردّد أولاده بالموافقة على إجراء هذا الفحص. ما هي الأسئلة التي توصي بها أبا أحمد وأولاده طَرْحَها على الطبّيب؟ علّل!

5. خضع أبو أحمد في النهاية لفحص CT وبسبّب التشخيص المُبكّر تَمكّن الأطبّاء من إنقاذ حياته. ما هي الأسباب التي أدَّت إلى إحالة أبي أحمد إلى التصوير بـِ CT وليس بـِ MRI؟
   أ. تكلفة الفحص
   ب. دقّة الفحص
   ج. جاهزيّة الفحص
   د. مدّة الفحص

6. سارة امرأة حامل، أصيبت برأسها في حادث سَيْر. أيّ الفحوصات تُمكّن تَحديد ما إذا كان الحادث قد سبّب ضررًا في دِماغِها؟ اختر وعلل اختيّارك!
   أ. الأشعّة المقطعيّة
   ب. التصوير بالرنين المغناطيسيّ
   ج. النظائر المشعّة
   د. الأمواج فوق الصوتيّة

7. أوصى الطبيب بإجراء فحص MRI للسيدة سارة. وِفقًا لرأيك، لماذا طلب الطبيب إجراء فحوصات MRI لِدماغ السيدّة سارة، بينما تمت إحالة أبي أحمد إلى إجراء فحوصات CT لِدماغِه؟
   أ. السيدّة سارة حامل وبالتالي يتوجّب عدم تَعرُّضِها لجرعة عالية من الأشعّة المؤيّنة، وذلك خوفًا من إلحاقِ الأذى بالجنين الذي تنقسم خلاياه سريعًا، الأمر الذي يجْعَلُه حسّاسًا أكثر للأشعّة.
   ب. السيّد أبو أحمد طاعن في السن، وعلى ما يبدو ضرر الأشعّة طويل المدى لن يؤثر عليه.
   ج. أراد الطبيب في حالة أبي احمد توفير تكلفة الفحص.
   د. نُفضِّل في الحالات الطارئة إجراء فحوصات CT، ذلك لسرعة إجرائه.

الطالبة شمس النور: إذاً كيف أعرف أيّ الفحوصات هي الأفضل بالنسبة لي ولأفراد عائِلتي؟

د. نوره الحكيم: يَسْتَنِد قرار الطبيب ليس فقط على نوع المرض، وإنّما أيضًا على بيانات أخرى مثل: عمر المريض وخلفيّته الطبّية. أحيانًا، يُؤخَذ بعين الاعتبار مدى توفّر الفحص وتكلفته أيضًا أثناء اتّخاذ القرار. يُطْلَب من الفريق الطبّي تقديم المعلومات المفهومة للمرضى وأَخْذ موافقتهم على العلاج بالأشعّة المؤيّنة. من المهمّ توجيه التساؤلات والاستفسارات للطاقم الطبّي بكلّ ما يتعلّق بطريقة العلاج وإذا لزم الأمر التَّوَجُّه لاستشارة طبّيب مختصّ.

تلخيص الفصل

- الأشعّة السينيّة، وتصوير CT، وتصوير MRI، والنظائر المشعّة، والفحص بالأمواج فوق الصوتيّة هي فحوصات تصوير، نكشف من خلالها عن العيوب في أعضاء الجسم الداخليّة. تَسْتَنِد فحوصات الأشعّة السينيّة والأشعّة المقطعيّة والرنين المغناطيسيّ على استعمال الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة التي تَمْتَصُّها أعضاء الجسم. التشخيص باستعمال النظائر المشعّة يتمّ عن طريق إدخال موادّ مشعّة إلى الجسم وتَتَبُّع انبعاث الأشعّة منها، بينما التشخيص باستعمال جهاز الأمواج فوق الصوتيّة يَسْتَنِد على استعمال أمواج صوتيّة.
- تتباين فحوصات التصوير الواحدة عن الأخرى بماهيّة الأعضاء أو العمليّات التي بمقدورهم تشخيصها، وأيضًا بدرجة الدقّة وكميّة التعرُّض للأشعّة ومدى توافرها ومقدار التكاليف المنوطة بها.
- يتضمّن الفحص في حالة استعمال الأشعّة السينيّة، والأشعّة المقطعيّة أو التشخيص بالنظائر المشعّة الى التَّعَرُّض للأشعّة المؤيّنة. لذلك، من الضرورة بمكان، إجراء الفحص فقط إذا كان هنالك مُبرر طبّي والمنفعةُ من استعماله تزيد كثيرًا عن أضرار التعرّض للأشعّة.
- الأطبّاء يختارون الفحوصات الأنسب لكلّ مريضٍ، وذلك بناءً على مجموعة واسّعة من الاعتبارات، آخذين بعين الاعتبار المشكلة المرضيّة، والعمر، والخلفيّة الطبّية، وتوافر الفحوصات وغيرها.

الفصل 11: الخاتمة – الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة وتقارير وسائل الإعلام

حتى أولئك الذين لا يتعلّمون العلوم والتكنولوجيّا يستخدمون، بانتظام، العديد من التقنيّات التي تستخدم الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة وتتّخذ القرارات المتعلّقة بالأشعّة على المستوى الشخصيّ والسياسيّ. على سبيل المثال، يتّخذ الأشخاص قرارًا بشأن موقع الشبكة اللاسلكيّة في البيت أو ما إذا كان ينبغي تثبيت الشبكات اللاسلكيّة في مدرسة أطفالهم. يتلقّى المواطنون، الذين لا يتعاملون مع العلوم والتكنولوجيّا بشكل مهنيٌّ، معظم معلوماتهم حول الأشعّة من مصادر مثل Facebook والمواقع الإلكترونيّة والبرامج التلفزيونيّة والصحف. يختلف الجمهور المستهدف والأهداف الإعلانية للصحافة العلميّة مقارنة مع وسائل الإعلام. من المهمّ أيضًا أنّ نفهم أنّ الخطاب العلّميّ يختلف اختلافًا جذريًا عن الخطاب في هذه الوسائل. يتمّ التعبير عن الفرق في عدّة جوانب:

- عند قراءة المقالات، كن على دراية بالاختلافات بين: (أَ) الاستنتاجات المستخلصة من حالة معيّنة، (بَ) الاستنتاجات التي تمّ الحصول عليها من تحليل إحصائيّ فَحَصَ عددًا كبيرًا جدًّا من الحالات، وبالتالي يمكن أنّ تشير إلى وجود احتمال كبير للعلاقة بين الظواهر، (جَ) استنتاجات التجارب التي تشير إلى وجود علاقة الظاهرة مع العامل المُسبّب، أيّ أنّ العامل X أثر على الظاهرة Y. ذلك للإشارة إلى وجود علاقة سبّبيَّة، يستطيع الإنسان أنّ يفترض عددًا من العوامل التي قد تؤثّر على هذه الظاهرة، الأمر الذي يتطلّب تخطيط تجربة وتتمّ السيطرة على كلّ هذه العوامل، في كلّ مرّة يُغّيرون أحد هذه العوامل فقط ويفحصون تأثير هذا التغيير على هذه الظاهرة. ولتحقيق الفحص يجب تكرار الفحص مرّات عديدة، ويجب التأكُّد من عدم وجود تأثير لعوامل أخرى قبل الوصول إلى العلاقة السبّبية. من المهمّ أنّ نفهم أنّ الخطاب العلّميّ لا يتعامل إلّا مع الاستنتاجات المستخلصة في الطريقتين (بَ) أو (جَ)، بينما يُركّز الخطاب الإعلاميّ على قصة مثيرة للاهتمام، وبالتالي غالبًا ما يُناقِش الاستنتاجات المستخلصة في الطريقة (أَ).
- الصّفات مثل الكبيرة والصغيرة وخطيرة الاستخدام وآمنة الاستخدام، التي تظهر في وسائل الإعلام لن تظهر أبدًا في الخطاب العلّميّ باعتبارها قائمة بذاتها ولكنّها مرتبطة دائمًا بِكِبَر معيّن. عندما نكتب، مثلًا، أنّ الفحص بالأشعّة المقطعيّة أمر خطير لأنّه ينطوي على التعرّض الشديد للأشعّة، يجب على المرء أنّ يتساءل عن مستوى الخطر. هل الأشعّة، التي يمتصَّها الجسم خلال إجراء الفحص، تعادل امتصاص أشعّة الشمس خلال ساعة أم خلال يوم أم خلال شهر أم خلال سنة؟

- الإعلانات في وسائل الإعلام محدودة التأثير نوعًا ما، على سبيل المثال، إذاعة تقرير لبضع دقائق أو نشره على صفحة كاملة من الجريدة. بطبّيعة الحال، لا يمكن تقديم صورة واسّعة للمواضيع التي تمّت مناقشتها في التقارير، لذا يَكْتفي العديد من الكُتَّاب بالتركيز على رأي واحد أو دراسة واحدة. عندما نقرأ الصحافة الشعبيّة عن مثل هذه المواضيع، نجد "الباحثين وجدوا أنّ ..."، يجب أنّ نفهم من ذلك أنّ الصحفيّ قدَّم لنا تقريرًا عن دراسة واحدة فقط وتمّ اختيّارها لهذا المقال لأنّ نتائجها قد تهمّ قُرَّاء الصحيفة. مع هذا، يمكن أنّ نجد أيضًا دراسات تُظهر غير ذلك.
- كما أنّه من المهمّ أيضًا أنّ نَعِيَ وجود اختلافات في الخطاب العلّميّ. تتمّ تَسْوِية مثل هذه الاختلافات بإعادة اجراء التجارب والتَّمَعُّن بها جيدًا أو البحث عن عوامل لم تؤخذ في الاعتبار. تستغرق مثل هذه العمليّة زمنًا طويلًا، أمّا في حالة الأشعّة غير المؤيّنة فإنّ الأمر ما زال تحت البحث. هكذا، فإنّ استخلاص النتائج المتعلّقة بحياتنا، يَتطلّب منا فحص الصورة بأكملها - أيّ البحث عن مقالات إضافيّة حول الموضوع قيد البحث وسماع آراء العديد من المُختصين، وفي الوقت نفسه البحث عن الخبير فعلا (الاطلاع على تعليمه وتجربته العمليّة والمهنيَّة وما إلى ذلك) الذي سنعتمد على اقتراحه، وعندئذٍ فقط نتَّخِذ القرار.

فعالية 11.1 **تكرار مشاهدة تقرير كيف نقتل أنفسنا: أشعّة أفري جلعاد على قناة البثّ ريشِت**

طلبنا منكم في الفصل 1، مشاهدة تقرير أفري جلعاد عن **كيف نقتل أنفسنا: الأشعّة**. اخترنا هذا التقرير لأنّنا وجدنا أنّه عميق ومثير للاهتمام. كما وأنَّ التقرير يَسْتَعْرِض بشكل جيّد الفرق بين الخطاب العلّميّ وبين الخطاب اليوميّ في وسائل الإعلام.

كَرِّر مشاهدة التقرير[53]

أجب عن التساؤلين التاليين لِوَحْدِك وناقشهُما في الصّف.

1. هل يمكن أنّ نستنتج من المقابلات التي أجراها العلّماء أنهم يعتقدون أنّنا "نقتل أنفسنا" بسبّب استخدام الأشعّة غير المؤيّنة؟ إذا لم يكن الأمر كذلك، ماذا قال العلّماء الذين تَمَّت مقابلتهم في التقرير؟ أُذْكُر من هم العلّماء في التقرير.
2. ما هي الأدلّة التي اعتمد عليها الأطراف المعنية في التقرير من غير العلّماء؟ ما هي الاستنتاجات التي تَتَّفِق معها ومع أيّ منها لا تَتَّفِق؟

[53] http://reshet.tv/item/news/documentary/season-01/episodes/zbuid-468588/

الملحق (أ): وحدات القياس

وحدات قياس الذبذبة (التردُّد)

- هيرتس (Hz) – عدد المرّات التي تتكرّر بها الظاهرة في الثانية.
  - تردّد 1 هيرتس يعني أنّ هذه الظاهرة وتكرّر نفسها مرّة واحدة كلّ ثانية.
- كيلو-هيرتس (KHz) = 10^3 أو ألف هيرتس
- ميغا-هيرتس (MHz) = مليون أو 10^6 هيرتس
- جيجا-هيرتس (GHz) = مليار أو 10^9 هيرتس
- تيرا-هيرتس (THz) = تريليون أو 10^{12} هيرتس

وحدات قياس الطول

- متر (m)
- سنتمتر (cm) = 1 بالمائة من المتر
- ملليمتر (mm) = 1 بالألف من المتر
- مايكرومتر (µm) = 1 بالألف من الملليمتر أو 1 بالمليون من المتر
- نانومتر (nm) = 10^{-9} متر أو 10^{-6} ملليمتر أو 1 بالمليون من الملليمتر
- بيكومتر (pm) = 10^{-12}متر

وحدات قياس المجال المغناطيسيّ

- تِسْلا (T) – وحدة قياس المجال المغناطيسيّ[54]
- ميكرو- تِسْلا (µT) = 1 بالمليون من التِّسْلا
- جاوس (G) – وحدة أخرى لقياس شدّة المجال المغناطيسيّ، 1 جاوس = 100 ميكرو-تسلا أو 10^{-4} تسلا
- مللي- جاوس (mG) = 1 بالألف من الجاوس أو عُشُر ميكرو- تسلا

[54]. لكي نفهم ما هذه الوحدة بالنسبة لمقادير أخرى تصِفُها، دعونا نَطَّلِع على مقدار شدة المجال المغناطيسي الذي أنشأته الأرض وهو ما يقرب من 30 ميكرو- تسلا أو 300 مللي- جاوس.

وحدات قياس الطاقة

- جاول (J) – 1 جاول هو الطاقة اللازمة لرفع كتلة مقدارها 100 غرام لارتفاع قَدْره متر واحد.

وحدات قياس القدرة

- واط (W) – قُدْرة 1 واط هي طاقة 1 جاول المنطلقة/المُصْطدِمة/المُمْتَصَّة/الضائعة في الثانية الواحدة.
- 1 مللي- واط (mW) = 1 بالألف من الواط

وحدات قياس الأشعّة

- الوحدة المستعملة لقياس شدّة الأشعّة الساقطة على وحدة مساحة هي مللي - واط للمتر المربع الواحد (mW/m^2). شدّة أشعّة قدرها 1 مللي – واط للمتر المربع تَصف قدرة أشعّة مقدارها 1 مللي – واط (أيّ طاقة 1 من ألف جاول في كلّ ثانية) الساقطة على المتر المربع الواحد (متر ضرب متر)

- غري (Gy) هي الوحدة المستعملة لتقدير التأثير الفيزيائي للأشعّة. أي، كم هي كميّة الطاقة الإشعاعيّة التي تَعَرَّض لها العضو الخاضع للإشعاع. 1 غري يُعَبِّر عن امتصاص 1 جاول من الطاقة الإشعاعيّة لكلّ كيلوغرام واحد من المادّة.

- سيفرت (Sievert) هي الوحدة المستعملة لتقدير التأثير البيولوجيّ للأشعّة على أعضاء الجسم المختلفة. لِحساب كميّة الأشعّة التي تمّ امتصاصها بوحدة سيفرت، نأخُذ كميّة الأشعّة التي تمّ امتصاصها بوحدة **جراي** ونضْرِبها بمعامل (عدد) لا وحدات له ويتعلّق بجزء الجسم المُعَرَّض للأشعّة وبنوع الأشعّة. لهذا السبّب، نجد أنّ امتصاص أعضاء الجسم المختلفة لأشعّة مؤيّنة بقيمة 1 جراي سَتُقَدَّر بِقِيَم مختلفة باستعمال وحدة سيفرت. يُقَدَّر متوسط كميّة الأشعّة التي يمتصها الشخص سنويًا من مصادر الأشعّة الطبيعيّة حوالي ثلاثة مللي - سيفرت (أو ثلاثة من ألف سيفرت).

- SAR (Specific Absorption Rate) – هي وحدة لقياس وتيرة الامتصاص النوعيّة المستخدِم ة لتقدير امتصاص الطاقة في جسم الإنسان. هذه في الواقع هي كميّة الطاقة التي يمتَصُّها كيلوغرام واحد من المادّة كلّ ثانية. يُعَبِّر 1_{SAR} عن امتصاص الكيلوغرام الواحد من الأنسجة البشريّة لطاقة واحد جاول خلال ثانية واحدة. عند قراءة بيانات معدّل الامتصاص النوعيّ SAR للهواتف الجوّالة، يَتوجّب أنّ نَذْكُر أنّ وتيرة الامتصاص النوعيّة للهواتف التي تستخدم لضبط الأجهزة، هي للهواتف التي تَبُثُّ الأشعّة في حَدِّها الأقصى.

الملحق **(ب): قاموس المصطلحات**

أولتراساوند (Ultrasound**)** – هو جهاز لتصوير أعضاء الجسم الداخليّة ويعتمد على استخدام الأمواج الصوتيّة؛ أنظر الفصل 10.

الضوء المرئيّ – هو الأشعّة غير المؤيّنة التي تتراوح أطوال أمواجها بين 390 و- 700 نانومتر، وهذا ضمّن مجال حسّاسيّة العين البشريّة؛ أنظر الفصل 8.

طول الموجة – هي المسافة التي تقطعها الموجة خلال دورة واحدة، وهذه هو البُعد بين قِمَّتين متجاورتين للموجة، أو بين مُنْخَفَضين متجاورين للموجة، أو بين أيّ نقطتين متماثلتين على الموجة.

الغلاف الجويّ – هو طبّقة من الغازات تحيط بالجَرْم السماوي؛ يحتوي الغلاف الجويّ للكرة الأرضيّة على طبّقات مختلفة من الغازات، بما في ذلك الهواء المحيط بنا وطبّقة الأوزون الموجودة على ارتفاعات تتراوح بين 10 إلى 50 كيلومتر فوق سطح الأرض، والتي تمتصّ قِسمًا من الأشعّة فوق البنفسجيّة الواصلة من الشمس.

بؤبؤ العين – هي الفَتْحَة التي يدخل منها الضوء إلى العين ووظيفتها التحكّم بكميّة الضوء الداخل للعين.

الموجة - هي تأثير يتقدّم في المكان والزمان.

الموجة الإلكترومغناطيسيّة - هي الموجة التي بواسطة تأثيرها المُتقدّم يَحدُث تغيير في المجالَيْن الكهربائيّ والمغناطيسيّ.

الموجة الصوتيّة – هي الموجة التي تتقدّم بها التَغَيُّرات في الضغط في أيّ وسيط كان. مثلًا عندما نتحدَّث تَهُزُّ الأوتار الصوتيّة جزيئات الهواء القريبة منها، الأمر الذي يُسبّب انضغاط واسترخاء الجزيئات على التوالي، فتَتَوَلَّد موجة من الضغوطات الهوائيّة التي تنتقل من فَمِ المتحدّث إلى الوسط ومنه إلى أُذُني المُستمع.

تصوير الأعضاء الداخليّة – هو فحص يُؤْخَذ من خارج الجسم يُمَكِّن من تصوير أعضاء الجسم الداخليّة.

الحمض النوويّ (DNA) – هي المادّة الوراثيّة الموجودة في الخلايا. الإضرار بها قد يَضُرُّ إنتاج الخلايا الجديدة.

الانعكاس غير المنتظم – هو انعكاس الضوء عن سطح خشن، وهذا يحدُث عندما تنعكِس الأشعّة المُتوازية والساقطة على السطح باتّجاهات مختلفة.

الانعكاس المنتظم – هو انعكاس الضوء عن سطح أملس، ويَحدُث عندما تنعكِس الأشعّة المُتوازية والساقطة على السطح باتّجاهات متوازية.

زمن الدورة – هي الفترة الزمنيّة التي تُكْمِل بها ظاهرة دوريّة دورة واحدة، أو هي أقصر فترة زمنيّة تستغرقها الظاهرة الدوريّة لتكرار نفسها.

التيّار الكهربائيّ – هو حركة الشحنات الكهربائيّة.

الأبيض (اللون) – هو اللون الذي يَعْكِس جميع الضوء الساقط عليه.

الغلاف المغناطيسيّ (المغناطيسوسفيرة) – هي منطقة واسّعة محيطة بالكرة الأرضيّة نشعُر بها في المجال المغناطيسيّ للكرة الأرضيّة.

الخلايا العَصَوِيّة – هي خلايا في شبكيّة العين للرُؤية في المناطق المُضاءة وتُمَكِّن التَّمييز بين الألوان.

سرعة تقدّم الموجة – هي السرعة التي يتقدّم بها التأثير وهذه السرعة تساوي النسبة بين طول الموجة وزمن الدورة الواحدة.

حاجز لدم-الدماغ - هو غشاء يمنع الموادّ الضارّة من الانتقال من مجرى الدّم إلى الدماغ.

انقسام الخليّة – هي عمليّة تنقسم فيها الخليّة لتُشَكِّل خليتين جديدتين متشابهتين؛ هذه هي آليّة تكاثر الخلايا في الجسم.

الانفجار العظيم – تعتقِد النظرية العلميّة الحاليّة أنّ الكون قد تَكَوَّن نتيجة **لانفجار عظيم** حدث منذ 14 مليار عام من نقطة واحدة، ومنها بدأ الكون بالاتّساع.

السّعة – هي مقدار ارتفاع الذبذبة. وهو البعد الأقصى الذي يُحْدِثه التأثير مقارنة مع وضع الوسط قبل مرور الموجة.

الطيف الإلكترومغناطيسيّ - يشمل أطوال أمواج الأشعّة الإلكترومغناطيسيّة وتردّداتها المختلفة.

السرطان – هو مرض يتسبّب نتيجة لتكاثُر غير منتظم لمجموعة من الخلايا وبنفس الوقت يُلحِق الضرر في خلايا أخرى.

عدسة العين - هي جزء من العين موجودة خلف البؤبؤ؛ وظيفتها كَسْر أشعّة الضوء التي تَمُرّ عبر بؤبؤ العين وتَركيزها على شبكيّة العين.

طبّلة الأذن – هي غشاء مشدود في القسم الداخليّ من الأذن، يَهْتَزُّ كلَّما وَصَلَتْه الأمواج الصوتيّة؛ والدماغ يُتَرْجِم اهتزازات طبّلة الأذن إلى أصوات نسمعها.

الظاهرة الفوتوكهربائيّة (Photoelectric Effect) – هي الظاهرة التي بواسطتها يحدث تأيُّن الذرّة باستعمال الأشعّة، لهذا الأمر نحتاج إلى أشعّة تردُّدها يزيد عن التردُّد الحرج للمادة. الأشعّة التي يكون تردُّدها أقلّ من ذلك لا تؤَدّي إلى تأيّن الذرّة حتّى لو قمنا بزيادة شدّة الأشعّة المستعملة. وتسمّى ب**الظاهرة الفوتوكهربائيّة**.

التمثيل الضوئيّ – هي عمليّة تحدث في أوراق النباتات؛ يتمّ خلالها استغلال الطاقة الشمسيّة لإنتاج الجلوكوز والأوكسجين من ثاني أكسيد الكربون والماء.

الخلايا المخروطيّة - خلايا في شبكيّة العين حسّاسة للغاية للضوء وتُمَكّن الرؤية (التعرّف على الأشكال) في الإضاءة الخفيفة.

الأشعّة – هي أَحَد أشكال تحّولات الطاقة؛ الجسم المُشِعّ هو الذي يُطْلِق الطاقة إلى محيطه. مصادر الأشعّة هي: الأجسام الساخنة والتيّارات الكهربائيّة والموادّ المشعّة.

الأشعّة فوق البنفسجيّة (UV) – هي أشعّة إلكترومغناطيسيّة أطوال أمواجها يتراوح بين 10 – 380 نانومتر. أنظر الفصل 6.

الأشعّة تحت الحمراء (IR) – هي أشعّة غير مؤيّنة أطوال أمواجها يتراوح بين 0.7 ميكرون إلى 1 ملم. أنظر الفصل 6.

الأشعّة غير المؤيّنة – هي أشعّة إلكترومغناطيسيّة طاقتها لا تستطيع تأيين الذرّات، أيّ أنّها لا تستطيع اقتلاع إلكترون من الذرة.

الأشعّة الكونيّة المُتَبَقِّية – هي الأشعّة التي تَوَلَّدت عن **الانفجار العظيم،** هذه الأشعّة تصل الكرة الأرضيّة من جميع جوانب الكون وبانتظام.

أشعّة جاما (γ) – هي أشعّة مؤيّنة أطوال أمواجها أقصر من 5 بيكومتر (10^{-12} متر). أنظر الفصل 6.

الأشعّة المُؤيِّنة – هي الأشعّة التي تستطيع اقتلاع إلكترون من الذرّة لحظة اصطدامها بها، أيّ أنّها تستطيع تأيين الذرة.

أشعّة ميكرو – هي أشعّة غير مؤيّنة أطوال أمواجها يتراوح بين 1 ملم و1 متر. أنظر الفصل 6.

الأشعّة الراديويّة – هي أشعّة غير مؤيّنة أطوال أمواجها يتراوح بين 1 ملم و- 100 كيلومتر. أنظر الفصل 6.

الأشعّة السينيّة (x Ray) – هي أشعّة مؤيّنة أطوال أمواجها يتراوح بين 5 بيكومتر و- 10 نانومتر. أنظر الفصلين 6 و- 10.

القرنيّة - هي النسيج الشفافّ الموجود قبل بؤبؤ العين، وهي تعمل كعدسة محدّبة وظيفتها تَرْكيز الضوء الساقط على العين إلى البؤبؤ.

النظائر المشعّة – هي الموادّ التي تُطْلِق أشعّة تستطيع اختراق الجسم، لذا تُعطَى للمرضى حيث تَتَمَرْكَز في الأعضاء المراد فحصها؛ وقياس الأشعّة المنطلقة من هذه الأعضاء تُساعدنا في الكَشْفِ عن عيوب أعضاء الجسم الداخليّة. أنظر الفصل 10.

رودوبسين – هو بروتين حسّاس للضوء ضروريّ لِعَمَل **الخلايا المخروطيّة؛** الجسم بحاجة إلى فيتامين A لإنتاج الرودوبسين.

الفحص باستعمال الأشعّة السينيّة – هو الفحص الذي به نُوَجِّه الأشعّة السينيّة إلى العضو المُراد تصويره؛ وعندها نحصل على صورة تُبَيِّن عظام العضو المراد فحصه والأعضاء الداخليّة الأخرى. أنظر الفصل 10.

شبكيّة العين – هي طبّقة داخليّة للعين تحتوي على مستقبلات وظيفتها امتصاص أشعّة الضوء و "تَرجَمَتها" في عمليّة كيميائيّة إلى وَمَضات كهربائيّة تنتقل إلى الدماغ.

انكسار الضوء – هو التغيير في اتّجاه انتشار حزمة الضوء إثر انتقالها من وسط الى آخر.

المجال - عندما يؤَثّر جسم ما بقوّة على جسم آخر دون مُلامسته، عندها نقول أنّ الجسم الأوّل أَنشأ مجالًا حوله وأنَ المجال أثَّر بقوّة على الجسم الآخر.

المجال الكهربائيّ – هو المجال الذي أنشأته الشحنات الكهربائيّة ويؤَثّر هذا المجال بقوّة كهربائيّة والتي تُكوِّن قوّة جذب أو قوّة تنافر على شحنات كهربائيّة أخرى.

مجال الجاذبيّة – هو المجال الذي أنشأته الكرة الأرضيّة حولها ويؤَثّر بقوّة الجاذبيّة على الأجسام ذات الكتلة؛ هذه القوّة تؤَدّي إلى انجذاب الأجسام إلى سطح الأرض وبفضلها تَسْقُط الأجسام، إذًا تركناها، نحو سطح الأرض.

المجال المغناطيسيّ – هو المجال الذي أنشأه الجسم المُمَغْنَط أو الجسم الموصل الذي يمر عَبْرَه تيّار كهربائيّ؛ ويؤَثّر هذا المجال بقوّة مغناطيسيّة على المغناط (وعلى الأجسام القابلة للتَّمَغْنُط) وعلى التيّارات الكهربائيّة الأخرى.

أسود (اللون) – هو اللون الذي يمتصّ جميع الضوء الساقط عليه.

التردّد – هو عدد الذبذبات في وحدة الزمن.

الوسط - الماديّ - الأمواج الميكانيكيّة التي يَلْزَمَها وسط لِتَتقدّم فيه، في حين أنّ الأمواج الإلكترومغناطيسيّة لا تحتاج إلى وسط لتتحرّك فيه.

ظاهرة دوريّة - ظاهرة تُكّرِّر نفسها على فترات منتظمة.

التشخيص بالأشعّة المقطعيّة - **CT** (Computer Tomography): هو فحص يتمّ فيه تصوير عضو الجسم بالأشعّة السينيّة من اتّجاهات مختلفة. ومن خلال الفحص نحصل على العديد من الصور التي يُتَرجِمها الحاسوب إلى "مقاطع" تُشير إلى حجم العضو المفحوص، أنظر الفصل 10.

التشخيص بالرنين المغناطيسيّ - **MRI** (Magnetic Resonance Imaging)؛ هو فحص يتمّ فيه تصوير عضو الجسم باستخدام مجالات مغناطيسيّة شِدَّتِها عالية وبِأشعّة إلكترومغناطيسيّة غير مؤيّنة. وهذا الفحص يُمَكِّن تصوير أعضاء الجسم الداخليّة من زوايا مختلفة كما هو الحال في تصوير CT. أنظر الفصل 10.

RGB – هي ألوان الضوء الأساسيّة: الأحمر والأخضر والأزرق. هذه هي الألوان التي تُمَيِّزُها عين الانسان. والعديد من شاشات العرض الرقميّة تعتمد على استخدام هذه الألوان.

مُؤَشِّر SAR – (Specific Absorption Rate): هي وتيرة الامتصاص النوعيّ للأشعّة، وهي وحدة لقياس شدّة الأشعّة التي يمتصُّها كيلوغرام واحد من الجسم خلال ثانية واحدة. تُسْتَخدَم هذه المُعْطيات للدلالة على شدّة انطلاق الأشعّة من الهواتف المحمولة. أنظر الفصل 9.

مُؤَشِّر SPF – (Sun Protecting Factor): هو المؤَشّر المستعمل للتمييز بين مستحضرات الحماية من أشعّة الشمس؛ حيث يُرشدنا إلى مقدار الفترة الزمنيّة القُصوى المسموح بها التعرُّض لأشعّة الشمس قبل بداية ظهور الحروق مع استخدام المرهم، ذلك بالمقارنة بالفترة الزمنيّة التي تُسبّب ظهور الحروق بدون استعمال مرهم. أنظر الفصل 9.

الملحق (ج): قائمة مصادر الصور في الكتاب

تراخيص الصور التي استعملناها في الكتاب وِفقًا لمصادرها المختلفة. يخضع أيّ استعمال في المستقبل لهذه الصور لأحكام ترخيص كلّ صورة. إنّ استعمال صور الكتاب هي من مسؤوليّة المستخدِم فقط.

الصورة	المصادر
1.1	• د. نوره الحكيم https://pixabay.com/en/cartoon-checkup-clinic-comic-2027771/ • الطالبة شمس الضياء – تمّ شراء الصورة من مخزن الصور المحميّ بحقوق الطبّع والنشر. • السيّد عياش أبو الذهب – صورة أصلية من السيدّة نوجا كبون (Noga Kapon)، تكرار الاستعمال مسموح به وِفقًا لشروط الترخيص CC BY 2.0 • السيّد منير الضياء - صورة أصلية من السيدّة نوجا كبون (Noga Kapon)، تكرار الاستعمال مسموح به وِفقًا لشروط الترخيص CC BY 2.0 • السيّد يحيى الأخضر – تمّ شراء الصورة من مخزن الصور المحميّ بحقوق الطبّع والنشر. • بروفيسور أمواج الشعاع https://pixabay.com/en/writer-old-woman-woman-1342524/ • السيّد يعقوب الصحاف https://pixabay.com/en/color-colour-drawing-edward-face-1295904/
1.2	• الشمس https://openclipart.org/detail/3367/decorative-sun • القمر https://openclipart.org/detail/86293/halloween-bright-full-moon • الكرة الأرضيّة https://openclipart.org/detail/218125/3d-earth-globe
2.1	الصورة لمقطع فيديو طوَّرَتْه مجموعة تدريس الفيزياء في التخنيون – الحقوق محفوظة للتخنيون. https://video.helloeko.com/v/V50pXA?autoplay=true
2.2	https://pixabay.com/en/waves-circles-drop-of-water-wave-285359/
2.3	هذه الجملة مستمدة من قائمة نشرات شريط أخبار News24: www.news24.co.il/taxonomy/term/1?page=642
2.4	هذه الجملة مستمدة من قائمة نشرات شريط أخبار Walla: http://news.walla.co.il/item/1361270

2.5	الصورة لمقطع فيديو طوَّرَتْه مجموعة تدريس الفيزياء في التخنيون – الحقوق محفوظة للتخنيون. https://video.helloeko.com/v/V50pXA?autoplay=true
2.6	هذه الجملة مستمدة من مقالة نشرات شريط أخبار Ynet: http://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-4556672,00.html
2.7	هذه الجملة مستمدة من مقالة نشرات شريط أخبار معريف: http://www.maariv.co.il/news/israel/Article-516327
3.1	هذه صورة أصلية نحن من صوَّرها، الاستعمال مسموح به وِفقًا لشروط الترخيص CC BY 2.0
3.2	• الأوتار الصوتيّة https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Voikolahmiten.jpg See page for author [Public domain], via Wikimedia Commons • الدماغ https://openclipart.org/detail/140689/brain-drawing • الأذن https://openclipart.org/detail/202347/listening-ear • الكلام https://openclipart.org/detail/271507/talking
4.1	صُوَر الشاشة من: https://phet.colorado.edu/en/simulation/wave-interference PhET Interactive Simulations University of Colorado Boulder https://phet.colorado.edu
4.2	صُوَر أصلية نحن صوَّرناها، الاستعمال مسموح به وِفقًا لشروط الترخيص CC BY 2.0.
4.3-4.7	صُوَر الشاشة من: http://phet.colorado.edu/sims/wave-on-a-string/wave-on-a-string_en.html PhET Interactive Simulations University of Colorado Boulder https://phet.colorado.edu/
5.1	• الصَّحن: https://pixabay.com/en/plate-teller-dish-ceramic-empty-307177/ • الكرة الأرضيّة: https://openclipart.org/detail/218125/3d-earth-globe

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Feeling_magnetic_repulsion.JPG By Pieter Kuiper (Own work) [Public domain], via Wikimedia Commons	5.2
Ken Bosma, https://www.flickr.com/photos/kretyen/2843109634	5.3
https://openclipart.org/detail/247977/atom-no-background	5.4
صُوَر الشاشة من: https://phet.colorado.edu/en/simulation/radio-waves PhET Interactive Simulations University of Colorado Boulder https://phet.colorado.edu	5.5-5.6
https://en.wikipedia.org/wiki/Incandescent_light_bulb#/media/File:Incandescent_bulb_shapes.svg By Woodega (Created with iDraw on Mac.) [CC BY-SA 3.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0) or GFDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)], via Wikimedia Commons	5.7
صُوَر أصلية نحن صوَّرناها، الاستعمال مسموح به وِفقًا لشروط الترخيص CC BY 2.0.	5.8-5.9
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electromagnetic-spectrum-vector-diagram-different-types-radiation-their-wavelengths-order-increasing-frequency-33625774.jpg By Թագուհի Սաղաթելյան (Own work) [CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0)], via Wikimedia Commons تَمَّ تغيير الألوان في الصورة وتمّ ترجمة العناوين إلى العربية:	6.1
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Radioactive.svg#filelinks%20Cary%20Bass By Cary Bass [Public domain], via Wikimedia Commons	6.2
صُوَر الشاشة من: https://phet.colorado.edu/sims/photoelectric/photoelectric_iw.jar PhET Interactive Simulations University of Colorado Boulder https://phet.colorado.edu	6.3

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Karl_G._Jansky_Very_Large_Array.jpg By Mihaisiscanu (Own work) [CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0)], via Wikimedia Commons	6.4
• جهاز الميكروويف: https://pixabay.com/en/microwave-oven-appliance-kitchen-29056/ • رغيف خبز: https://pixabay.com/en/bread-loaf-cut-white-isolated-309558/	6.5
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Snake_viper_thermal_infrared_image1.jpg By Randall Kolchins SPI CORP, http://www.nationalinfrared.com [GFDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html) or CC BY-SA -2.5 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0)]	6.6
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:RBC_Visa_UV.jpg By Nebrot (Own work) [GFDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html) or CC BY-SA 3.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0)], via Wikimedia Commons	6.7
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Neck_Fracture_of_the_Fourth_Metacarpal_Bone.png By Louis Philippe Lessard (X-Ray) [GFDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html) or CC BY-SA 3.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0)], via Wikimedia Commons	6.8
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nagasakibomb.jpg#file National Archives Archeological Site [Public domain or Public domain], via Wikimedia Commons	6.9
صُوَر أصلية نحن من خططها، الاستعمال مسموح به وِفقًا لشروط الترخيص CC BY 2.0.	7.1
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chris_Potter_-_3D_Tin_Can_Phones.jpg By Chris Potter (flickr) [CC BY 2.0 (http://creativecommons.org/licenses/by/2.0)], via Wikimedia Commons	7.2
https://pixabay.com/en/talk-phone-yogurt-pot-string-1421412/	7.3

7.4	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:US_Navy_100403-N-7062A-087_Hosptial_Corpsman_3rd_Class_Adrian_Eady_performs_a_bitewing_X-ray_on_Hospital_Corpsman_2nd_Class_John_Edstrom.jpg By U.S. Navy photo [Public domain], via Wikimedia Commons
8.1	https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Spectrehorizontal.png By Maulucioni, basado en un trabajo de Megodenas [CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en)]
8.2	جاي، رَ، هلبر، مَ، وأورعد، يَ، (1998). **الضوء واللون والرؤية**. القدس: دار نشر الجامعة العبريّة في القدس، مركز تدريس العلوم. ص 128.
8.3	• الشمس: https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ASun01.jpg By Kamalakanta Jena (Own work) [CC BY-SA 3.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0)], via Wikimedia Commons • عدسة مكبّر: http://www.clker.com/clipart-magnifying-glass-brown.html
8.4-8.5	جاي، رَ، هلبر، مَ، وأورعد، يَ، (1998). **الضوء واللون والرؤية**. القدس: دار نشر الجامعة العبريّة في القدس، مركز تدريس العلوم. ص 74-75، 144.
8.6	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PikiWiki_Israel_14398_Arc_in_the_Jordan_Valley.JPG [CC BY 2.5 (http://creativecommons.org/licenses/by/2.5)], via Wikimedia Commons
8.7	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Psychophysical.svg By The original uploader was Dkroll2 at English Wikipedia (Transferred from en.wikipedia to Commons.) [GFDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html) or CC-BY-SA-3.0 (http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/)], via Wikimedia Commons تَمَّ إضافة أشعّة ضوئيّة مُلَوَّنة للصورة
8.8	صُوَر أصلية نحن خططناها، الاستعمال مسموح به وِفقًا لشروط الترخيص CC BY 2.0.
8.9	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cone-fundamentals-with-srgb-spectrum.svg By BenRG (Own work) [Public domain], via Wikimedia Commons

9.1	نحشون، م'. (2000). **الأشعّة المؤيّنة، تأثيراتها البيولوجية واستعمالاتها**. حيفا: مؤسّسة التخنيون للبحث والتطوير، المركز الإسرائيليّ لتدريس العلوم وقسم المناهج التعليمية في وزارة المعارف. ص 65، 66.
9.2	صُوَر أصلية نحن خططناها، الاستعمال مسموح به وِفقًا لشروط الترخيص CC BY 2.0.
9.3	نحشون، م'. (2000). **الأشعّة المؤيّنة، تأثيراتها البيولوجية واستعمالاتها**. حيفا: مؤسّسة التخنيون للبحث والتطوير، المركز الإسرائيليّ لتدريس العلوم وقسم المناهج التعليمية في وزارة المعارف. ص 65، 66.
9.4	صورة أصلية رسمتها السيدّة نوجا كبون (Noga Kapon)، تكرار الاستعمال مسموح به وِفقًا لشروط الترخيص CC BY 2.0.
10.1	• صُوَر بالأشعّة السينيّة للرئتين: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PneumonisWedge09.JPG By James Heilman, MD (Own work) [CC BY-SA 3.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0) or GFDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)], via Wikimedia Commons • تخطيط يُجَسِّد كيف تمّ التصوير: نحشون، م'. (2000). **الأشعّة المؤيّنة، تأثيراتها البيولوجية واستعمالاتها**. حيفا: مؤسّسة التخنيون للبحث والتطوير، المركز الإسرائيليّ لتدريس العلوم وقسم المناهج التعليمية في وزارة المعارف. ص 100.
10.2	• جهاز CT: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ct-scan.jpg By NithinRao (Own work) [Public domain], via Wikimedia Commons • صُوَر CT للدماغ: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Computed_tomography_of_human_brain_-_large.png by Mikael Häggström. - Radiology, Uppsala University Hospital [Public domain]

10.3	• جهاز MRI: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MRI-Philips.JPG By Jan Ainali (Own work) [CC BY 3.0 (http://creativecommons.org/licenses/by/3.0)], via Wikimedia Commons • صورة MRI لأنسِجَة الدماغ: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MRI_brain.jpg NASA, [Public domain]
10.4	نحشون، م'. (2000). **الأشعّة المؤيّنة، تأثيراتها البيولوجية واستعمالاتها**. حيفا: مؤسّسة التخنيون للبحث والتطوير، المركز الإسرائيليّ لتدريس العلوم وقسم المناهج التعليمية في وزارة المعارف. ص 104.