

يمكن تخزين مقدار هائل من طاقة الوضع الكهربائية في الغيوم. ويمكن أن تصل الفولتية (= فرق الجهد ΔPE لكل شحنة) بين الغيوم والأرض عند حدوث البرق إلى مئة مليون فولت. ويرتبط المجال الكهربائي بفرق الجهد لكل وحدة طول. وإذا ارتفعت قيمته إلى درجة كافية داخل الغيوم، فإن الإلكترونات ستكتسب طاقة حركة كبيرة KE كافية كي تفقد الذرات إلكتروناتها. فيصبح الهواء موصلًا نتيجة الانسياب السريع للإلكترونات الحرة والذرات المؤينة التي ستصطدم مع ذرات أخرى مسببة تأينًا إضافيًا. ويسبب هذا الانسياب الهائل للشحنات في تقليل فرق الجهد فيتوقف التفريغ. وتعود الإلكترونات والذرات بالإيجاد لتكوين ذرات مرة أخرى. أمّا الضوء الذي نراه فهو ناتج من عودة الإلكترونات إلى مستويات الطاقة المنخفضة داخل الذرات. وسنتناول في هذا الفصل الفصل الفولتية وعلاقتها بالمجال الكهربائي، والطاقة الكهربائية المخزنة، والمكثفات، والتطبيقات مثل أنبوب الأشعة المهبطية ECG.



الفصل 17

الجهد الكهربائي

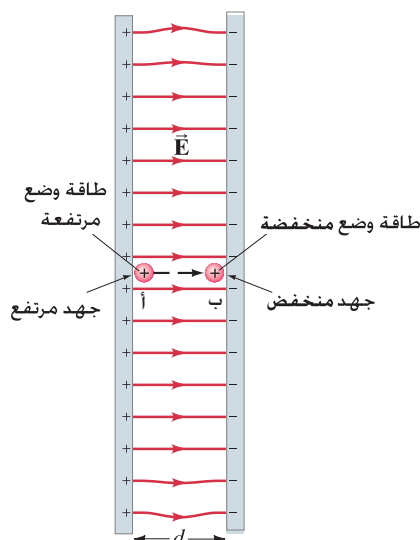
لقد رأينا في الفصل السادس مدى أهمية مبدأ الطاقة وخصوصًا عند التعامل مع موضوع الميكانيكا. فمن جهة أولى، ونتيجة لاعتبار الطاقة كمية محفوظة، فهي أداة مهمة لفهم الطبيعة. وكذلك رأينا كيف يمكن حل مسائل كثيرة باستخدام مبدأ الطاقة بالرغم من عدم توافر تفاصيل دقيقة عن القوى المسؤولة، أو عندما تكون الحسابات صعبة جدًا باستخدام قوانين نيوتن.

ويمكن استخدام وجهة نظر الطاقة في التعامل مع الكهرباء لأنها مفيدة بشكل خاص؛ فهي لا توسع استخدام قانون حفظ الطاقة فحسب، بل تمنحنا طريقة أخرى للنظر إلى الظواهر الكهربائية. وتُعدّ الطاقة أيضًا في كثير من الحالات أداة لحل المشاكل بسهولة ويسرٍ بشكل أكبر مقارنة مع استخدام القوى والمجالات الكهربائية.

1-17 طاقة الوضع الكهربائية و فرق الجهد

طاقة الوضع الكهربائية

لكي نستطيع تطبيق حفظ الطاقة: فإننا نحتاج إلى تعريف طاقة الوضع الكهربائية كما في الأنواع الأخرى من طاقة الوضع. وكما رأينا في الفصل السادس، يمكننا تعريف طاقة الوضع للقوة المحافظة فقط. إن الشغل المبذول بواسطة قوة محافظة لنقل جسم بين موضعين لا يعتمد على المسار المتبع. كما أن قوة جاذب الكهرباء الساكنة المتبادلة بين الأجسام المشحونة (معادلة 16-1 $F = kQ_1 Q_2 / r^2$) أو تنافرها محافظة لاعتمادها على الموضع فقط تمامًا مثل قوة الجاذبية المحافظة أيضًا. وعليه، يمكننا تعريف طاقة الوضع PE للقوة الكهروستاتيكية.



الشكل 17 - 1 يُبذل الشغل بواسطة المجال الكهربائي لنقل شحنة موجبة من الموضع أ إلى الموضع ب.

لقد رأينا في الفصل السادس أنّ التغيّر في طاقة الوضع بين نقطتين أ و ب يساوي الشغل السالب المبذول من القوة المحافظة لنقل الجسم من "أ" إلى "ب": $\Delta PE = -W$.

لذا، فإنّنا نعرّف التغير في طاقة الوضع الكهربائية أو الجهد الكهربائي $PE_b - PE_a$ عندما تتحرك شحنة نقطية q من نقطة ما "أ" إلى نقطة أخرى "ب" بالشغل السالب المبذول بواسطة القوة الكهربائية لنقل الشحنة من "أ" إلى "ب". وعلى سبيل المثال، خذ بالحسبان المجال الكهربائي بين لوحين متوازيين مشحونين بشحنتين متساويتين بالمقدار ومتعاكستين بالإشارة. ولنفترض أن المسافة الفاصلة بينهما صغيرة مقارنة مع أبعادهما من عرض وارتفاع. ممّا ينتج من ذلك مجال كهربائي منتظم $\vec{E}$ فوق معظم المنطقة الفاصلة بينهما (شكل 17 - 1). والآن خذ بالحسبان شحنة موجبة نقطية صغيرة q وُضعت عند نقطة قريبة جدًّا من اللوح الموجب كما هو مبين. وهذه الشحنة q صغيرة لدرجة أنّها لن تؤثر في $\vec{E}$. فإذا تُركت هذه الشحنة حرّة الحركة، فإنّ القوة الكهربائية F ستقوم ببذل شغل عليها وتسريعها باتجاه اللوح السالب. ويُعطى الشغل المبذول W بواسطة المجال الكهربائي E لنقل الشحنة مسافة d كالتالي:

$$W = Fd = qEd$$

حيث استخدمنا (المعادلة 16 - 5): $F = qE$. ويساوي التغير في الجهد الكهربائي الشغل السالب المبذول بواسطة القوة الكهربائية:

$$PE_b - PE_a = -qEd$$

لهذه الحالة من المجال الكهربائي المنتظم $\vec{E}$. وفي الحالة المبينة في الشكل، فإنّ طاقة الوضع تقل (ΔPE سالبة). وكلما تسارع الجسم المشحون من النقطة "أ" إلى النقطة "ب" في (شكل 17 - 1) ازدادت طاقة الجسم الحركية KE بمقدار متساوٍ. وبالنسبة إلى حفظ الطاقة، فإنّ الطاقة قد تحولت من طاقة وضع كهربائية إلى طاقة حركية مع بقاء الطاقة الكلية محفوظة. لاحظ أنّ أكبر قيمة للجهد الكهربائي للشحنة الموجبة q تحصل عندما تكون النقطة "أ" قرب اللوح الموجب*، والعكس صحيح لشحنة سالبة، حيث يكون أكبر قيمة لجهدا الكهربائي عندما تكون بالقرب من اللوح السالب.

الجهد الكهربائي وفرق الجهد

لقد وجدنا في الفصل السادس عشر أنّه من المفيد تعريف المجال الكهربائي على أنه القوة المؤثرة في كل وحدة شحنة. وبالمثل من المفيد أيضًا تعريف **الجهد الكهربائي** (أو ببساطة الجهد عندما تكون "الكهرباء" مفهومة ضمناً) على أنه طاقة الوضع الكهربائية لكل وحدة شحنات. وأعطى الجهد الكهربائي الرمز V . وإذا امتلكت شحنة اختبار موجبة q طاقة وضع كهربائية PE_a عند نقطة ما أ (مقارنةً بطاقة وضع صفرية) فإن الجهد الكهربائي V_a عند تلك النقطة هو:

$$V_a = \frac{PE_a}{q}$$

وكما ناقشنا في الفصل السادس عشر أيضًا، فإنّ الفروق في طاقة الوضع فقط هي التي لها معنى فيزيائي مادي. لذلك، يمكن قياس **"الاختلاف في الجهد"** فقط أو "فرق الجهد" بين النقطتين "أ" و "ب" (كالفرق بين النقطتين "أ" و "ب" في الشكل 17 - 1). وعندما تبذل قوة كهربائية شغلًا موجبًا على شحنة ما، فإن طاقتها الحركية ستزداد. أما طاقة وضعها فستقل. ويعادل الفرق في طاقة الوضع $PE_b - PE_a$ الشغل السالب W_{ba} المبذول بواسطة المجال الكهربائي لنقل الشحنة من "أ" إلى "ب". لذا، فإن فرق الجهد V_{ba} هو:

$$(17 - 2 ب) \quad V_{ba} = V_b - V_a = \frac{PE_b - PE_a}{q} = -\frac{W_{ba}}{q}$$

لاحظ أنّ الجهد الكهربائي كالمجال الكهربائي في عدم اعتماده على شحنة الاختبار q . ويعتمد V على الشحنات الأخرى التي صنعت المجال وليس على الشحنة q . وتحصل q على طاقة وضع عند وجودها في منطقة الجهد V الناتج من الشحنات الأخرى. ونرى من خلال تعريفنا أنّ اللوح الموجب في (الشكل 17 - 1) هو عند جهد مرتفع مقارنة مع اللوح السالب. وعليه، فإنّ الجسم موجب الشحنة سيتحرك تلقائيًا من الجهد المرتفع إلى الجهد المنخفض. وستقوم الشحنة السالبة بعمل العكس.

* ستمتلك الشحنة عند هذه النقطة القابلية العظمى لبذل الشغل (على بعض الأجسام أو الأنظمة الأخرى).

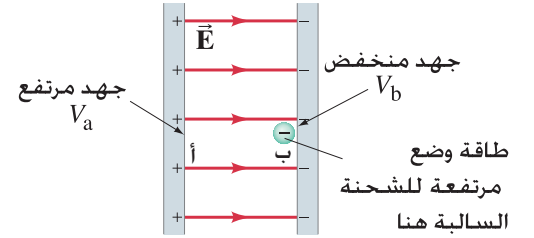
الجهد: هو طاقة الوضع لكل وحدة شحنات.

فرق الجهد

وحدة فرق الجهد: الفولت ($1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$)

الفولتية = فرق الجهد

يتم اختيار $V = 0$ عشوائياً



الشكل 17 - 2 يظهر الجزء المركزي (للشكل 17 - 1) شحنة نقطية سالبة قرب اللوح السالب. (مثال مفاهيمي 17 - 1).

تنويه:

تمتلك الشحنة السالبة PE مرتفعة عندما يكون الجهد V منخفضاً.

الجهد الكهربائي وطاقة الوضع.

يرتبط الجهد بارتفاع الجرف

إن وحدة الجهد الكهربائي وفرق الجهد هي الجول/كولوم. وقد أعطيت اسماً خاصاً وهو الفولت تشريفاً لمخترع البطارية الكهربائية فولتا (1745 - 1827). وتم اختصار الفولت بالرمز V أي أن $1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$. وبما أن فرق الجهد يقاس بدلالة الفولت، فقد أصبح يشار إليه بـ **الفولتية**.

وإذا أردنا أن نتكلم عن الجهد V_a عند نقطة ما "أ"، فيجب أن نكون على دراية بأن V_a ستعتمد على موضع اختياري للجهد الصفري. ويمكن اختيار جهد كهربائي يساوي صفراً بطريقة عشوائية عند دراسة حالة ما تماماً مثل طاقة الوضع؛ لأنه لا يمكن قياس إلا الفرق في طاقة الوضع. وغالباً ما تؤخذ الأرض (أو أي موصل تم إصله بالأرض مباشرة) على أنها عند جهد كهربائي يساوي صفراً. وتعطى الجهود الأخرى مقارنة بالأرض. (إذن، فالنقطة ذات الجهد 50 V هي نقطة فرق الجهد بينها وبين الأرض يعادل 50 V). ويمكن أن نقوم باختيار الجهد الصفري عند بعد لانهاضي ($r = \infty$) في حالات أخرى كما سنرى لاحقاً.

المثال مفاهيمي 17-1 شحنة سالبة.

افترض أن شحنة سالبة كشحنة الإلكترون وضعت قرب اللوح السالب في (الشكل 17 - 1) عند النقطة "ب" المبينة في (الشكل 17 - 2). إذا كان الإلكترون حر الحركة، فهل ستزداد طاقة وضعه الكهربائية أم ستقل؟ وكيف سيتغير جهده الكهربائي؟
الإجابة: سيتحرك الإلكترون إذا ترك حراً عند النقطة "ب" باتجاه اللوح الموجب. وكلما اقترب الإلكترون من اللوح الموجب قلت طاقة وضعه، وأصبحت طاقته الحركية أكبر. ومع هذا، فعليك أن تتذكر دائماً أن الإلكترون يتحرك من النقطة "ب" ذات الجهد المنخفض إلى النقطة "أ" ذات الجهد المرتفع: $\Delta V = V_a - V_b > 0$. (ينتج الجهدان V_a و V_b من الشحنات الموجودة على اللوحين، وغير ناجين من الإلكترون).

ملحوظة: لن تتسارع الشحنة الموجبة الموضوعة قرب اللوح السالب عند النقطة "ب". وتميل الشحنة الموجبة إلى الحركة من الجهد المرتفع إلى الجهد المنخفض.

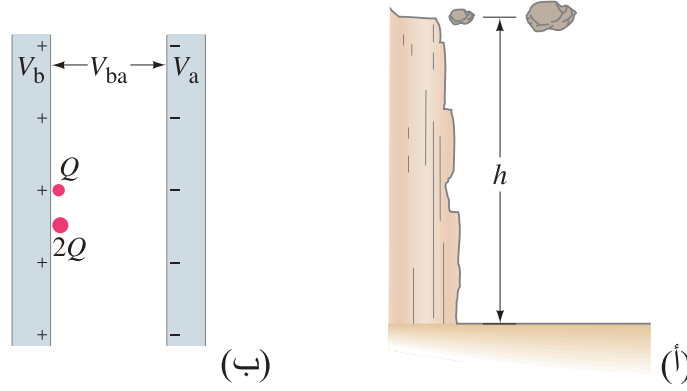
وبسبب تعريف فرق الجهد الكهربائي على أنه الفرق في الطاقة الكهربائية لكل وحدة شحنات، فإن التغير في طاقة الوضع لشحنة ما q عند نقلها بين النقطتين "أ" و "ب" هي:

$$(17 - 3) \quad PE_b - PE_a = q(V_b - V_a) = qV_{ba}$$

أي أنه إذا حرك جسم شحنته q خلال فرق جهد V_{ba} ، فإن طاقة وضعه ستتغير بمقدار qV_{ba} . وعلى سبيل المثال، إذا كان فرق الجهد بين اللوحين في (الشكل 17 - 1) هو 6 V ، فإن شحنة مقدارها $+1 \text{ C}$ تتحرك (ونقل بواسطة قوة خارجية) من "ب" إلى "أ" ستكتسب طاقة وضع كهربائية تعادل $6 \text{ J} = (1 \text{ C})(6 \text{ V})$. (وسوف تخسر 6 J جول من طاقة وضعها الكهربائية إذا تحركت من "أ" إلى "ب"). وبالمثل، فإن شحنة مقدارها $+2 \text{ C}$ ستكتسب 12 J وهكذا دواليك. وعليه، فإن فرق الجهد الكهربائي هو مقياس مدى مقدرة شحنة كهربائية في الحصول على طاقة خلال وضع ما. وبما أن الطاقة هي القدرة على بذل الشغل، فإن فرق الجهد الكهربائي هو أيضاً مقياس لمقدار الشغل الذي تستطيع أن تبذله شحنة ما. وتعتمد قيمته تحديداً على كل من فرق الجهد والشحنة. ولكي نفهم فرق الجهد بصورة أوضح،

دعنا نقارن مع حالة الجاذبية عند سقوط حجر من أعلى جرف؛ فكلما ازداد ارتفاع الجرف h ازدادت قيمة طاقة الوضع ($= mgh$) التي يمتلكها الحجر عند قمة الجرف بالنسبة إلى قاعه. وازدادت كذلك قيمة الطاقة الحركية التي سيمتلكها عندما يصل إلى القاع. وستعتمد قيمة طاقته الحركية الفعلية التي سيكتسبها، والشغل القادر على بذله على كل من ارتفاع الجرف وكتلة الحجر m . وبملاك حجران أحدهما صغير والآخر كبير موجودان عند الارتفاع h نفسه جهد الجاذبية نفسه. ومع هذا، فإن الحجر الكبير سيمتلك طاقة وضع أكبر (لأنه يمتلك كتلة أكبر). وتتشابه في ذلك الحالة الكهربائية (شكل 17 - 3 ب): يعتمد التغير في طاقة الوضع أو الشغل الممكن بذله على كل من فرق الجهد (مقارنة مع ارتفاع الجرف) والشحنة (مقارنة مع الكتلة). (معادلة 17 - 3). ومع هذا، لاحظ الاختلاف المهم الآتي: تظهر الشحنة الكهربائية في نوعين موجب وسالب، أما كتلة الجاذبية فهي موجبة دائماً.

الشكل 17 - 3 (أ) حجران عند الارتفاع نفسه. يمتلك الحجر الأكبر طاقة وضع أكبر. (ب) تمتلك شحنتان الجهد الكهربائي نفسه. وتمتلك الشحنة $2Q$ طاقة وضع أكبر.



يفترض أن تحافظ مصادر الطاقة الكهربائية كالبطاريات ومولدات الكهرباء على فرق الجهد. وتعتمد قيمة الطاقة الحقيقية المحولة بواسطة جهاز من هذا النوع على مقدار انسياب الشحنة، وعلى فرق الجهد أيضاً (معادلة 17 - 3). وعلى سبيل المثال، افترض مصباح إنارة سيارة موصول ببطارية 12.0 V . حيث يتناسب مقدار الطاقة المتحولة إلى ضوء وطاقة حرارية طردياً مع مقدار انسياب الشحنة التي تعتمد على المدة الزمنية لإنارة المصباح. فإذا انسابت شحنة مقدارها 5.0 C خلال المصباح لفترة من الزمن، فإن الطاقة الكلية المتحولة هي $60\text{ J} = (12.0\text{ V})(5.0\text{ C})$. ولكن إذا تُركَّ مصباح السيارة مضئاً ضعف الفترة الزمنية السابقة، فإن 10.0 C من الشحنة سينساب، وستصبح الطاقة المحولة $120\text{ J} = (12.0\text{ V})(10.0\text{ C})$. ويقدم (الجدول 17 - 1) بعض فروق الجهد النمطية.

المصدر	الجدول 17-1 بعض فروق الجهد العادية
الفولتية (تقريباً)	
بين سحابة رعدية و الأرض	10^8 V
خط طاقة بجهد عالي	$10^5 - 10^6\text{ V}$
تزويد الأنابيب الفاذة للألكترونات للتلفاز	10^4 V
شعلة أو شرارة الأشعال في السيارة	10^4 V
الأجهزة المنزلية	10^2 V
بطارية السيارة	12 V
بطارية المصباح	1.5 V
جهد الراحة على الغشاء العصبي	10^{-1} V
تغير الجهد على الجلد	10^{-4} V

المثال 2-17 إلكترون في أنبوب تلفاز.

افترض أنه تم تسريع إلكترون في أنبوب تلفاز من السكون خلال فرق جهد $V_b - V_a = V_{ba} = +5000\text{ V}$ (شكل 17 - 4). (أ) ما التغير في طاقة الوضع الكهربائية للإلكترون؟ (ب) ما سرعة الإلكترون ($m = 9.1 \times 10^{-31}\text{ kg}$) نتيجة لهذا التسارع؟
النهج: سنتناقص طاقة وضع الإلكترون الكهربائية نتيجة تسارعه باتجاه اللوح الموجب بمقدار $\Delta PE = qV_{ba}$ (معادلة 17 - 3). وسيعادل النقص في طاقة الوضع الزيادة في الطاقة الحركية (حفظ الطاقة).
الحل: (أ) الشحنة على الإلكترون: $q = -e = -1.6 \times 10^{-19}\text{ C}$. وعليه، فإن التغير في طاقة الوضع هو:

$$\Delta PE = qV_{ba} = (-1.6 \times 10^{-19}\text{ C})(+5000\text{ V}) = -8.0 \times 10^{-16}\text{ J}$$

وتوحي الإشارة السالبة بنقصان طاقة الوضع. ولكن إشارة فرق الجهد V_{ba} موجبة لأن الجهد النهائي V_b أكبر من الجهد الابتدائي V_a إضافة إلى الجذب للإلكترونات إلى اللوح الموجب وطردها بعيداً عن اللوح السالب. (ب) إن طاقة الوضع المفقودة بواسطة الإلكترونات قد تحولت إلى طاقة حركية له. ومن حفظ الطاقة (معادلة 11 - 6):

$$\Delta KE = -\Delta PE$$

$$\frac{1}{2}mv^2 - 0 = -q(V_b - V_a) = -qV_{ba}$$

حيث تساوي طاقة الحركية الابتدائية صفراً لبدء الإلكترون حركته من السكون. ولإيجاد v :

$$v = \sqrt{-\frac{2qV_{ba}}{m}} = \sqrt{-\frac{2(-1.6 \times 10^{-19}\text{ C})(5000\text{ V})}{9.1 \times 10^{-31}\text{ kg}}} = 4.2 \times 10^7\text{ m/s}$$

ملحوظة: تعتمد طاقة الوضع على الشحنة والفولتية فقط لا على الكتلة. في حين تعتمد السرعة على الكتلة.

تمرين أ: افترض أنه تم تسريع بروتون ($m = 1.67 \times 10^{-27}\text{ kg}$) من السكون إلى فرق جهد $V_{ba} = -5000\text{ V}$ في (المثال 17 - 2) بدلاً من الإلكترون. (أ) ما التغير في PE للبروتون؟ (ب) ما سرعته النهائية؟

2-17 العلاقة بين الجهد الكهربائي والمجال الكهربائي

يمكن وصف تأثير أي توزيع للشحنات بدلالة المجال الكهربائي أو بدلالة الجهد الكهربائي. وغالبًا ما يكون استخدام الجهد الكهربائي أسهل لأنه كمية قياسية مقارنة بالمجال الكهربائي (كمية متجهة). وهناك علاقة وطيدة بين الجهد والمجال. ولنأخذ بالحسبان مجالًا كهربائيًا منتظمًا كالذي بين اللوحين المتوازيين في (الشكل 17 - 1) حيث فرق الجهد بينهما V_{ba} . والشغل المبذول بواسطة المجال الكهربائي - لنقل شحنة موجبة q من "أ" إلى "ب" - يساوي سالب التغير في طاقة الوضع (معادلة 17 - 2) حيث:

$$W = -q(V_b - V_a) = -qV_{ba}$$

ونستطيع أيضًا التعبير عن الشغل المبذول بدلالة حاصل ضرب القوة في المسافة: حيث القوة على q هي $F = qE$ أي أن:

$$W = Fd = qEd$$

حيث تمثل d المسافة (الموازية لخطوط المجال) بين النقطتين "أ" و "ب". ونساوي الآن بين هذين التعبيرين للشغل W لنجد أن $qV_{ba} = -qEd$ أو:

$$V_{ba} = -Ed$$

وعندما نحل لإيجاد E ، فسنحصل على:

$$E = -\frac{V_{ba}}{d}$$

(E منتظم) [17 - 4 ب]

ونرى من (المعادلة 17 - 4 ب) أنه يمكن كتابة وحدات المجال الكهربائي بدلالة الفولت لكل متر (V/m) وأيضًا النيوتن لكل كولوم (N/C). إن هذين الشكلين متكافئان لأن $1 \text{ V/m} = 1 \text{ J/C} \cdot \text{m} = 1 \text{ N} \cdot \text{m/C} \cdot \text{m} = 1 \text{ N/C}$. وتخبرنا الإشارة السالبة في (المعادلة 17 - 4 ب) بأن المجال الكهربائي $\vec{E}$ يتجه نحو نقصان الجهد V .

علاقة V بالمجال المنتظم

وحدات E هي:

$$1 \text{ N/C} = 1 \text{ V/m}$$

المثال 3-17 الحصول على المجال الكهربائي من الفولتية.

شُحن لوحان متوازيان، فنتج فرق جهد بينهما مقداره 50 V. فإذا كان البعد بين اللوحين 0.050 m، فاحسب قيمة المجال الكهربائي في الفضاء بينهما (شكل 17 - 5).
النهج: نطبق (المعادلة 17 - 4 ب) للحصول على قيمة E باعتباره منتظمًا.
الحل: قيمة المجال الكهربائي:

$$E = V_{ba}/d = (50 \text{ V}/0.050 \text{ m}) = 1000 \text{ V/m}$$

ملحوظة: تطبق (المعادلتان 17 - 4 أ و ب) على المجال الكهربائي المنتظم فقط.

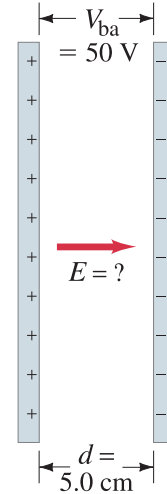
*العلاقات العامة بين $\vec{E}$ و V

تأخذ العلاقة بين $\vec{E}$ و V في منطقتي (حيث لا يكون $\vec{E}$ منتظمًا - شكلًا مختلفًا عن (المعادلتين 17 - 4 أ، ب). وبشكل عام، فمن الممكن إثبات أن المجال الكهربائي في اتجاه ما وعند نقطة ما في الفضاء يساوي معدل نقصان الجهد الكهربائي مع المسافة في ذلك الاتجاه. وعلى سبيل المثال، فإن المركبة السينية x للمجال الكهربائي تعطى كالتالي: $E_x = -\Delta V/\Delta x$ حيث ΔV هو التغير في الجهد خلال مسافة قصيرة جدا Δx .

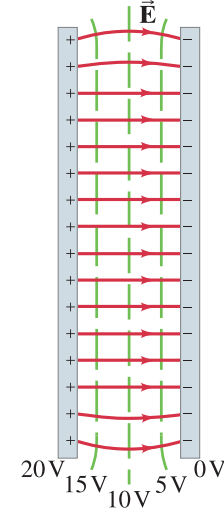
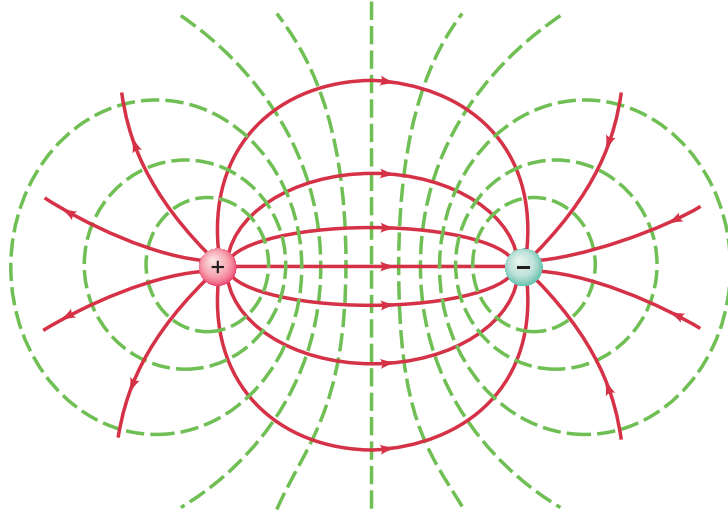
3-17 خطوط تساوي الجهد

يمكن تمثيل الجهد الكهربائي بيانيًا عن طريق رسم خطوط تساوي الجهد، أو سطوح تساوي الجهد في ثلاثة أبعاد. وسطح تساوي الجهد هو سطحٌ تمتلك النقاط الواقعة عليه جميعها الجهد نفسه؛ أي أن فرق الجهد بين أي نقطتين على هذا السطح يساوي الصفر. ولا يتطلب نقل شحنة ما بين أي نقطتين واقعتين عليه بذل أي شغل على سطح تساوي الجهد. ويجب أن يكون سطح تساوي الجهد عموديًا على المجال الكهربائي عند أي نقطة. وإذا لم يكن هذا هو الحال، أو إذا كانت هناك مركبة للمجال الكهربائي $\vec{E}$ موازية للسطح، فسيتطلب ذلك بذل شغل لنقل الشحنة على امتداد السطح ضد المركبة $\vec{E}$ ، وهذا ما سيتعارض مع كونه سطح تساوي الجهد عليه.

خطوط تساوي الجهد $\perp \vec{E}$.



الشكل 17 - 5. (مثال 17 - 3).



الشكل 17 - 7 تتعامد سطوح تساوي الجهد (الخضراء المقطعة) مع خطوط المجال الكهربائي (الحمراء المتصلة) دائماً، والتي تظهر هنا لجسمين مشحونين بشحنتين متساويتين في المقدار ومختلفتين في الإشارة (الثنائطي الكهربائي).

الشكل 17 - 6 تتعامد خطوط تساوي الجهد (الخضراء المقطعة) بين لوحين متوازيين مشحونين مع خطوط المجال الكهربائي (الحمراء المتصلة) دائماً.

إن حقيقة التعامد بين خطوط المجال الكهربائي وسطوح تساوي الجهد تساعد على تحديد مواقع تساوي الجهد إذا علمنا أماكن خطوط المجال الكهربائي. ونستطيع إظهار خطوط تساوي الجهد على مخطط في بعدين عند نقاط التقاطع مع سطوح تساوي الجهد مع سطح المخطط. وتم رسم عدة خطوط تساوي جهد (الخطوط الخضراء المقطعة) على (الشكل 17 - 6) متعامدة مع خطوط المجال الكهربائي (الخطوط الحمراء) بين لوحين متوازيين عند فرق جهد 20 V. وتم اختيار اللوح السالب عشوائياً ليمثل الجهد الصفري. وعليه تم تحديد جهد كل خط من خطوط تساوي الجهد. لاحظ أن $\vec{E}$ تشير باتجاه النقصان في V. وتظهر خطوط تساوي الجهد للحالة التي تمثل شحنتين متماثلتين بالمقدار ومختلفتين بالإشارة في (الشكل 17 - 7) كخطوط خضراء مقطعة. (يسمى الاتحاد بين الشحنتين المتساويتين الموجبة والسالبة "الثنائطي الكهربائي" كما رأينا في (البند 16 - 8). انظر (الشكل 16 - 31)).

وخلافاً لخطوط المجال الكهربائي التي تبدأ وتنتهي عند الشحنات الكهربائية، فإن خطوط تساوي الجهد وسطوحه مستمرة دائماً ولا تنتهي أبداً. وعليه، فهي تستمر لما بعد حدود (الشكلين 17 - 6 و 17 - 7). وتمثل الخريطة الكنتورية مثلاً مفيداً على ذلك؛ يجب أن تمثل الخطوط الكنتورية خطوط تساوي جهد الجاذبية (شكل 17 - 8).

لقد رأينا في (البند 16 - 9) أنه لا وجود للمجال الكهربائي داخل الموصل في الحالة الساكنة، وإلا فإن الإلكترونات الحرة ستشعر بالقوة وتبدأ بالحركة. وفي الحقيقة، فإن الموصل يجب أن يكون بمجملة عند الجهد نفسه في الحالة الساكنة. وتبعاً لذلك، فإن سطح الموصل سيكون سطح تساوي جهد. (وإذا كان هذا غير صحيح، فإن الإلكترونات الحرة عند السطح ستبدأ بالحركة؛ لأنه عندما يكون هناك فرق جهد بين أي نقطتين، فعندها يمكن أن يبذل الشغل على الأجسام المشحونة لتحريكها). ويتفق هذا تماماً مع النتيجة التي توصلنا إليها ونوقشت سابقاً، وهي أن اتجاه المجال الكهربائي عند سطح الموصل يجب أن يكون عمودياً على السطح.

الموصلات كسطوح تساوي جهد.

الشكل 17 - 8 تظهر الخارطة (مقطع من سيرا نيفادا في ولاية كاليفورنيا) خطوطاً كنتورية متواصلة، كل منها عند ارتفاع معين فوق مستوى سطح البحر. وهي هنا على فترات تتراوح عند 80-ft (25-m). وإذا سرت بمحاذاة أحد هذه الخطوط الكنتورية، فلن ترتقي إلى الأعلى أو تنحدر نحو الأسفل. ولكن إذا انتقلت من خط إلى آخر وخصوصاً إذا ارتقيت إلى الأعلى باتجاه متعامد على الخطوط، فإنك ستغير جهد الجاذبية (وبسرعة خاصة عند تقارب الخطوط مع بعضها بعضاً).



4-17 الإلكترون فولت كوحدة طاقة

يُعدُّ الجول وحدةً هائلةً جدًّا خصوصًا عند التعامل مع طاقات الإلكترونات والذرات أو الجزيئات. ولهذا السبب تحديدًا تُستخدم وحدة أخرى هي الإلكترون فولت (eV). ويُعرّف واحد إلكترون فولت على أنّه الطاقة المكتسبة بواسطة جسم يحمل شحنة مقدارها يساوي الشحنة على الإلكترون ($q = e$) نتيجة لحركته خلال فرق جهد مقداره 1 V. وبما أنّ قيمة الشحنة على الإلكترون هي $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ والتغير في طاقة الوضع يعادل qV . فإنّ 1 eV يعادل $1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ يعادل $(1.6 \times 10^{-19} \text{ C}) \cdot (1.0 \text{ V})$:

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

إلكترون فولت (وحدة)

وسيسر إلكترون يتسارع خلال فرق جهد مقداره 1000 V طاقةً وضع مقدارها 1000 eV. ويكتسب 1000 eV أو 1 كيلو إلكترون فولت (1 keV) من الطاقة الحركية. وبالمقابل. إذا حرك جسم ذو شحنة تعادل ضعف شحنة الإلكترون ($2e = 3.2 \times 10^{-19} \text{ C}$) خلال فرق جهد مقداره 1000 V. فإن طاقته ستتغير بمقدار 2000 eV.

وعلى الرغم من أنّ الإلكترون فولت وحدة مناسبة للتعبير عن طاقات الجزيئات والأجسام الأولية. إلاّ أنّه لا يعدّ من الوحدات الدولية (SI) المناسبة. ويجب أن يتمّ تحويل الإلكترون فولت خلال الحسابات إلى الجول باستخدام معامل التحويل كما أعطي أعلاه. وعلى سبيل المثال كما في المثال 17 - 2. فإنّ الإلكترون قد اكتسب طاقة حركية تعادل $8.0 \times 10^{-16} \text{ J}$. وفي الوضع الطبيعي. فإننا نذكر هذه الطاقة على أنّها 5000 eV ($= 8.0 \times 10^{-16} \text{ J} / 1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}$).

ولكن إذا احتجنا إلى تحديد سرعة هذا الجسم بدلالة الوحدات الدولية SI فيجب عند ذلك استخدام KE بدلالة الجول (J).

5-17 الجهد الكهربائي الناتج من الشحنات النقطية

يمكن اشتقاق الجهد الكهربائي الناتج من شحنة نقطية Q على بعد r منها من معادلة مجالها الكهربائي (معادلة 16 - 4) باستخدام الرياضيات. ويؤخذ الجهد في هذه الحالة في مالا نهاية (∞) على أنّه الصفر ويساوي المجال الكهربائي ($E = kQ/r^2$) في مالا نهاية الصفر. وتكون النتيجة:

$$V = k \frac{Q}{r}$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r}$$

[شحنة نقطية واحدة] (5 - 17)

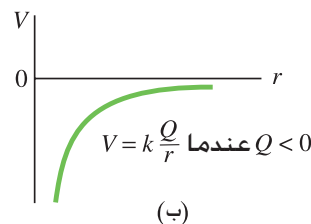
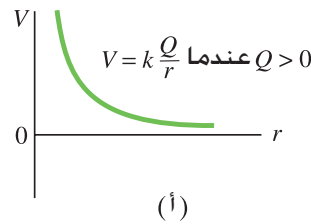
الجهد الكهربائي لشحنة نقطية
($r = \infty$ عند $V = 0$)

حيث $k = 8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$. وهنا. يمكن لنا افتراض أن V تمثل الجهد المطلق عند مسافة r من الشحنة Q حيث $V = 0$ عند $r = \infty$. أو قد نفترض أن V فرق جهد بين r ومالا نهاية. لاحظ أنّ الجهد V يتناقص مع الأسّ الأوّل للمسافة. في حين يتناقص المجال الكهربائي (معادلة 16 - 4) مع مربع المسافة. وعلى الرغم من أن للجهد قيمة كبيرة وموجبة بجوار الشحنة الموجبة. إلاّ أنّ قيمته تؤوّل للصفر عند المسافات الكبيرة. ويكون الجهد بجوار الشحنة السالبة سالباً. وبتزايد باتجاه الصفر عند المسافات الكبيرة (شكل 17 - 9).

تنويه:

$$V \propto \frac{1}{r}, E \propto \frac{1}{r^2}$$

لشحنة نقطية



الشكل 17 - 9 الجهد V كدالة في المسافة r الناتج من شحنة نقطية واحدة Q عندما تكون الشحنة: (أ) موجبة. (ب) سالبة.

المثال 4-17 الجهد الناتج من شحنة موجبة أو سالبة

حدّد الجهد عند نقطة تبعد 0.50 m عن: (أ) شحنة نقطية مقدارها $+20 \mu\text{C}$. (ب) شحنة نقطية مقدارها $-20 \mu\text{C}$.

النهج: يُعطى الجهد الناتج من شحنة نقطية (بالمعادلة 17-5)، $V = kQ/r$.

الحل: (أ) الجهد عند مسافة 0.50 m من شحنة موجبة مقدارها $20 \mu\text{C}$ هو:

$$V = k \frac{Q}{r} = (9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2) \left(\frac{20 \times 10^{-6} \text{ C}}{0.50 \text{ m}} \right) = 3.6 \times 10^5 \text{ V}$$

(ب) وللشحنة الموجبة هو:

$$V = (9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2) \left(\frac{-20 \times 10^{-6} \text{ C}}{0.50 \text{ m}} \right) = -3.6 \times 10^5 \text{ V}$$

ملحوظة: يمكن للجهد أن يكون موجباً أو سالباً. وهو مخالف لطريقة حساب قيمة المجال الكهربائي؛ حيث جرت العادة إهمال إشارة الشحنات. أما بالنسبة إلى الجهد الكهربائي، فيجب أن تُضاف الإشارة خلال الحسابات.

حل المسألة

يجب تتبع إشارات الشحنات عند التعامل مع الجهد الكهربائي.

المثال 5-17 الشغل المبذول لجلب شحنتين موجبتين قرب بعضهما بعضاً.

ما أقل شغل يجب بذله بواسطة قوّة خارجيّة لجلب شحنة مقدارها $q = 3.00 \mu\text{C}$ من مسافة بعيدة ($r \rightarrow \infty$) إلى نقطة تبعد مسافة 0.500 m عن شحنة $Q = 20.0 \mu\text{C}$ ؟

النهج: لا نستطيع ببساطة ضرب القوّة في المسافة للحصول على الشغل؛ لأنّ القوّة غير ثابتة. وبدلاً من ذلك، نستطيع أن نساوي التغير في طاقة الوضع مع الشغل (الموجب) الناتج من القوّة الخارجيّة (الفصل السادس) و (المعادلة 17-3): $W = \Delta\text{PE} = q(V_b - V_a)$. ونحصل على الجهدين V_a و V_b باستخدام (المعادلة 17-5).

الحل: الشغل الضروري للتغير في طاقة الوضع:

$$W = q(V_b - V_a) = q \left(\frac{kQ}{r_b} - \frac{kQ}{r_a} \right)$$

حيث $r_b = 0.500 \text{ m}$ و $r_a = \infty$. يعادل الجانب الأيمن للمعادلة داخل الأقواس الصفر ($1/\infty = 0$) وعليه:

$$W = (3.00 \times 10^{-6} \text{ C}) \frac{(8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)(2.00 \times 10^{-5} \text{ C})}{(0.500 \text{ m})} = 1.08 \text{ J}$$

ملحوظة: لا يمكننا استخدام (المعادلة 17-4) هنا؛ لأنّها تُطبّق فقط على المجالات الكهربائية المنتظمة. ولكننا نستخدم (المعادلة 17-3) لأنّها دائماً صحيحة.

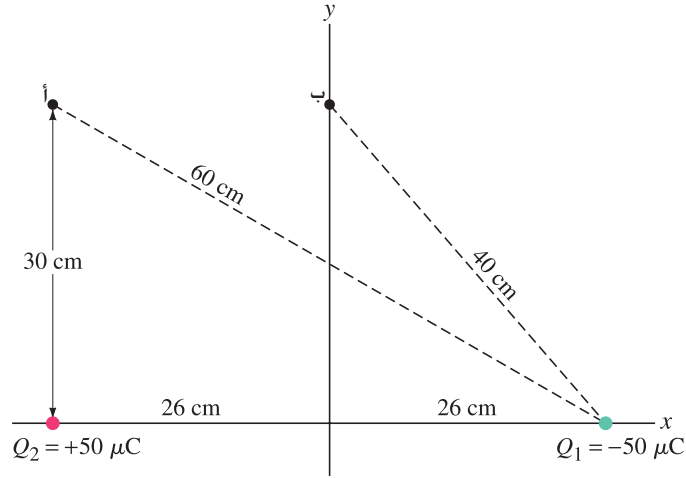
تمرين ب: ما الشغل الضروري لإحضار شحنة $q = 3.00 \mu\text{C}$ موجودة على بعد 1.50 m من شحنة أخرى $Q = 20.0 \mu\text{C}$ لتصبح على بعد 0.50 m منها فقط؟

لتحديد المجال الكهربائي عند نقاط قريبة من تجمع شحنتين نقطيتين أو أكثر؛ علينا جمع المجال الكهربائي الناتج من كل شحنة على حدة. وبما أنّ المجال الكهربائي كمية متجهة، فإن هذه العملية قد تكون معقدة وتستغرق فترة طويلة. أمّا إيجاد الجهد الكهربائي عند نقطة ما والناتج من تجمع لشحنات نقطية فهو أسهل بكثير مما سبق؛ لأنّ الجهد الكهربائي كمية قياسية. أي أنّك بحاجة فقط إلى جمع أرقام مع بعضها دون أن تكثرث لأيّ اتجاه. ولهذا، يعدّ استخدام الجهد الكهربائي ميزة رئيسة عند التعامل مع المسائل المختلفة. ومع هذا، يجب أن نتذكر إضافة إشارات الشحنات خلال الحسابات.

تنويه:

لا نستطيع استخدام $W = Fd$ إذا كانت F غير ثابتة.

تجمع الجهود ككميات قياسية (وتجمع المجالات كمتجهات)



الشكل 17 - 10 مثال 17 - 6. (انظر أيضاً إلى المثال 16 - 9، شكل 16 - 28).

المثال 17-6 الجهد فوق شحنتين.

احسب الجهد الكهربائي (أ) عند النقطة "أ" في (الشكل 17 - 10) الناتج من الشحنتين الظاهرتين. (ب) عند النقطة "ب". [وهذا (كمثال 16 - 9). و (الشكل 16 - 28) حيث قمنا بحساب المجال الكهربائي عند تلك النقطتين].

النهج: الجهد الكلي عند النقطة أ (أو عند النقطة ب) هو مجموع الجهود الناتجة عند تلك النقطة من كل من الشحنتين Q_1 و Q_2 . ويُعطى الجهد الناتج من كل شحنة مفردة (بالمعادلة 17 - 5). دون الاهتمام بالآجاءات لأنّ الجهد الكهربائي كمية قياسية. ومع هذا، فعلينا تتبع إشارات الشحنتين. **الحل:** نجمع الجهود عند النقطة "أ" الناتجين من كل من Q_1 و Q_2 كلّاً على حدة. ونستخدم (المعادلة 17 - 5) لكل منهما :

$$V_A = V_{A2} + V_{A1}$$

$$= k \frac{Q_2}{r_{2A}} + k \frac{Q_1}{r_{1A}}$$

حيث $r_{2A} = 30 \text{ cm}$ و $r_{1A} = 60 \text{ cm}$ وعليه:

$$V_A = \frac{(9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)(5.0 \times 10^{-5} \text{ C})}{0.30 \text{ m}} + \frac{(9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)(-5.0 \times 10^{-5} \text{ C})}{0.60 \text{ m}}$$

$$= 1.50 \times 10^6 \text{ V} - 0.75 \times 10^6 \text{ V}$$

$$= 7.5 \times 10^5 \text{ V}$$

(ب) وعند النقطة ب: $r_{1B} = r_{2B} = 0.40 \text{ m}$ وعليه:

$$V_B = V_{B2} + V_{B1}$$

$$= \frac{(9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)(5.0 \times 10^{-5} \text{ C})}{0.40 \text{ m}} + \frac{(9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)(-5.0 \times 10^{-5} \text{ C})}{0.40 \text{ m}}$$

$$= 0 \text{ V}$$

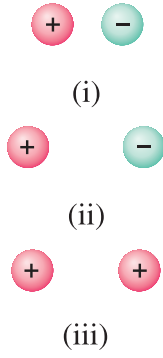
ملحوظة: يلغي الحدان المجموعان في (ب) بعضهما بعضاً عند أيّ نقطةٍ متساوية البعد عن Q_1 و Q_2 ($r_{1B} = r_{2B}$) وعليه، فإنّ الجهد سيعادل الصفر في كلّ مكان على السطح عند منتصف المسافة بين الشحنتين. ويمثل هذا المستوى سطح تساوي جهد حيث $V = 0$.

ويمكن أن يجري هذا الجمع البسيط على أيّ عدد من الشحنتين النقطية.

تنويه:

الجهد كمية قياسية، وليس له مركبات.

المثال المفاهيمي 7-17 طاقات الوضع.



الشكل 17 - 11 (مثال 7 - 17).

خذ بالحسبان الأزواج الثلاثة للشحنتين Q_1 و Q_2 في (الشكل 17 - 11). (أ) ما الزوج الذي يمتلك طاقة وضع موجبة؟ (ب) ما الزوج الذي يمتلك طاقة وضع أكثر سالبية؟ (ج) ما الزوج الذي يتطلب أكبر مقدار من الشغل لفصل الشحنتين عن بعضهما بعضاً إلى ما لا نهاية؟ افترض أن الشحنتين جميعها متساوية في المقدار.

الحل: تعادل طاقة الوضع الشغل الضروري لجلب الشحنتين قرب بعضهما بعضاً بدءاً من مسافة بعيدة جداً (∞). وافترض أن الشحنة الموجبة على اليسار هي أصلاً موجودة في موضعها. إذن، فالشغل اللازم لإحضار الشحنة الثانية قرب الأولى من مسافة بعيدة جداً (∞) هو:

$$W = Q_2 V_{ba} = k \frac{Q_1 Q_2}{r}$$

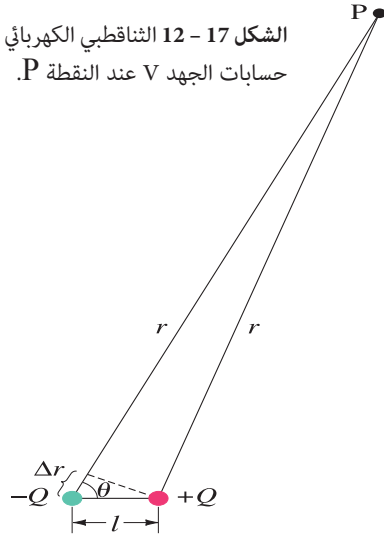
حيث تمثل r المسافة النهائية الفاصلة بينهما. لذا، فإن طاقة الوضع بين الشحنتين هي:

$$PE = k \frac{Q_1 Q_2}{r}$$

(أ) الزوج (iii) له طاقة وضع موجبة لأن الشحنتين متماثلتان. (ب) الزوج (i) يظهر أعلى طاقة وضع سالبة حيث إنَّ للشحنتين إشارتين مختلفتين. والمسافة الفاصلة بينهما أقل من تلك التي بين الزوج (ii). أي أن r أصغر للزوج (i). (ج) سيتطلب الزوج (i) أكبر قدر من الشغل لفصله إلى ما لا نهاية. وكلما كانت طاقة الوضع أكثر سالبية ازداد مقدار الشغل الضروري لفصل الشحنتين عن بعضهما لجعل PE ترتفع إلى الصفر ($r = \infty$).

6-17 * الجهد الناتج من الشناقطي الكهربائي وعزم الشناقطي

الشكل 17 - 12 الشناقطي الكهربائي حسابات الجهد V عند النقطة P .



يُدعى النظام المكوّن من شحنتين نقطيتين متساويتين في المقدار Q ومختلفتين في الإشارة المفصولتين عن بعضهما بمسافة l الشناقطي الكهربائي. وبين (الشكل 17 - 7) خطوط المجال الكهربائي وسطوح تساوي الجهد للشناقطي. ومن المفيد دراسة الشناقطي عن قرب ويتمنّ نظراً لوروده كثيراً في الفيزياء. وفي أماكن أخرى من ضمنها علوم الحياة الجزيئية. ويعطى الجهد الكهربائي للشناقطي عند النقطة العشوائية P في (الشكل 17 - 12) بجمع الجهدين الناتجين من الشحنتين كالتالي:

$$V = \frac{kQ}{r} + \frac{k(-Q)}{r + \Delta r} = kQ \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r + \Delta r} \right) = kQ \frac{\Delta r}{r(r + \Delta r)}$$

حيث تمثل r المسافة بين P والشحنة الموجبة. في حين تمثل $r + \Delta r$ بُعد الشحنة السالبة. وتصبح هذه المعادلة أكثر سهولة عندما نتعامل مع أي نقطة P بحيث يكون بعدها عن الشناقطي أكبر بكثير من المسافة الفاصلة بين الشحنتين: أي عندما يكون $r \gg l$. ونستطيع أن نرى من الرسم أن $\Delta r \approx l \cos \theta$ حيث $\Delta r = l \cos \theta$ ونستطيع إهمال Δr في المقام مقارنةً مع r . لنحصل على:

$$V \approx \frac{kQl \cos \theta}{r^2} \quad [\text{الشناقطي: } r \gg l] \quad (6 - 17)$$

كما نرى أن الجهد يتناقص مع مربع المسافة من الشناقطي. أمّا جهد شحنة نقطية أحادية فيتناقص مع الأس الأول للمسافة (معادلة 17 - 5). ولا غرابة هنا أن نجد أن جهد الشناقطي يتناقص بسرعة أكبر للشناقطي منه للشحنة النقطية الأحادية: لأنَّ الشحنتين في الشناقطي تميلان لمعادلة بعضهما بعضا بسبب قربهما من بعض عندما يُنظر إليهما من مسافات بعيدة. ويشار إلى حاصل ضرب Ql في (المعادلة 17 - 6) بعزم الشناقطي p للثنائي. وتصبح (المعادلة 17 - 6) بدلالة عزم الشناقطي كالتالي:

$$V \approx \frac{kp \cos \theta}{r^2} \quad [\text{الشناقطي: } r \gg l] \quad (6 - 17 \text{ ب})$$

ومع أن وحدة عزم الشناقطي هي كولوم.متر (C·m). إلا أن هناك وحدة أصغر تستعمل للجزيئات في بعض الأحيان تدعى ديباي: 1 ديباي = 3.33×10^{-30} C·m.

الجهد بعيداً عن الشناقطية

عزم الشناقطية $p = Ql$

تطبيق الفيزياء

الثنائية في علوم الحياة الجزيئية

الجدول 2-17 عزوم ثنائيات قطبي لجزيئات مختارة

عزوم ثنائيات قطبي لجزيئات مختارة (C·m)	الجزيئات
6.1×10^{-30}	$H_2^{(+)}O^{(-)}$
3.4×10^{-30}	$H^{(+)}Cl^{(-)}$
5.0×10^{-30}	$N^{(-)}H_3^{(+)}$
$\approx 3.0 \times 10^{-30} \ddagger$	$>N^{(-)}-H^{(+)}$
$\approx 8.0 \times 10^{-30} \ddagger$	$>C^{(+)}=O^{(-)}$

‡ تظهر آخر مجموعتين غالباً في الجزيئات الكبيرة، و عليه فإن مقدار عزم الثنائيات قطبي سيتغير على بقية الجزيء.

تطبيق الفيزياء

استعمالات المكثفات

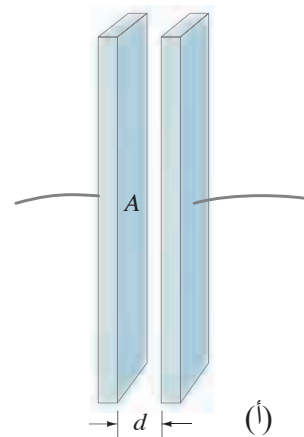
الشكل 17 - 13 مخططات المكثفات :
(أ) متوازي الألواح. و(ب) أسطوانية (متوازي الألواح ملفوف). و(ج) صورة لبعض المكثفات الحقيقية.



(ج)



(ب)



(أ)

يتكوّن المكثف البسيط من زوج ألواح متوازية ذات المساحة A ، وهما بعيدان عن بعضهما بعضاً بمسافة صغيرة d (شكل 17 - 13 أ). وغالباً ما يتم لفها على شكل أسطوانة بورقة أو أي عازل آخر يفصل بين اللوحين كما في (الشكل 17 - 13 ب). ويمثل (الشكل 17 - 13 ج) صورة لبعض المكثفات الحقيقية والمستخدم في تطبيقات مختلفة، ويمثل الرمز



[رمز المكثف]

في الشكل مواسع ما. وهناك رمز آخر للمواسع يمكن أن تصادفه وهو $\parallel$. أما البطارية التي تُعدّ مصدراً للفولتية فتمثل بالرمز التالي:



[رمز البطارية]

مع ذراعين غير متساويين.

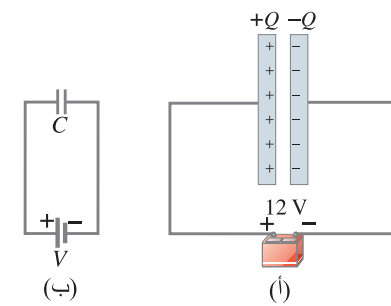
وإذا طبقت فولتية على المكثف عن طريق توصيل المكثف إلى بطارية باستخدام أسلاك توصيل كهربائية كما في (الشكل 17 - 14)، فإنّ اللوحين سيُشحنان بسرعة، وسيكتسب أحد اللوحين شحنة سالبة، في حين سيكتسب الآخر شحنة موجبة. وسيصبح كلّ قطب للبطارية بالإضافة إلى اللوح الموصل فيه عند الجهد الكهربائي نفسه. وعليه، ستظهر فولتية البطارية الكلية خلال المكثف. ولقد وُجدَ لمواسع ما أنّ مقدار الشحنة Q المكتسبة بواسطة كلّ لوح يتناسب مع مقدار فرق الجهد V بينهما :

$$Q = CV$$

(7 - 17)

ويدعى ثابت التناسب C في (المعادلة 17 - 7) سعة المكثف.

الشكل 17 - 14 مواسع متوازي الأضلاع موصول ببطارية. (ب) الدارة السابقة نفسها مبيّنة باستخدام الرموز.



السعة

وحدة السعة: الفاراد
(1 F = 1 C/V)

تنويه:

$V =$ فرق الجهد من الآن فصاعداً.

تعتمد السعة على الصفات المميزة للمواسع فقط وليس على Q أو V .

وحدة السعة هي الكولوم لكل فولت، وتُسمّى الفاراد (F). وتتراوح سعة المكثفات المستخدمة بين 1 pF (بيكوفاراد = 10^{-12} F) إلى $10^3 \mu\text{F}$ (ميكروفاراد = 10^{-6} F). وأوّل من اقترح العلاقة المعطاة (بالمعادلة 17 - 7) هو فولتا في نهاية القرن الثامن عشر.

ابتداءً من الآن، سنستخدم ببساطة V (بالمائل) للدلالة على فرق الجهد كالذي تولده البطارية بدلاً من V_{ba} أو $V_b - V_a$ كما هو سابقاً. (أحرص جيّداً على التمييز بين V و C المائلتين والدالتين على الفولتية والسعة و C و V غير المائلتين والدالتين على الوحدتين الفولت والكولوم).

بشكل عام، لا تعتمد السعة على Q و V . بل تعتمد قيمتها فقط على حجم اللوحين الموصلين بالنسبة لبعضهما وشكلهما وموضعهما. وعلى المادة الفاصلة بينهما أيضاً. وتُعطى سعة المكثف متوازي اللوحين المفصولين عن بعضهما بالهواء بمسافة d ومساحة A (شكل 17 - 13 أ) كالتالي:

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad [\text{مواسع ذو اللوحين المتوازيين}] \quad (17 - 8)$$

ونرى هنا أنّ C تعتمد على المعاملات الهندسية مثل A و d وليس على Q و V . ونظهر اشتقاق هذه العلاقة المفيدة في البند الاختياري على الصفحة القادمة. وتعطى قيمة الثابت ϵ_0 معامل النفاذية للفراغ كما رأيناه في الفصل السادس عشر بـ $8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$.

المثال 8-17 حسابات المكثف.

(أ) احسب سعة مواسع ذي لوحين متوازيين أبعادهما $20 \text{ cm} \times 3.0 \text{ cm}$ تفصلهما طبقة من الهواء سمكها 1.0-mm. (ب) ما الشحنة على كلّ لوح إذا علمت أنّ 12-V بطارية قد وُصلت باللوحين؟ (ج) ما المجال الكهربائي بين اللوحين؟ (د) قدّر مساحة اللوحين الضرورية للحصول على سعة مقدارها فاراد واحد بدلالة المسافة الفاصلة بينهما d .

النهج: تحسب السعة بدلالة (المعادلة 17 - 8): $C = \epsilon_0 A/d$. ويتم الحصول على الشحنة على كلّ لوح من تعريف السعة: (معادلة 17 - 7): $Q = CV$. وبما أنّ المجال الكهربائي منتظم، لذا نستطيع استخدام (المعادلة 17 - 4 ب) لحساب القيمة $E = V/d$. ونستخدم (المعادلة 17 - 8) مرة أخرى في (د).

الحل: (أ) المساحة $A = (20 \times 10^{-2} \text{ m})(3.0 \times 10^{-2} \text{ m}) = 6.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ وعليه، فإنّ السعة C :

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} = (8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2) \frac{6.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2}{1.0 \times 10^{-3} \text{ m}} = 53 \text{ pF}$$

(ب) والشحنة على كلّ لوح هي:

$$Q = CV = (53 \times 10^{-12} \text{ F})(12 \text{ V}) = 6.4 \times 10^{-10} \text{ C}$$

(ج) قيمة E من (المعادلة 17 - 4 ب) للمجال المنتظم:

$$E = \frac{V}{d} = \frac{12 \text{ V}}{1.0 \times 10^{-3} \text{ m}} = 1.2 \times 10^4 \text{ V/m}$$

(د) نحلّ لإيجاد A في (المعادلة 17 - 8)، ونعوّض $C = 1.0 \text{ F}$ و $d = 1.0 \text{ mm}$ لكي نجد أنّ مساحة اللوحين:

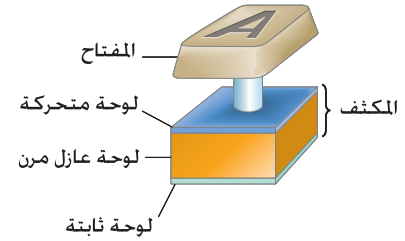
$$A = \frac{Cd}{\epsilon_0} \approx \frac{(1 \text{ F})(1.0 \times 10^{-3} \text{ m})}{(9 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2)} \approx 10^8 \text{ m}^2$$

ملحوظة: هذه مساحة مربع طول ضلعه 10^4 m أو 10 km . حيث تشبه مساحة مدينة كسان فرانسيسكو أو مدينة بوسطن! أي أنّ مواسعات ذات سعات كبيرة لا تصلح لبناء متسع ذي اللوحين المتوازيين.

تطبيق الفيزياء

كمصدر للطاقة الاحتياطية.

ومنذ فترة ليست بقصيرة، كانت السعات الأكبر من $1 \mu\text{F}$ شيئاً غير معتاد. أمّا الآن فتتوافر مواسعات ذات سعات تصل إلى 1 أو 2 F. ومع هذا، فهي صغيرة لا يتعدى طول أحد جوانبها عدة سنتيمترات. وتستخدم هذه المكثفات مصادر للقدرة البديلة. كاستخدامها في ذاكرة الحواسيب والإلكترونيات حيث يمكن المحافظة على الوقت والتاريخ بدقة عن طريق الانسياب الدقيق للشحنات.



الشكل 15-17 مفتاح من لوحة مفاتيح حاسوب. يعمل ضغط المفتاح على تقليل فراغ المكثف، فتزداد السعة التي يمكن كشفها إلكترونياً.

ويمكن صنع هذه المكثفات ذات السعات المرتفعة من الكربون "النشط" ذي المسامية العالية جداً والمساحة السطحية العالية جداً، علماً بأن المساحة السطحية لعُشر غرام من الكربون النشط تُعادل 100 m^2 . وبالإضافة إلى ذلك، فإن الشحنات المتساوية بالمقدار والمختلفة في الإشارة يمكن لها أن توجد في "طبقة مزدوجة" كهربائية ذات سمك لا يتجاوز 10^{-9} m .

ويعتمد عمل لوحة مفاتيح لأحد أنواع الحواسيب على السعة. وكما هو مبين في (الشكل 17 - 15)، فإن كل مفتاح يتم توصيله باللوح العلوي لمواسع. ويتحرك اللوح العلوي للمواسع نحو الأسفل عند ضغط المفتاح لتقل المسافة بين لوح المكثف وتزداد السعة تبعاً (معادلة 17 - 8): كلما قلت d ازدادت C . ويصبح التغير في السعة إشارة كهربائية يتم تسجيلها في دائرة إلكترونية.

تمرين ج: لوحان دائريان نصف قطرهما 5.0 cm ، وتفصلهما طبقة هواء سمكها 0.10 mm . ما مقدار الشحنة على كل لوح عند إصالحهما ببطارية 12-V ؟

* اشتقاق سعة مواسع متوازي الألواح

لقد تم اشتقاق (المعادلة 17 - 8) باستخدام النتيجة من (البند 16 - 10) لقانون غاوس. وتحديدًا المجال الكهربائي بين اللوحين المتوازيين والمعطى حسب (المعادلة 16 - 10):

$$E = \frac{Q/A}{\epsilon_0}$$

وعند دمج هذه المعادلة مع (معادلة 17 - 4) نحصل على:

$$V = \left(\frac{Q}{A\epsilon_0} \right) d$$

وعليه، نعرف السعة من (معادلة 17 - 7) كالتالي:

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{(Q/A\epsilon_0)d} = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

وهي (المعادلة 18 - 17).

8-17 العوازل

هناك لوح عازل في معظم المكثفات من الورق أو البلاستيك يطلق عليه العازل الكهربائي بين اللوحين. ويقدم هذا العازل الكهربائي عدة فوائد هي: 1- يسمح بتطبيق فولتية عالية دون أن ينهار المكثف (دون انسياب الشحنات خلاله كما هو الحال في الهواء). 2- يسمح باقتراب اللوحين من بعضهما بعضاً دون أن يتلامسا، فتقل d وتزداد C تبعاً حسب (المعادلة 17 - 8). 3- وُجد عملياً أن قيمة السعة ستزداد بمقدار K عند ملء الفراغ بين اللوحين الموصلين بالعازل الكهربائي. وتُسمى K ثابت العازلية الكهربائي. إذن، لمواسع متوازي اللوحين:

(9 - 17)

$$C = K\epsilon_0 \frac{A}{d}$$

ويمكن كتابته أيضاً كالتالي:

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

حيث تسمى:

$$\epsilon = K\epsilon_0$$

نفاذية المادة.

ويُعطي (الجدول 17 - 3) قيم ثابت العازلية الكهربائي لمواد مختلفة. بالإضافة إلى متانة العازل الكهربائي وهي قيمة المجال الكهربائي العظمى التي يتحملها العازل قبل انهياره (انسياب الشحنات خلاله).

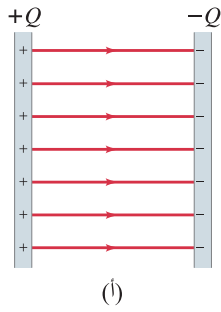
ثابت العازلية الكهربائي

مواسع ذو اللوحين المتوازيين وبينهما عازل.

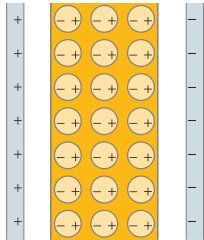
الجدول 3-17 ثوابت العوازل الكهربائية

العازل	ثابت الكهربائي للمادة	متانة العوازل الكهربائي
الفراغ	1.0000	
الهواء (1atm)	1.0006	3×10^6
فينيل (بلاستيك)	2.2	10×10^6
كوارتز	2.6	24×10^6
نفط	2-4	50×10^6
زجاج بايركس	3.7	15×10^6
مطاط	4.3	8×10^6
نيوبيرين	4	12×10^6
بورسلين	5	14×10^6
مايكا		
ماء (سائل)	6.7	12×10^6
	6-8	5×10^6
	7	150×10^6
	80	
نيترات السترونتيوم	300	8×10^6

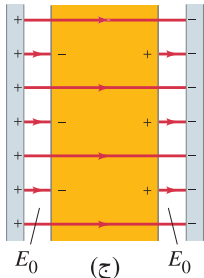
الشكل 17 - 16 النظرة الجزيئية لتأثيرات العازل الكهربائي.



(أ)



(ب)



(ج)

مثال مفاهيمي 9-17 إدخال مادة عازلة كهربائياً عند ثبات V .

يتكوّن مواسع يملؤه الهواء من لوحين متوازيين تفصلهما مسافة d موصولين بطاريات ذات فولتية V . ويحمل كل منهما شحنة مقدارها Q . إذا أدخلت بين لوحيه قطعة من مادة عازلة حيث $K = 3$ وهو لا يزال موصولاً بالبطارية، فهل ستزداد Q ، أم تقل. أم ستبقى كما هي؟
الحل: بما أنّ المكثف سيبقى موصولاً بالبطارية، فإنّ الفولتية ستبقى ثابتةً وستعادل فولتية البطارية V . وستزداد السعة C عند إدخال المادة العازلة الكهربائية لأن K من (المعادلة 17 - 9) قد ازدادت. ومن العلاقة $Q = CV$ ، إذا بقيت V ثابتة، فإنّ Q يجب أن تزداد مع زيادة C . وبعد إدخال العازل الكهربائي، ستسحب كمّيات إضافية من شحنة البطارية، وسترسب على لوحى المكثف مع ازدياد السعة.

تمرين د: إذا ملأ العازل الكهربائي في (المثال 17 - 9) الفراغ بين اللوحين، فما معاملُ تغيّر (أ) السّعة؟ (ب) الشّحنة على كلّ لوح؟

مثال مفاهيمي 10-17 إدخال عازل كهربائي داخل مواسع معزول.

افترض أنّ المكثف المملء بالهواء في (المثال 17 - 9) قد شُحن (إلى Q) ثم فُصل عن البطارية. فهل سيتغير أيّ من Q ، أو C ، أو V بعد إدخال العازل الكهربائي بين لوحيه؟
الإجابة: تبقى الشحنة ثابتة ولا تتغير قيمتها لأن المكثف معزول. ولن تذهب الشحنة إلى أيّ مكان آخر. وستزداد السعة نتيجة وضع العازل داخل المكثف (معادلة 17 - 9). وستنقص الفولتية حسب (المعادلة 17 - 7): $Q = CV$ أو $V = Q/C$. وإذا بقيت Q ثابتة وازدادت قيمة C (وهي في المقام) فإنّ V ستنقص.

* الوصف الجزيئي للعوازل الكهربائية

دعونا نختبر من وجهة النظر الجزيئية لماذا تكون سعة المكثف أكبر عند وجود عازل كهربائي بين لوحيه. ولنبدأ بمواسع يفصل الهواء بين لوحيه حيث يحمل أحدهما شحنة $+Q$ ، في حين يحمل الآخر الشحنة $-Q$ (شكل 17 - 16 أ). وافترض أنّ المكثف معزول (غير موصول ببطارية). وعليه، فلن تناسب الشحنات إلى اللوحين أو منهما. ويعطي فرق الجهد بين اللوحين V_0 (بالمعادلة 17 - 7):

$$Q = C_0 V_0$$

تُشير الرموز السفلية إلى الهواء بين اللوحين. سندخل الآن عازلاً كهربائياً بين اللوحين (شكل 17 - 16 ب). وبسبب وجود المجال الكهربائي بين لوحى المكثف، فإن جزيئات العازل الكهربائي ستترتب نفسها كما هو مبين في (الشكل 17 - 16 ب). وإذا كانت جزيئات العازل الكهربائي قطبية، فإنّ أطرافها الموجبة ستنجذب باتجاه اللوح السالب والعكس صحيح. وكذلك في حالة كون جزيئات العازل الكهربائي غير قطبية، فإنّ إلكترونات هذه الجزيئات ستعتمد إلى التحرك قليلاً باتجاه لوح المكثف الموجب ليكون تأثير ذلك كما هو في الجزيئات القطبية. لذا، فإنّ النتيجة النهائية لاصطفاف الثنائيات القطبية هو وجود شحنات سالبة صافية على الحافة الخارجية للعازل الكهربائي المواجهة للوح الموجب. ووجود شحنات موجبة صافية على الجانب المعاكس كما هو مبين في (الشكل 17 - 16 ج).

وينتج من ذلك توقف بعض خطوط المجال الكهربائي وعدم مرورها من خلال العازل الكهربائي. حيث تنتهي هذه الخطوط أو تختفي قرب الشحنات المستحثة على سطح العازل الكهربائي كما هو مبين في (الشكل 17 - 16 ج). وهذا ما يجعل المجال الكهربائي داخل العازل الكهربائي أقلّ منه في الهواء؛ أي أنّ المجال الكهربائي بين لوحى المكثف المحتوي على العازل الكهربائي قد يتناقص بمقدار يتناسب مع المعامل K . وتناقص الجهد بين طرفي المكثف يتناسب أيضاً مع المعامل K نفسه حيث $V = Ed$ (معادلة 17 - 4) وعليه من (المعادلة 17 - 7) $Q = CV$ ، يجب أن تزداد السعة C بمقدار يتناسب أيضاً مع المعامل K نفسه كي تبقى Q ثابتة.

9-17 تخزين الطاقة الكهربائية

يخزن المكثف الكهربائي الطاقة الكهربائية عن طريق فصل الشحنات + و - . إن الطاقة المخزنة في المكثف تعادل الشغل المبذول لشحنه. ومحصلة تأثير شحن المكثف هو إزالة شحنات من أحد اللوحين ثم إضافتها إلى اللوح الآخر. وهذا ما تفعله البطارية عند وصلها بالمكثف. وفي البداية، عندما لا يكون المكثف مشحوناً، فلا ضرورة هنا لبذل أي شغل لنقل أول كمية من الشحنات. ولكن عند نقل كمية أخرى من الشحنات، تظهر الحاجة إلى بذل الشغل لنقل الشحنات تحت تأثير الجهد المتزايد V . أما الشغل الضروري لإضافة كمية صغيرة من الشحنة Δq ، عندما يكون فرق الجهد بين اللوحين V ، فهو $\Delta W = V \Delta q$. ويصبح الشغل الكلي الضروري بذله لنقل شحنة كلية Q والمكافئ لنقل الشحنة Q كلها عبر فرق الجهد يساوي متوسط الفولتية خلال العملية. (وهذا كحساب الشغل المبذول لضغط زمبرك تماماً. (البند 6 - 4) صفحة 147). ومتوسط الفولتية هو: $V_f/2 = (V_f - 0)/2$ حيث V_f هي الفولتية النهائية. لذلك، فإن الشغل لنقل الشحنة الكلية Q من لوح إلى آخر هو:

$$W = Q \frac{V_f}{2}$$

وبناءً على ذلك، نستطيع القول بأن طاقة الوضع الكهربائية المخزنة في المكثف هي:

$$PE = \frac{1}{2} QV$$

حيث V فرق الجهد بين الألواح (لقد تخلفنا من الرمز السفلي) و Q هي الشحنة على كل من اللوحين. وبما أن $Q = CV$ فيمكننا أن نكتب:

$$PE = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \quad (10 - 17)$$

Energy stored in capacitor

المثال 11-17 الطاقة المخزنة في المكثف.

تخزن وحدة ومّاض آلة تصوير (شكل 17 - 17) طاقة داخل مواسع ($150\text{-}\mu\text{F}$) عند 200 V . فما مقدار الطاقة التي يمكن تخزينها؟

النهج: نستخدم (المعادلة 17 - 10) على الشكل $PE = \frac{1}{2} CV^2$. وباستخدام C و V المعطاة.

الحل: الطاقة المخزنة هي:

$$PE = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} (150 \times 10^{-6} \text{ F})(200 \text{ V})^2 = 3.0 \text{ J}$$

ملحوظة: إذا فرغت الطاقة خلال $\frac{1}{1000}$ من الثانية (10^{-3} s) فإن القدرة الناتجة ستكون 3000 W .

تمرين هـ: يخزن مواسع 0.50 J من الطاقة عند 9.0 V . فما سعته؟

تطبيق الفيزياء
وماض آلة تصوير



الشكل 17 - 17 وحدة ومّاض آلة التصوير

مثال مفاهيمي 12-17 ازدياد البعد الفاصل بين لوحين مواسع.

يحمل مواسع متوازي اللوحين شحنة Q يُفصل بعد ذلك عن البطارية. إذا كانت المسافة الفاصلة بين اللوحين بدايةً هي d ، ثم أبعد اللوحان عن بعضهما لتصبح المسافة الفاصلة بينهما $2d$ ، فما التغير الذي سينتج من ذلك على طاقة المكثف المخزنة؟

الحل: عندما تزداد المسافة الفاصلة بين اللوحين d ، فإن السعة تتناقص بمقدار يتناسب مع المعامل K حسب (المعادلة 17 - 8): $C = \epsilon_0 A/d$. ولن تتغير الشحنة Q . واستناداً إلى (المعادلة 17 - 10)، فإن PE المخزنة ستزداد بمقدار الضعف حيث استخدمنا $PE = \frac{1}{2} Q^2/C$ ؛ لأننا نعلم أن Q ستبقى كما هي. في حين تنخفض قيمة C إلى النصف.

ملحوظة: نستطيع فهم ازدياد الطاقة المخزنة من وجهة نظر فيزيائية: تم شحن اللوحين بالتساوي، ولكن بشحنتين مختلفتين في الإشارة بحيث يسمح لهما هذا جذب بعضهما بعضاً. ويجب أن نبذل شغلاً إذا رغبتنا بإبعادهما عن بعضهما، وبذلك نكون قد رفعنا مقدار طاقة وضعهما.

من المفيد أن ننظر إلى الطاقة المخزنة في المكثف على أنها مخزنة في المجال الكهربائي بين لوحيه. وعلى سبيل المثال، سنحسب الطاقة المخزنة في مواسع متوازي اللوحين بدلالة المجال الكهربائي. لقد رأينا أن المجال الكهربائي E بين لوحين متوازيين قريبين من بعضهما يكاد يكون منتظمًا. وترتبط قيمته بفرق الجهد حسب العلاقة التالية: $V = Ed$ (معادلة 17 - 4) حيث تمثل d المسافة الفاصلة بين اللوحين. وتخبرنا (المعادلة 18 - 8) أيضاً أن $C = \epsilon_0 A/d$ لمواسع متوازي اللوحين. لذلك:

$$PE = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon_0 A}{d} \right) (E^2 d^2) \\ = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 Ad$$

وتمثل الكمية Ad الحجم الفاصل بين اللوحين وهو مكان وجود المجال الكهربائي. وعند قسمة طرفي المعادلة على الحجم نحصل على عبارة للطاقة لكل وحدة حجم، أو على كثافة الطاقة:

$$(11 - 17) \quad \text{كثافة الطاقة} = \frac{PE}{\text{volume}} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$$

تناسب الطاقة الكهربائية المخزنة لكل وحدة حجوم في أي منطقة في الفضاء طرديًا مع مربع المجال الكهربائي في تلك المنطقة. ولقد اشتققنا (المعادلة 17 - 11) للحالة الخاصة للمواسع متوازي اللوحين. ومع هذا، يمكن إثبات صحة المعادلة السابقة لأي منطقة في الفضاء تحتوي على مجال كهربائي. وبالفعل، سنستخدم هذه النتيجة عند مناقشتنا للإشعاعات الكهرومغناطيسية (فصل 22).

الطاقة المخزنة لكل وحدة حجوم في المجال الكهربائي.

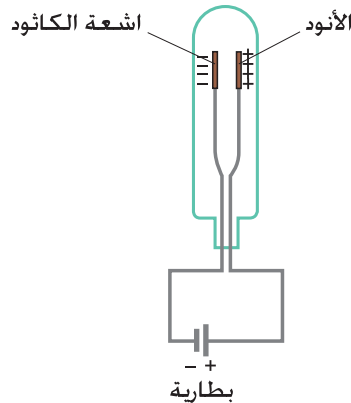
تطبيق الفيزياء

تجنب الصدمة أو الحرق
رجفان القلب



الشكل 17 - 18 إيقاف رجفان القلب

الشكل 17 - 19 عند تسخين الكاثود داخل الأنبوب الزجاجي المفرغ (بواسطة تيار كهربائي غير ظاهر) ستنتقل أشعة كاثود مشحونة بشحنة سالبة (إلكترونات) منه، وتتساب باتجاه الأنود (+) التي ستجذب إليه.



تأثير الصحة

يمكن للطاقة المخزنة في مواسع كبير أن تكون ضارة فتسبب الحرق أو الصدمة. وأحد أسباب التحذير من لمس دائرة أو وضع اليد داخل أي جهاز إلكتروني هو الخوف من استمرار أحد المكثفات الداخلية بحمل شحنات بالرغم من انقطاع مصدر القدرة الخارجي. وفي المقابل، فإن أساس عمل جهاز إيقاف رجفان القلب هو مواسع يتم شحنه إلى فرق جهد مرتفع. وتتميز النبوة القلبية بضربات قلب غير منتظمة تعرف بالانقباض البطيني (أو القلبي). وينتج من ذلك عدم ضخ الدم بواسطة القلب إلى بقية الجسم بصورة مناسبة. وإذا استمرت هذه الحالة وقتًا طويلاً، فإن الوفاة حتمية. ويسبب تفريغ سريع وفجائي للشحنات خلال القلب من جهاز إيقاف الرجفان توقف القلب كلياً. ليتبع ذلك عودة ضربات القلب إلى وضعها الطبيعي. ويُشحن جهاز إيقاف الرجفان إلى فولتية قد تصل إلى عدة آلاف فولت، ثم يُفرغ بسرعة كبيرة خلال القلب عن طريق زوج من الموصلات العريضة المسماة (المخاضيف) التي تسمح بانتشار التيار خلال صدر المصاب (شكل 17 - 18).

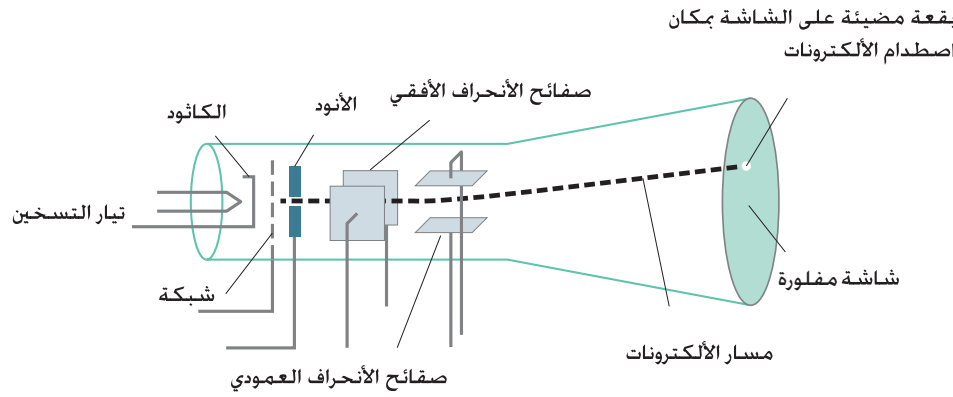
أنبوب الأشعة المهبطية:

شاشات التلفاز والحاسوب وكاشف الذبذبات.

10-17 *

يُعد أنبوب الأشعة المهبطية (CRT) من الأجهزة المهمة التي تستخدم الفولتية في أساس قياسها. وتسمح لنا برؤية "كيفية" تغير الفولتية مع الزمن. ويسمى أنبوب الأشعة المهبطية الذي يستخدم هذه الطريقة بكاشف الذبذبات. ويستخدم أنبوب الأشعة المهبطية منذ سنوات طويلة، كأنبوب الصور في التلفاز وشاشات الحواسيب بالرغم من تزايد الإقبال على استخدام شاشات أخرى مختلفة ومن ضمنها شاشة البلورة السائلة (LCD).

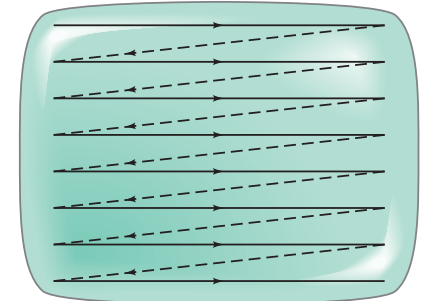
ويعتمد عمل CRT على ظاهرة الانبعاث الأيوني الحراري التي اكتشفها توماس أديسون (1847 - 1931). خذ بالحسبان لوحين صغيرين (إلكترونين) داخل "أنبوب" أو "زجاجة مصباح" مفرغ كما هو مبين في (الشكل 17 - 19) بحيث يخضعان لفرق جهد ما. علماً بأنه يُطلق اسم الكاثود على القطب الكهربائي (الإلكترون) السالب، أما الأنود فيطلق على القطب الكهربائي (الإلكترون) الموجب. وعند تسخين الكاثود السالب (باستخدام تيار كهربائي في العادة كما في المصباح الضوئي) يصبح مشعاً، وتبدأ عندها الشحنات السالبة بمغادرة الكاثود والانسياب إلى الأنود الموجب. وتدعى هذه الشحنات السالبة في وقتنا الحالي بالإلكترونات بعد أن كانت تدعى سابقاً بأشعة الكاثود لأنها تصدر من الكاثود (انظر (البند 27 - 1) حول اكتشاف الإلكترون).



الشكل 17 - 20 أنبوب الأشعة المهبطية. عادةً ما تستخدم ملفات الانحراف المغناطيسي بدلاً من ألواح الانحراف الكهربائية الظاهرة هنا. وقد تمّت المبالغة في المواضع النسبية لعناصر الأنبوب للإيضاح.

تطبيق الفيزياء

CRT



شكل 17 - 21 تمسح الحزمة الإلكترونية عرض الشاشة في خطوط أفقية متتالية. ويُمسح كل خط أفقي بتطبيق فولتية مختلفة على ألواح الانحراف الأفقية. ثم تُزاح الحزمة الإلكترونية نحو الأسفل مسافة قصيرة نتيجة تطبيق تغيير بسيط في الفولتية على ألواح الانحراف الرأسية، ومن ثم تعاد العملية كلها بعد ذلك.

تطبيق الفيزياء

شاشات تلفاز وحاسوب

تطبيق الفيزياء

كاشف الذبذبات

يشترك أنبوب الأشعة المهبطية (CRT) اسمه من حقيقة أنّ حزمةً من أشعة الكاثود (الإلكترونات) داخل أنبوب زجاجي مفرغ توجه إلى أجزاء مختلفة من الشاشة لتوليد "صورة" ما. ويظهر (شكل 17 - 20) مخططًا بسيطًا لـ CRT. وتسرعُ الإلكتروناتُ المنبعثة من الكاثود الساخن بواسطة فرق جهد (5000-50,000 V) مؤثر (موصول) بين الأنود والكاثود. وتمرّ هذه الإلكترونات من "مسدّس أو قاذف الإلكترونات" خلال ثقب صغير داخل الأنود. ويشعّ سطح الأنبوب الداخلي المطلي بطبقة رقيقة من مادة متألّئة عندما تصطدم بها الإلكترونات. ويصبح موضع اصطدام الحزمة الإلكترونية على الشاشة نقطة مضيئة صغيرة واضحة للعيان. ويستطيع لوحان أفقيان ولوحان رأسيان تغيير مسار الحزمة الإلكترونية نتيجة خضوعها لفولتية ما. وتنحرف الإلكترونات بصورة مؤكدة باتجاه اللوح الموجب. وعند تغيير الفولتية على ألواح الانحراف يتغير موقع النقطة المضيئة. وبذلك يمكن إضافة أي نقطة على الشاشة. وتُستخدم ملفات الانحراف المغناطيسية في كثير من أنابيب CRT (الفصل 20) بدلاً من الألواح الكهربائية.

وقد صُمّمت الشاشة أو أنبوب عرض الصور في الحاسوب أو في جهاز التلفاز بحيث تُمسح الحزمة الإلكترونية الشاشة بالطريقة الظاهرة في (الشكل 17 - 21) نتيجة تغيير الفولتية الموصلة بألواح الانحراف. وهناك 525 خطًا في جهاز التلفاز العادي في الولايات المتحدة الأمريكية تشكل مسحًا كاملاً للشاشة خلال $\frac{1}{30}$ s. ويزود التلفاز عالي - التعريف (HD - TV) ضعف هذا الرقم من الخطوط مما ينعكس على جودة الصورة ونقاؤها. ونحن نرى الصورة: لأنّ الشاشة المتألّئة أبقيتها (وكذلك أعيننا) لمدة $\frac{1}{20}$ s. وتتكون الصورة التي نراها من نقاط متفاوتة الإضاءة على الشاشة التي تتحكم بها شبكة (قطب كهربائي "نفّاذ" مثل الشبكة السلكية التي تسمح بمرور الإلكترونات). وغدّ الشبكة من انسياب الإلكترونات بواسطة الفولتية ("إشارة الفيديو") المؤثرة فيها؛ كلما ازدادت سالبة الفولتية طرد عدد أكبر من الإلكترونات. وتمرّ عدد أقل من خلالها. وتصبح إشارة الفيديو المرّسلة بواسطة محطة التلفاز والمستقبلة من قبل جهاز التلفاز إشارات أخرى توافق فولتية الشبكة مع المسحيق الأفقي والعمودي.

وبعد كاشف التذبذب جهاز التكبير والقياس والملاحظة العينية للإشارة الكهربائية (ويقصد بالإشارة عادةً الفولتية المتغيرة مع الزمن) على شاشة الـ CRT. وتُمسح الحزمة الإلكترونية أفقيًا بمعدل منتظم خلال الزمن بواسطة ألواح الانحراف الأفقية. وتؤثر الإشارة المراد عرضها (بعد تكبيرها) في ألواح الانحراف الرأسية. ويمثل "الأثر" المرئي على الشاشة مخطط الإشارة الفولتية (رأسيًا) بالنسبة إلى الزمن (أفقيًا) سواء كان هذا مخططًا كهربائيًا للقلب (ECG) (شكل 17 - 22) أو كان إشارة من تجربةٍ للإيصال العصبي.



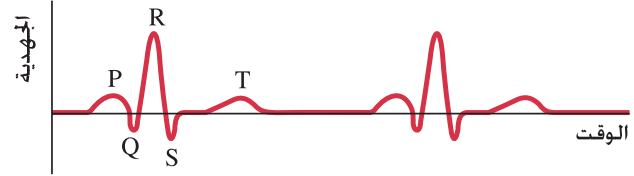
الشكل 17 - 22 عرض مخطط كهربائي للقلب (ECG) على CRT.

* 11-17 مخطط كهربائي للقلب (EKG أو ECG)

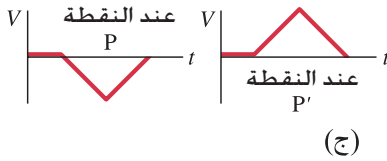
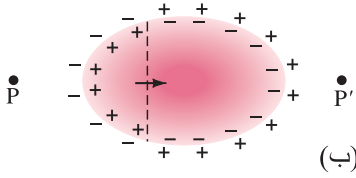
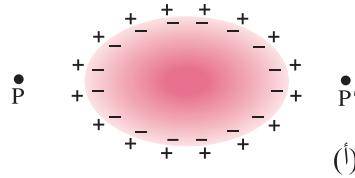
تطبيق الفيزياء المخطط الكهربائي للقلب

يمكن الكشف عن التغير في الجهد الكهربائي الناتج من سطح القلب بعد كل نبضة عن طريق موصلات فلزية تُسمى "الإلكترودات" موصولة بالجلد. ويجب أن يتم تضخيم التغير الصغير في الجهد والذي هو على مستوى ميلي فولت (mV). ويمكن إظهار هذه التغيرات على ورقة بواسطة مسجل ورقي أو شاشة (CRT) كما هو في (الشكل 17 - 22). يُعدّ المخطط الكهربائي للقلب (EKG أو ECG) سجلًا للتغيرات الجهدية لقلب شخص ما. ويظهر (الشكل 17 - 23) مثالاً على ذلك. وتُسمى الآلة المُخطّط الكهربائي للقلب. ونحن نهتم هنا بمصدر هذه التغيرات في الجهد وعلاقتها بنشاط القلب. وليس بالكترونيات الجهاز.

الشكل 17-23
مخطط كهربائي للقلب (EKG أو ECG)
يظهر في الشكل نبضتان.



الشكل 17 - 24 خلايا عضلة القلب تظهر (أ) طبقة شحنة قطبية في وضع الاستقرار. (ب) تطور زوال استقطاب خلية عند الانقباض العضلي. (ج) الجهد V عند النقطتين P و P' كدالة في الزمن.



وتملك كل من خلايا العضلات والخلايا العصبية طبقة من الشناقطي الكهربائية على امتداد جدران الخلايا: أي أنه في الوضع الطبيعي هناك شحنات موجبة صافية على السطح الخارجي. وشحنات سالبة صافية على السطح الداخلي كما هو مبين في (الشكل 17 - 24 أ). ويعتمد مقدار الشحنة على حجم الخلية وهو تقريباً 10^{-3} C/m^2 من السطح. وخلية مساحة سطحها 10^{-5} m^2 فإن الشحنة على أي من سطحها $\approx 10^{-8} \text{ C}$. وقبل انقباض عضلات القلب مباشرة، تحدث تغيرات في جدران الخلية لتستطيع عندها الأيونات الموجبة الموجودة على السطح الخارجي للخلية من المرور خلال جدرانها لتعادل تلك الأيونات في الداخل. أو لتجعل السطح الداخلي موجباً أكثر بمقدار ضئيل جداً مقارنة مع السطح الخارجي كما هو مبين في (شكل 17 - 24 ب).

وتبدأ عملية "زوال الاستقطاب" من أحد أطراف الخلية. وتستمر باتجاه الطرف المعاكس كما هو مبين بالسهم إلى أن تصبح العضلة كلها غير مستقطبة. ثم تعود العضلة لتستقطب كما كانت أولاً (شكل 17 - 24 أ). ويحدث هذا كله في أقل من ثانية واحدة. ويظهر (الشكل 17 - 24 ج) رسومات تقريبية للجهد V كدالة في الزمن عند النقطتين P و P' (على جانبي الخلية) خلال تقدم انعدام الاستقطاب خلال الخلية. إن مسار انعدام الاستقطاب خلال القلب ككل أكثر تعقيداً. وينتج فرق جهد أكثر تعقيداً كدالة في الزمن (شكل 17 - 23).

إن تقسيم المخطط الكهربائي للقلب إلى مناطق تعود إلى الانحرافات (أو الأمواج) المختلفة كما هو ظاهر في (الشكل 17 - 23) من الممارسات العادية. ويمثل كل انعكاس نشاط جزء معين من نبضة القلب (شكل 10 - 42). وتمثل موجة P انقباضاً أذينياً. وتمثل مجموعة QRS الانقباض البطيني نتيجة اتباع زوال الاستقطاب مساراً معقداً جداً. وتمثل الموجة T تماثل القلب (إعادة استقطابه) للتحضير للدورة التالية.

ويستخدم المخطط الكهربائي للقلب ثلاثة إلكترودات أساسية. حيث يوضع إلكترودان على "جانبي القلب" أي على الأيدي. ويوضع إلكترود على القدم اليسرى. وفي بعض الأحيان يوضع ستة إلكترودات إضافية في أماكن أخرى. ويزودنا قياس فروق الجهد المختلفة بمعلومات إضافية (وبعضها مكرر). وبما أن القلب جسم ثلاثي الأبعاد يحدث فيه زوال الاستقطاب. فإن المخطط الكهربائي للقلب قد يتطلب 12 مخططاً ليصبح كاملاً.

ويمثل ECG أداة فاعلة جداً في تحديد اختلالات القلب. وعلى سبيل المثال. فإن الجانب الأيمن للقلب سيتضخم إذا أجبر البطين الأيمن للدفع ضد حمل كبير غير اعتيادي (هذا ما يحدث عند انسداد الأوعية الدموية أو تيبسها). ويمكن ملاحظة هذه المشكلة عن طريق ECG عند اتساع الموجة S (بالسالب) وكبرها. ويمكن أيضاً كشف الانغلاقات. وهي المناطق الميتة في عضلة القلب. والناجمة من النوبات القلبية بواسطة ECG نتيجة عكسها لموجة زوال الاستقطاب.

بمقدار متساوي من الشحنات المختلفة في الإشارة Q . وتسمى النسبة بين هذه الشحنة إلى فرق الجهد V بين اللوحين بالسعة C .

$$Q = CV \text{ أو } C = \frac{Q}{V} \quad (7 - 17)$$

وتتناسب سعة المكثف ذي اللوحين المتوازيين طردياً مع مساحة كل لوح، وعكسياً مع المسافة الفاصلة بينهما:

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (8 - 17)$$

وتحتوي المسافة الفاصلة بين اللوحين الموصلين للمواسع على مادة عازلة كهربائياً كالهواء، أو الورق، أو البلاستيك. ويشار إليها بـ "العوازل الكهربائية" وتتناسب السعة طردياً مع خواص العوازل الكهربائية المسماة بـ ثابت العازل الكهربائي K (وهي تقارب 1 للهواء). ويخزن المكثف المشحون كمية من الطاقة الكهربائية تعطي كالتالي :

$$PE = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \quad (10 - 17)$$

ويمكن النظر إلى هذه الطاقة على أنها مخزنة في المجال الكهربائي بين اللوحين.

وكثافة الطاقة المخزنة في المجال الكهربائي E (الطاقة لكل وحدة حجم) هي :

$$\frac{PE}{\text{الحجم}} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 \quad (11 - 17)$$

[* تستخدم شاشات التلفاز والحاسوب عادة أنابيب الأشعة المهبطية (CRT) التي تسرع الإلكترونات بواسطة جهد عالٍ، حيث تسمح الشاشات بطريقة منتظمة باستخدام ألواح انحراف].

[* يسجل المخطط الكهربائي للقلب (EKG أو ECG) التغيرات في الجهد (بدلالة mV) لكل نبضة قلب نتيجة زوال الاستقطاب وإعادة الاستقطاب للخلايا وتعرض هذه التغيرات على شاشة أو على جهاز تسجيل ورقي].

يُعرف الجهد الكهربائي V عند أي نقطة في الفضاء بطاقة الوضع الكهربائية لكل وحدة شحنات:

$$V_a = \frac{PE_a}{q} \quad (17 - 2)$$

يُعرف فرق الجهد الكهربائي بين أي نقطتين بالشغل المبذول لتحريك 1 C من الشحنة الكهربائية بين هاتين النقطتين. ويقاس فرق الجهد بالفولت ($1 V = 1 J/C$) ويُسمى في بعض الأحيان بـ الفولتية. التغير في طاقة الوضع الناتجة من حركة شحنة q خلال فرق جهد V_{ba} هو:

$$\Delta PE = qV_{ba} \quad (17 - 3)$$

ويُعطى فرق الجهد V_{ba} بين نقطتين أ و ب بوجود مجال كهربائي منتظم كالتالي:

$$V_{ba} = -Ed \quad (17 - 4)$$

حيث تمثل d المسافة الفاصلة بين النقطتين. النقاط جميعها على خط (أو سطح) تساوي الجهد لها الجهد نفسه. ويتعامد الخط (أو السطح) مع المجال الكهربائي عند النقاط جميعها.

يعطى الجهد الكهربائي عند الموضع P الناتج من شحنة نقطية واحدة Q بالنسبة إلى الجهد الصفري في مالا نهاية كالتالي:

$$V = \frac{kQ}{r} \quad (17 - 5)$$

حيث r تمثل المسافة Q إلى الموضع P .

[* يتناقص الجهد الناتج من الشاقلبي الكهربائي مع $1/r^2$. ويساوي عزم الشاقلبي $p = Ql$. إذ تمثل l المسافة الفاصلة بين الشحنتين المتساويتين بالمقدار Q والمختلفتين في الإشارة].

المكثف: جهاز يستخدم لتخزين الشحنة (والطاقة الكهربائية) ويتكون من موصلين غير متلامسين يمكنهما الاحتفاظ

أسئلة

- إذا كان $V = 0$ عند نقطة ما في الفضاء فهل يجب أن تكون $\vec{E} = 0$ ؟ وإذا كانت $\vec{E} = 0$ عند نقطة ما، فهل يجب أن تكون $V = 0$ عند تلك النقطة؟ وضح إجابتك، وأعط أمثلة لكل حالة.
- هل يمكن لخطين متساويي الجهد أن يتقاطعا؟ وضح إجابتك.
- ارسم عدة خطوط تساوي جهداً على (الشكل 16 - 31 ب).
- ماذا يمكنك أن تقول عن المجال الكهربائي في منطقة في الفضاء ينتظم خلالها الجهد؟
- يدور قمر صناعي حول الأرض على امتداد خط تساوي جهد الجاذبية. ما شكل المدار؟
- عندما نتعامل مع أجهزة عملية، غالباً ما نعد جهد الأرض صفراً. وإذا اعتبرنا جهد الأرض عند $-10V$ ، فكيف سيؤثر هذا في: (أ) الجهد V ؟ (ب) المجال الكهربائي E عند النقاط الأخرى؟
- لماذا يكتسب لوحاً مواسع الشحنات نفسها عند وصلهما بطارية؟ وهل سيبقى هذا صحيحاً إذا اختلف اللوحان في الشكل أو الحجم؟
- لقد رأينا أن السعة C تعتمد على الحجم، والشكل، وموضع كل من الموصلين، بالإضافة إلى ثابت العازل الكهربائي K . فماذا نعني عندما نقول بأن C ثابتة في (المعادلة 17 - 7)؟

- إذا كانت نقطتان لهما الجهد نفسه، فهل يعني هذا عدم الحاجة إلى بذل أي شغل لنقل شحنة اختبار من نقطة إلى أخرى؟ وهل يعني هذا عدم ضرورة لوجود قوة؟ وضح إجابتك.
- هل ستتحرك شحنة سالبة ساكنة في مجال كهربائي باتجاه منطقة الجهد العالي. أم باتجاه منطقة الجهد المنخفض؟ وماذا بشأن شحنة موجبة؟ وكيف ستتغير طاقة الوضع للشحنة في كل حالة؟
- اذكر بوضوح الفرق بين: (أ) الجهد الكهربائي والمجال الكهربائي. (ب) الجهد الكهربائي وطاقة الوضع الكهربائي.
- إذا سُرّع إلكترون بواسطة فرق جهد مقداره $0.10V$ ، فما مقدار سرعته النهائية إذا سُرّع بواسطة أربعة أضعاف الفولتية السابقة؟ وضح إجابتك.
- هل هناك نقطة ينعدم عندها المجال الكهربائي على امتداد الخط الفاصل بين شحنتين نقطيتين متساويتين؟ أين ينعدم الجهد الكهربائي؟ وضح إجابتك.
- هل يمكن لجسم الانتقال من منطقة جهد منخفض إلى منطقة جهد مرتفع ومع هذا تنخفض طاقة وضعه؟ وضح إجابتك.
- قارن بين الطاقة الحركية المكتسبة بواسطة البروتون ($q = +e$) مع الطاقة المكتسبة لجسيم ألفا ($q = +2e$) المتسارعة بفرق الجهد نفسه.

17 - 1 إلى 17 - 4 الجهد الكهربائي

1. (I) ما مقدار الشغل الذي يبذله المجال الكهربائي عند نقل شحنة سالبة مقدارها $-7.7 \mu C$ من الأرض إلى نقطة جهدها أعلى بمقدار $+55 \text{ V}$ ؟

2. (I) ما مقدار الشغل الذي يبذله المجال الكهربائي عند نقل بروتون من نقطة جهدها $+125 \text{ V}$ إلى نقطة جهدها -55 V ؟ اذكر إجابتك بدلالة الجول والإلكترون فولت.

3. (I) ما مقدار الطاقة الحركية التي سيكتسبها الإلكترون (بدلالة الجول والإلكترون فولت) إذا تم تسريعه خلال فرق جهد مقداره $23,000 \text{ V}$ في أنبوب عرض الصور في تلفاز؟

4. (I) يكتسب إلكترون طاقة حركية مقدارها $7.45 \times 10^{-16} \text{ J}$ عند تسريعه بواسطة مجال كهربائي من لوح أ إلى لوح ب. ما فرق الجهد بين اللوحين؟ وأي اللوحين ذو جهد أعلى؟

5. (I) ما شدة المجال الكهربائي بين لوحين متوازيين يفصل بينهما 5.8 mm إذا كان فرق الجهد بينهما 220 V ؟

6. (I) ما مقدار الفولتية الضروري تطبيقها بين لوحين متوازيين يفصلهما مسافة 11.0 mm للحصول على مجال كهربائي مقداره 640 V/m ؟

7. (I) ما المسافة الفاصلة بين لوحين متوازيين موصولين ببطارية فرق جهدها 45-V . وكان المجال الكهربائي الناتج منها بين اللوحين يساوي 1500 V/m ؟

8. (I) ما فرق الجهد الضروري لإعطاء نواة هيليوم ($Q = 2e$) 65.0 keV من الطاقة الحركية؟

9. (II) يفصل الهواء بين لوحين متوازيين موصولين بمصدر لفرق الجهد 200 V . ما أصغر مسافة فاصلة ممكنة بين اللوحين (ما سمك الهواء) لازمة لعدم وصول الهواء إلى نقطة الانهيار (أي عندما يصبح الهواء موصلًا) علماً بأن أقصى مجال ينهار بعده الهواء هو $E = 3 \times 10^6 \text{ V/m}$ ؟

10. (II) إذا كان الشغل المبذول بواسطة قوة خارجية لنقل شحنة سالبة مقدارها $-8.50 \mu C$ من نقطة أ إلى نقطة ب يساوي $15.0 \times 10^{-4} \text{ J}$. وإذا بدأت الشحنة حركتها من السكون لتصل طاقتها الحركية إلى $4.82 \times 10^{-4} \text{ J}$ عند النقطة ب. فما فرق الجهد بين النقطتين أ و ب؟

11. (II) ما سرعة الإلكترون إذا كانت طاقته الحركية تعادل:

(أ) 750-eV (ب) 3.2-keV

12. (II) ما سرعة البروتون إذا كانت طاقته الحركية تعادل 3.2 keV .

13. (II) ما سرعة جسيم ألفا (وهو عبارة عن نواة هيليوم: $Q = +2e$, $m = 6.64 \times 10^{-27} \text{ kg}$) لحظة انبعائه خلال خلل إشعاعي مع طاقة حركية مقدارها 5.53 MeV ؟

17 - 5 الجهد الناتج من الشحنات النقطية

14. (I) ما الجهد الكهربائي الناتج على بعد 15.0 cm من شحنة نقطية مقدارها $4.00 \mu C$ ؟

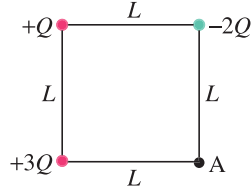
15. (I) ما الشحنة النقطية التي تولد فرق جهد مقداره $+125 \text{ V}$ على بعد 15 cm ؟

16. (II) شحنتان متماثلتان. مقدار كلٍّ منهما $+35 \mu C$ تفصلهما مسافة 32 cm . ما الشغل الضروري لنقل شحنة اختبار مقدارها $+0.50 \mu C$ من منتصف المسافة بينهما إلى نقطة تبعد مسافة 12 cm أقرب إلى أي منهما؟

17. (II) ارسم موصلاً على شكل ملعب كرة قدم، وافترض أن هذا الموصل يحمل شحنة سالبة $-Q$. وارسم 12 خطّ مجال كهربائي وخطّي تساوي جهد.

18. (II) (أ) ما مقدار الجهد الكهربائي على بعد $2.5 \times 10^{-15} \text{ m}$ من بروتون؟ (ب) ما طاقة الوضع الكهربائية للنظام المكون من بروتونين يفصل بينهما $2.5 \times 10^{-15} \text{ m}$ كما يمكن أن يحدث داخل أي نواة؟

19. (II) ما الجهد عند النقطة أ (الزاوية الرابعة في المربع ذي الضلع L) إذا علمت أن ثلاث شحنات وضعت على رؤوس الزوايا الباقية كما في (الشكل 17 - 25)؟ افترض أن $V = 0$ عند مسافة بعيدة جداً.



الشكل 17 - 25
(مسألة 19).

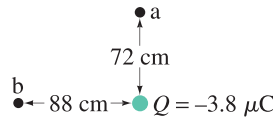
20. (II) يبدأ إلكترون بالحركة من السكون على بعد 32.5 cm من شحنة نقطية ثابتة مقدارها $Q = -0.125 \mu C$. ما سرعة الإلكترون عند ابتعاده كثيراً؟

21. (II) شحنتان نقطيتان متماثلتان $+9.5 \mu C$ تفصلهما - مبدئياً - مسافة 3.5 cm عن بعضهما بعضاً. ما السرعة التي ستتحرك بها كل منهما مبتعدة عن الأخرى إذا تركتا لتتحركا من السكون؟ افترض أن كتلة كلٍّ منهما المتماثلة هي 1.0 mg .

22. (II) وضعت شحنتان نقطيتان $3.0 \mu C$ و $-2.0 \mu C$ على مسافة 5.0 cm من بعضهما بعضاً على المحور السيني (x). ما النقاط على امتداد المحور السيني التي سينعدم عندها: (أ) المجال الكهربائي. (ب) الجهد الكهربائي؟ افترض أن $V = 0$ عند $r = \infty$.

23. (II) ما الشغل اللازم بذله لإحضار ثلاثة إلكترونات من مسافة بعيدة جداً إلى مسافة $1.0 \times 10^{-10} \text{ m}$ من بعضهم بعضاً (عند رؤوس زاوية مثلث متساوي الأضلاع)؟

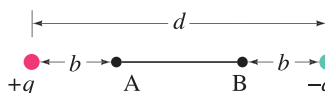
24. (II) افترض أن النقطة أ تبعد مسافة 72 cm إلى الشمال من شحنة نقطية سالبة ($-3.8 \mu C$). وأن النقطة ب تبعد مسافة 88 cm إلى الغرب من الشحنة (شكل 17 - 26). حدد (أ) $V_{ba} = V_b - V_a$ و (ب) $\vec{E}_b - \vec{E}_a$ (قيمة واتجاهاً).



شكل 17 - 26
(مسألة 24).

25. (III) ما مقدار الفولتية الضروري استخدامه لتسريع بروتون (نصف قطره $1.2 \times 10^{-15} \text{ m}$) ليكتسب طاقة حركية كافية لاختراق نواة سيليكون؟ تحتوي نواة السيليكون على شحنة تعادل $+14e$ ونصف قطرها حوالي $3.6 \times 10^{-15} \text{ m}$. افترض أن الجهد لشحنات نقطية.

26. (III) يظهر (الشكل 17 - 27) شحنتين نقطيتين متساويتين بالمقدار ومتعاكستين بالإشارة، يفصل بينهما مسافة d . حدد معادلة لـ $V_{BA} = V_B - V_A$ للنقاط A و B على امتداد الخط الفاصل بين الشحنتين.



الشكل 17 - 27
(مسألة 26).

27. (III) يدور إلكترون حول البروتون (النواة) في مدار دائري نصف قطره $0.53 \times 10^{-10} \text{ m}$ حسب نموذج "بور" لذرة الهيدروجين. (أ) ما الجهد الكهربائي عند مدار الإلكترون الناتج من البروتون؟ (ب) ما الطاقة الحركية للإلكترون؟ (ج) ما طاقة الإلكترون الكلية في مداره؟ (د) ما طاقة التأين؛ أي الطاقة الضرورية لإزالة الإلكترون من الذرة ونقله إلى $r = \infty$ ساكنًا؟ عبّر عن النتائج بدلالة الجول والإلكترون فولت.

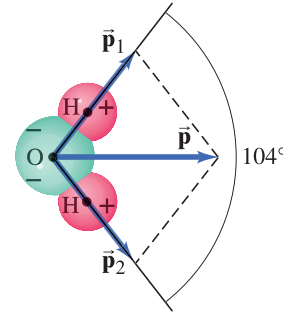
17 - 6 الثناقلي الكهربائي

28* (I) ما عزم الثناقلي لإلكترون وبروتون ساكنين يفصلهما عن بعضهما مسافة $0.53 \times 10^{-10} \text{ m}$ ؟

29* (II) احسب فرق الجهد الناتج من ثناقلي ذي عزم مقداره $4.8 \times 10^{-30} \text{ C}$ عند نقطة تبعد مسافة $1.1 \times 10^{-9} \text{ m}$ إذا كانت هذه النقطة: (أ) على امتداد محور الثناقلي بالقرب من الشحنة الموجبة. (ب) 45° فوق المحور بالقرب من الشحنة الموجبة. (ج) 45° فوق المحور ولكن أقرب إلى الشحنة السالبة.

30* (III) يُشير عزم الثناقلي كمتجه من الشحنة السالبة إلى الشحنة الموجبة. في جزيء الماء كما في (الشكل 17 - 28) حيث له عزم ثناقلي $\vec{P}$ والذي يمكن اعتباره الجمع الاتجاهي لعزمي الثناقلي $\vec{P}_1$ و $\vec{P}_2$ كما هو مبين. والمسافة الفاصلة بين كل من H و O حوالي $0.96 \times 10^{-10} \text{ m}$. حدد الشحنة q على كل ذرة H إذا علمت أن الخطيين اللذين يصلان مركز الذرة O مع كل من ذرتي H يصنعان زاوية مقدارها 104° كما هو مبين. وأن

محصول عزم الثناقلي يساوي $p = 6.1 \times 10^{-30} \text{ C} \cdot \text{m}$.



الشكل 17 - 28
(مسألة 30).

17 - 7 المكثفات

31 (I) يحتفظ لوحا مواسع على $+2500 \mu\text{C}$ و $-2500 \mu\text{C}$ عندما كان فرق الجهد بينهما 850 V . فما سعة المكثف؟

32 (I) ما الفولتية بين طرفي مواسع سعته 9500-pF عندما يحتفظ بشحنة مقدارها (موجب وسالب) $16.5 \times 10^{-8} \text{ C}$ ؟

33 (I) إذا كان فرق الجهد بين جزأين قصيرين من أسلاك متوازية في الهواء 120 V فما سعة السلكيين عندما يحتفظان بشحنة متماثلة بالمقدار (95 pC) ومختلفة بالإشارة؟

34 (I) ما مقدار الشحنة التي تنساب من قطبي بطارية مصنفة 12.0-V عندما يتم وصلها بمواسع سعته $700\text{-}\mu\text{F}$ ؟

35 (I) ما مساحة لوح مواسع سعته 0.20-F إذا كانت المسافة الفاصلة بينهما 2.2-mm من الهواء؟

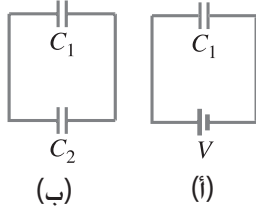
36 (II) ما سعة مواسع عندما تزداد شحنته بمقدار $18 \mu\text{C}$ لزيادة فولتيته من 97 V إلى 121 V .

37 (II) ما الشحنة الضروري وجودها على كل لوح من لوح المكثف إذا كان المجال الكهربائي بين اللوحين المتوازيين هو $8.50 \times 10^5 \text{ V/m}$ ومساحة كل لوح 35.0 cm^2 . ويفصل بينهما طبقة من الهواء سمكها 2.45 mm ؟

38 (II) ما مساحة كل لوح من لوح المكثف إذا كانت قيمة الشحنة على كل لوح $5.2 \mu\text{C}$ والمجال الكهربائي بين اللوحين 2.0 kV/mm ؟

39. (II) ما شدة المجال الكهربائي بين لوح مواسع سعته $0.80\text{-}\mu\text{F}$ سمك طبقة الهواء خلاله تساوي 2.0 mm . وقيمة الشحنة على كل لوح من لوحيه تساوي $72 \mu\text{C}$ ؟

40. (III) تم شحن مواسع سعته $7.7\text{-}\mu\text{F}$ بواسطة بطارية فرق جهدها 125-V (شكل 17 - 29 أ) ثم أبعدت البطارية عنه. وعندما وُصل هذا المكثف (C_1) (شكل 17 - 29 ب) إلى مواسع آخر C_2 غير مشحون مبدئيًا أصبحت الفولتية على كل مواسع هي 15 V . فما قيمة C_2 ؟ [تلميح: الشحنة محفوظة].



شكل 17 - 29
(مسألة 40 و 52).

41. (III) تُشحن مواسعان سعة أحدهما $2.50\text{-}\mu\text{F}$ وسعة الآخر $6.80\text{-}\mu\text{F}$ إلى 857 V و 652 V على التوالي. ثم فصلا عن بطاريتهما. ثم وُصلت أقطابهما الموجبة ببعضها والسالبة ببعضها بعضا. فما فرق الجهد بين طرفي كل منهما؟ وما هي الشحنة عليهما؟ [تلميح: الشحنة محفوظة].

17 - 8 العوازل الكهربائية

42 (I) ما سعة لوحين مربعين متوازيين طول ضلع كلٍّ منهما 5.5 cm . ويفصل بينهما طبقة من البارافين سمكها 1.8 mm ؟

43 (I) ما سعة لوحين دائريين نصف قطر كل منهما 5.0 cm ويفصل بينهما طبقة من "المايكا" سمكها 3.2 mm ؟

44. (II) وُصل مواسع سعته 3500-pF ببطارية فرق جهدها 22-V . ثم ملئ الهواء بين لوحيه بقطعة من "المايكا". فما مقدار الشحنة التي ستتناسب من البطارية؟

45* (II) يعادل المجال الكهربائي بين لوح مواسع وضعت داخله ورقة $8.24 \times 10^4 \text{ V/m}$ ($K = 3.75$). فإذا كانت المسافة الفاصلة بين لوحيه 1.95 mm والشحنة على أحد لوحيه $0.775 \mu\text{C}$. فحدد سعة هذا المكثف ومساحة كل لوح؟

17 - 9 تخزين طاقة كهربائية

46 (I) ما مقدار الطاقة المخزنة الناتجة من تطبيق 650 V على مواسع سعته 2200-pF ؟

47 (I) استخدم جهاز إيقاف إرجاف القلب لصدم قلب ينبض بطريقة مضطربة. ما سعة مواسع هذا الجهاز إذا تم شحنه إلى 5.0 kV . وخرنت عليه طاقة مقدارها 1200 J ؟

48. (II) ما مقدار الطاقة المخزنة في المجال الكهربائي بين لوحين مربعي الشكل إذا كان طول ضلع كل لوح 8.0 cm وسمك طبقة الهواء بينهما 1.5-mm ؟ علماً بأن الشحنة على أحد اللوحين $420 \mu\text{C}$.

49. (II) صُنع مواسع منزلي بوضع وعائي طهي قطر كل منهما 9-in على مسافة 5 cm من بعضهما بعضاً. وإبصالحهما بقطبي بطارية ذات فرق جهد 9-V . قَدِّر: (أ) سعته. (ب) الشحنة على كل لوح (وعاء). (ج) المجال الكهربائي عند منتصف المسافة بين اللوحين. (د) الشغل المبذول بواسطة البطارية لشحن اللوحين (هـ). أي من القيم السابقة سيتغير نتيجة إدخال مادة عازلة كهربائية بين اللوحين؟

50. (II) إذا كانت الشحنتان على مواسع متوازي اللوحين $+Q$ و $-Q$. ثم وضعت المسافة الفاصلة بين لوحيه: (أ) ما معامل تغير الطاقة المخزنة في المجال الكهربائي؟ (ب) ما الشغل الضروري بذله لمضاعفة المسافة الفاصلة بين اللوحين من d إلى $2d$ علماً بأن مساحة كل لوح A ؟

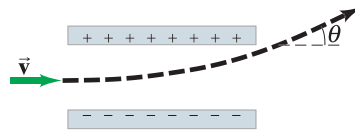
* 17 - 16 أنبوب الأشعة المهبطية

- * 53. (III) تتسارع الإلكترونات أفقياً بواسطة 7.0 kV داخل CRT ومن ثم تمر من خلال مجال كهربائي منتظم E لمسافة 2.8 cm فيعمل على انحرافها نحو الأعلى لتصل إلى أعلى الشاشة على بعد 22 cm جانباً و 11 cm فوق المركز. قَدِّر قيمة E .
- * 54. تُسرَّع إلكترونات بواسطة 6.0 kV داخل CRT. إذا كان عرض الشاشة 30 cm. ما مدى تغير المجال الكهربائي المسبب للانحراف الأفقي لكي تسمح حزمة الإلكترونات عرض الشاشة كاملاً على بعد 34 cm من ألواح انحراف طولها 2.6 cm؟

51. (II) كيف تتغير الطاقة المخزنة في المكثف إذا: (أ) تضاعف فرق الجهد. (ب) تضاعفت الشحنة على كل لوح. في حين لا يزال المكثف موصلاً في البطارية؟
52. (III) شحن مواسع سعته $2.70 \mu\text{F}$ بواسطة بطارية فرق جهدها 12.0-V. فإذا فصلت البطارية بعد ذلك، ثم وُصِّلَ المكثف مع مواسع آخر غير مشحون سعته $4.00 \mu\text{F}$ كما في (الشكل 17 - 29)، فاحسب مقدار الطاقة الكلية المخزنة: (أ) قبل وصل المكثفين ببعضهما. (ب) بعد وصلهما. (ج) ما التغير في الطاقة؟

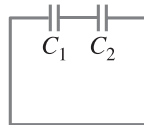
مسائل عامة

63. وضعت شحنتان $3.4 \mu\text{C}$ و $-2.6 \mu\text{C}$ على بعد 1.6 cm من بعضهما بعضاً على امتداد الخط الفاصل بينهما. أين سيختفي: (أ) المجال الكهربائي؟ (ب) الجهد الكهربائي؟
64. مُلئ مواسع سعته 2600-pF بالهواء. وُصِّلَ ببطارية 9.0-V. إذا وضعت قطعة من زجاج البايروكس بين لوحيه. فما مقدار الشحنتان التي ستنسب من البطارية؟
65. سُرَّع إلكترون من السكون أفقياً داخل أنبوب صور تلفاز بواسطة فرق جهد يعادل 5500 V. ثم مرَّ بين لوحين أفقيين طول كل منهما 6.5 cm وبفصلهما مسافة 1.3 cm. إذا كان فرق الجهد بين اللوحين 250 V (شكل 17 - 31) فما الزاوية التي سيصنعها الإلكترون بعد خروجه من بين اللوحين؟



الشكل 17 - 31 (مسألة 65).

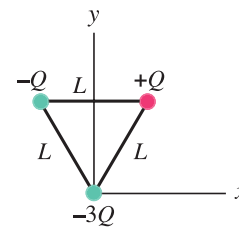
66. يحمل مواسع سعته C_1 شحنة Q_0 . إذا وُصِّلَ مباشرةً إلى مواسع آخر غير مشحون سعته C_2 كما في (الشكل 17 - 32)، فما شحنته عندئذ؟ وما فرق الجهد بين طرفي كل مواسع؟



الشكل 17 - 32 (مسألة 66).

67. لكي تستطيع تخيل مقدار 1-F؛ افترض أن مساحة لوح مواسع مليء بالهواء هي 1.0 cm^2 . احسب مقدار المسافة الضرورية بين اللوحين؟ هل يمكن تحقيق ذلك عملياً؟
68. يشير مجال كهربائي مقداره حوالي 150 V/m نحو الأسفل بالقرب من سطح الأرض. استخدم حفظ الطاقة لتحديد الفرق في سرعة كرتين كتلة كل منهما $m = 0.540 \text{ kg}$ لحظة اصطدامهما بالأرض بعد سقوطهما من ارتفاع 2.00 m إذا كانت شحنة إحداهما $q_1 = 650 \mu\text{C}$ وشحنة الأخرى $q_2 = -650 \mu\text{C}$ ؟

55. يكتسب إلكترون يبدأ من السكون طاقة حركية تساوي 6.3 keV نتيجة حركته من النقطة أ إلى النقطة ب. (أ) ما مقدار الطاقة الحركية التي سيكتسبها الإلكترون عندما يتحرك من السكون عند النقطة ب إلى النقطة أ؟ (ب) حدد النسبة بين السرعتين عند نهاية مسار كل منهما؟
56. ينقل ضوء البرق 4.0 C من الشحنتان و 4.2 MJ من الطاقة إلى الأرض. (أ) ما فرق الجهد المسؤول عن هذه العملية؟ (ب) ما مقدار الماء الممكن تبريده باستخدام هذه الطاقة لو أن درجة حرارة الماء هي درجة حرارة الغرفة نفسها؟
57. ما مقدار الطاقة المخزنة لكل 150 V/m داخل المجال الكهربائي القريب من سطح الأرض؟
58. يتم تسريع الإلكترونات في أنبوب صور تلفاز بواسطة آلاف الفولتات خلال الفراغ. فهل يمكن للإلكترونات التحرك عكس اتجاه الجاذبية الأرضية لو أن الأنبوب وضع على ظهره على الأرض؟ وما فرق الجهد الضروري والمؤثر خلال مسافة 3.0 cm لمعادلة قوة الجاذبية على الأرض؟ وما فرق الجهد الضروري والمؤثر خلال مسافة 3.0 cm لمعادلة قوة الجاذبية نحو الأسفل والذي سيعمل على اتزان الإلكترون وبقائه ثابتاً؟ افترض أن المجال الكهربائي منتظم.
59. يخزن مواسع هائل سعته 4.0-F مقداراً كافياً من الطاقة لتسخين 2.5 kg من الماء من 21°C إلى 95°C . فما فرق الجهد بين لوحيه؟
60. وصل مواسع غير مشحون ببطارية فرق جهدها 24.0-V إلى أن شُحن تماماً ثم فصل عن البطارية. إذا أدخلت قطعة من البارافين بين لوحيه. فما هي الفولتية الناتجة بين اللوحين؟
61. ازدياد المجال الكهربائي من $3.0 \times 10^6 \text{ V/m}$ سيعمل على انهيار الهواء الجاف. ما مقدار الشحنتان التي يمكن وضعها على مواسع متوازي اللوحين إذا كانت مساحة كل لوح 56 cm^2 ؟
62. وضعت ثلاث شحنتات على رؤوس مثلث متساوي الأضلاع (طول ضلعه L) كما هو موضح في (الشكل 17 - 30). حدد الجهد عند منتصف كل ضلع.

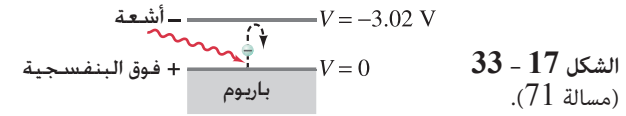


الشكل 17 - 30. (مسألة 62).

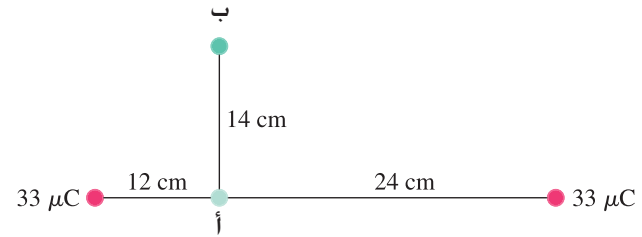
69. يمتلك مصدر قدرة ليزر نيتروجيني نبضي مواسعاً سعته $0.050\text{-}\mu\text{F}$ وفولتيته القصوى 30 kV . (أ) قدر كمية الطاقة الممكن تخزينها في هذا المكثف؟ (ب) ما قدرة الليزر النبضي إذا كان قادراً على تحويل 12% من طاقته الكهربائية المخزنة إلى طاقة ضوئية تستمر لمدة $8.0\mu\text{C}$ ؟

70. يمكن لفرق الجهد خلال العواصف البرقية أن يصل إلى $35,000,000\text{ V}$ بين الأرض وأسفل الغيوم الرعدية على علو 1500 m فوق سطح الأرض وبمساحة 110 km^2 . اعتبر نظام الأرض - الغيم مواسع هائل واحسب: (أ) سعة نظام الأرض - الغيم. (ب) الشحنة المخزنة في "المكثف". (ج) الطاقة المخزنة في "المكثف".

71. يزود الضوء فوق البنفسجي (UV) في الخلية الضوئية بعض الإلكترونات في فلز الباريوم طاقة كافية لتغادر السطح بسرعة عالية. انظر (الشكل 17 - 33). وحساب طاقة الإلكترونات العظمى: تم إضافة لوح آخر فوق سطح الباريوم. وجعل جهده سالباً لكي يبطيء الإلكترونات المنبعثة ويوقفها ومن ثم يرغمها على العودة باتجاه سطح الباريوم. فإذا كان جهد هذا اللوح الإضافي -3.02 V (بالنسبة إلى الباريوم) عندما توقفت أسرع الإلكترونات. فما سرعة هذه الإلكترونات لحظة انبعاثها من سطح الباريوم؟



72. وُضِعَتْ شحنة نقطية مقدارها $+33\mu\text{C}$ على بعد 36 cm من شحنة مائلة مقدارها $+33\mu\text{C}$. ما التغير في طاقة الوضع الناتج من تحريك شحنة مقدارها $-1.5\mu\text{C}$ من النقطة "أ" إلى النقطة "ب" في (الشكل 17 - 34)؟



الشكل 17 - 34 (مسألة 72).

73. صُنع مواسع من قطعتين نقديتين فلزيتين قطري قطر كلٍّ منهما 1.1-cm يفصل بينهما ورقة سمكها 0.15-mm ($K = 3.7$). ما مقدار الشحنة على كل قطعة فلزية بعد وصل المكثف ببطارية فرق جهدها 12-V ؟

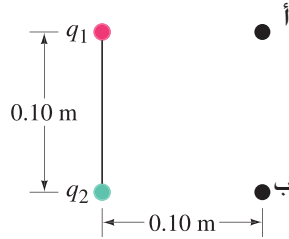
74. وُضِعَتْ شحنة مقدارها $+4.5\mu\text{C}$ على بعد 23 cm على يمين شحنة أخرى مقدارها $-8.2\mu\text{C}$. احسب عند منتصف المسافة بين الشحنتين: (أ) مقدار الجهد. (ب) مقدار المجال الكهربائي؟

75. وُصِّل مواسع متوازي اللوحين مساحة أحد لوحيه 2.0 cm^2 وسمك الهواء الفاصل بينهما 0.50 mm ببطارية 12-V ليشحن تماماً قبل أن تفصل عنه البطارية. (أ) ما هي الشحنة على المكثف. (ب) ما هي الشحنة على المكثف عندما تصبح المسافة بين اللوحين 0.75 mm ؟ (ج) ما فرق الجهد بين اللوحين؟ (د) ما الشغل الضروري لجعل المسافة 0.75 mm بين اللوحين؟

76. شُحن مواسع تماماً بواسطة بطارية فرق جهدها 6.0-V ثم فصلت البطارية عنه. بدأت الشحانات بالتسرب التدريجي من لوح المكثف غير المثالي. احسب مقدار الشحنة الضائعة إذا علمت أن المكثف أصبح غير مشحون في اليوم التالي مباشرة؟

77. ثُبَّتَت شحنتان على بعد 4.0 cm من بعضهما بعضاً. إذا كانت شحنتاهما $Q_1 = Q_2 = 5.0\mu\text{C}$ وكتلة كل منهما $m_1 = 1.5\text{ mg}$ و $m_2 = 2.5\text{ mg}$. (أ) ما سرعة الشحنة Q_1 بعد فترة زمنية كبيرة إذا تركت تتحرك من السكون؟ (ب) ما سرعة الشحنة Q_1 بعد فترة زمنية كبيرة إذا تركت الشحنتان لتتحركا من السكون؟

78. وُضِعَتْ شحنتان كما في (الشكل 17 - 35) حيث $q_1 = 1.5\mu\text{C}$ و $q_2 = -3.3\mu\text{C}$. أوجد فرق الجهد بين النقطتين "أ" و "ب".



الشكل 17 - 35 (مسألة 78).

إجابات التمارين

د: (أ) 3 أضعاف أكبر. (ب) 3 أضعاف أكبر.
هـ: 12 mF .

أ: (أ) $-8.0 \times 10^{-16}\text{ J}$. (ب) $9.8 \times 10^5\text{ m/s}$.
ب: 0.72 J .
ج: $8.3 \times 10^{-9}\text{ C}$.