

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

في
الفيزياء

سلسلة معجزات أينشتاين الخليج

2023

أستاذ رامي عبد الفتاح



شرح + الأسئلة والمسائل

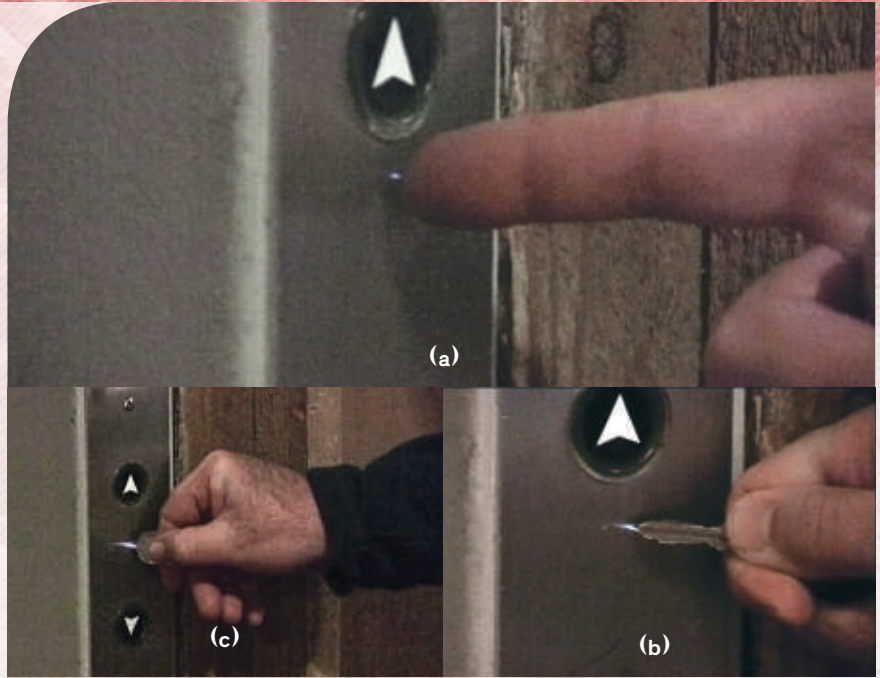


أينشتاين الخليج

القوى الكهروستاتيكية

Electrostatics

2	ما سنتعلمه
2	1.1 الكهرومغناطيسية
3	1.2 الشحنة الكهربائية
4	الشحنة الأولية (الأساسية)
6	مثال 1.1 الشحنة الكلية
	1.3 العوازل والموصلات
	وأشياء الموصلات
6	والموصلات الفائقة التوصيل
7	أشباه الموصلات
7	الموصلات الفائقة التوصيل
7	1.4 الشحن الكهروستاتيكي
10	الشحن الكهربائي بالاحتكاك
	1.5 القوة الكهروستاتيكية -
10	قانون كولوم
11	مبدأ التراكب
	مثال 1.2 القوة الكهروستاتيكية
12	داخل الذرة
13	مثال 1.3 موضع الاتزان
14	مسألة محلولة 1.1 كرات مشحونة
15	مرشّح الترسيب الكهروستاتيكي
	مسألة محلولة 1.2 خرزة
16	على سلك
17	طابعة الليزر
	مسألة محلولة 1.3 أربعة أجسام
17	مشحونة
	1.6 قانون كولوم وقانون نيوتن
19	في الجذب
19	مثال 1.4 القوى بين الإلكترونات
	ما تعلمناه/
20	دليل المذاكرة للاختبار
21	إرشادات حل المسائل
21	أسئلة الاختيار من متعدد
22	أسئلة مفاهيمية
22	تمارين
25	تمارين بمعطيات متعددة



الشكل 1.1 (a) شرارة ناتجة عن الكهرباء الساكنة تحدث بين إصبع شخص وسطح فلزي بالقرب من زر المصعد. (b) و (c) شرارتان شبيهتان تنتجان عندما يمسك الشخص جسماً فلزياً. كمفتاح السيارة أو عملة معدنية، لكنهما ليستا مؤلّتين لأنهما تحدثان بين سطح فلزي وجسم فلزي.

يعتقد كثيرون أن الكهرباء الساكنة تتمثل في تلك الشرارة المزعجة التي يشعر بها الشخص عندما يلمس جسماً فلزياً كمقبض الباب في يوم جاف بعد سيره على سجادة (الشكل 1.1). في الواقع، تضع معظم شركات تصنيع الإلكترونيات لوحات معدنية صغيرة على المعدات بحيث يتفرغ أي شرر من جسم المستخدم في هذه اللوحات حتى لا تتلف أجزاء الجهاز الحساسة. لكن ليست الكهرباء الساكنة هي تلك الشرارة المزعجة التي تحدث أحياناً فحسب؛ بل هي نقطة البداية لأي دراسة للكهرباء والمغناطيسية. هاتان القوتان اللتان غيّرتا المجتمع البشري بشكل جذري مثل أي شيء منذ اكتشاف النار أو العجلة. في هذه الوحدة، سندرس خصائص الشحنة الكهربائية، ونتيج عن الشحنة الكهربائية المتحركة ظاهرة منفصلة تسمى المغناطيسية، وسيتم تناول هذه الظاهرة في الوحدات التالية. لكننا سنتناول في هذه الوحدة الأجسام المشحونة غير المتحركة، ومن هنا يأتي مصطلح القوى الكهروستاتيكية أو الكهرباء الساكنة. إن الجسيمات المشحونة تشكل الذرات والجزيئات التي تتكون منها الأجسام، لذا فكل الأجسام لها شحنة. وغالباً لا نلاحظ تأثيرات الشحنة الكهربائية لأن معظم الأجسام متعادلة كهربائياً. لكن القوى التي تربط بين الذرات وتفصل الأجسام بعضها عن بعض حتى لو كانت متلامسة هي في طبيعتها قوى كهربائية.

5 عصر 1

Academic Year السنة الدراسية	2022/2023
Term المصطلح	1
Subject المادة	Physics فيزياء
Grade الصف	12
Stream المستوى	Advanced المتقدم
Number of Main Questions عدد الأسئلة الأساسية	20
Marks per Main Question الدرجات لكل سؤال أساسي	5
Number of Bonus Questions عدد الأسئلة الإضافية	5
Marks per Bonus Question الدرجات لكل سؤال إضافي	4
Type of All Questions نوع كافة الأسئلة	MCQ اختيار من متعدد
Maximum Overall Grade* الدرجة القصوى الممكنة*	100
Exam Duration مدة الامتحان	120 minutes
Mode of Implementation طريقة التطبيق	SwiftAssess
Calculator الآلة الحاسبة	Allowed مسموحة

Question** السؤال**	Learning Outcome*** نتائج التعلم***	Reference(s) in the Student Book (Arabic / English Version) المراجع في كتاب الطالب (النسخة العربية / الإنجليزية)	
		Example/Exercise مثال/تمرين	Page الصفحة
1	Solve problems related to how charge is conserved Show that charges are quantized Solve problems related to how charge is quantized	EXAMPLE 1.1	4, 5, & 6
2	Distinguish between conductors, nonconductors (insulators), semiconductors, and superconductors	As mentioned in the book	6 & 7
3	Describe the charging of an electroscope by contact and by induction	FIGURE 1.10 FIGURE 1.11	8 & 9
4	Apply Coulomb's law to relate the magnitude of the electrostatic force, the charge magnitudes of the pair if interacting particles, and the separation between them	EXAMPLE 1.2 EXERCISES 1.83 p: 25	10, 11, & 12
5	Apply the relationship between the electric field E and the electric force F and the charge q	As mentioned in the book	27
6	Find for a uniform distribution of charge, the linear charge density X for charge along a line, the surface charge density o for charge on a surface, and the volume	As mentioned in the book	34
7	Solve problems related to a point charge in an electric field	Concept Check 2.5	37
8	Solve problems on electric flux	EXAMPLE 2.5	42 & 43
9	Apply Gauss' law to relate the net flux through a closed surface (real or imaginary) to the net charge enclosed by the surface	As mentioned in the book	43 & 44
10	Apply the relationship between the charge density and the electric field magnitude E and also specify the direction of the field for points near a flat thin, infinite or large, nonconducting/conducting surface with a uniform charge density o	FIGURE 2.34 FIGURE 2.35	47 & 48
11	Solve problems involving a charged particle placed in a region with electric potential difference AV, and apply the law of conservation of energy to relate different energies (or energy differences) existing in the system like change in KE, change in Electric potential energy, and work done by a force	EXAMPLE 3.1	62 & 63
12	Find the electric potential due to a point charge at a distance r from the charge	Concept Check 3.4	70 & 71
13	Relate the component of the electric field along a certain direction Es to the change in the electric potential along that direction (Es = -dV/ds) and use this relation to solve problems	Concept Check 3.7	77
14	Calculate the potential energy of a system of pair of charged particles	As mentioned in the book	79
15	Define capacitance of a capacitor	FIGURE 4.5	89
16	Explain charging of a capacitor in a circuit that contains a battery, uncharged capacitor and a closed switch in terms of charge flow and the potential difference across the capacitor	FIGURE 4.9	90
17	Solve problems on parallel plate capacitor	EXAMPLE 4.1	91, 92
18	Solve problems on capacitors with different circuit configurations (series, parallel, series and parallel)	EXAMPLE 4.2	94, 95, 96, & 97
19	Apply the relationship between the potential energy U stored in a capacitor, the capacitance C or charge q of the capacitor, and the potential difference	As mentioned in the book	97
20	Calculate the capacitance of a capacitor with a dielectric	Concept Check 4.11	101, 102, & 103
21	A learning outcome from the SoW**** نتائج الخطة الفصلية****	Undisclosed غير معلن	Undisclosed غير معلن
22	A learning outcome from the SoW**** نتائج الخطة الفصلية****	Undisclosed غير معلن	Undisclosed غير معلن
23	A learning outcome from the SoW**** نتائج الخطة الفصلية****	Undisclosed غير معلن	Undisclosed غير معلن
24	A learning outcome from the SoW**** نتائج الخطة الفصلية****	Undisclosed غير معلن	Undisclosed غير معلن
25	A learning outcome from the SoW نتائج الخطة الفصلية	Undisclosed غير معلن	Undisclosed غير معلن
*	While the overall number of marks is 120 (20*5=100 for main questions and 5*4=20 for bonus questions), the student's final grade will be out of 100. Example: If a student answers correctly 10 main and 2 bonus questions, (s)he receives a grade of 10*5+2*4=58, while if (s)he answers correctly 19 main and 3 bonus questions, (s)he scores a total of 19*5+3*4=107 which will be reported as 100		
*	مع مجموع العلامات الكاملة هو 120 (100=5*20 من الأسئلة الأساسية و5*4=20 من الأسئلة الإضافية). فإن درجة الطالب (ب) النهائية تحسب من 100. مثال: إذا أجاب(ت) الطالب(ت) بشكل صحيح عن 10 أسئلة أساسية و3 أسئلة إضافية، يتلقى درجة 10*5+2*4=58، بينما إذا أجاب(ت) بشكل صحيح عن 19 أسئلة أساسية و3 أسئلة إضافية (ت) يتلقى مجموع 19*5+3*4=107، والذي سيتم الإبلاغ عنه كـ 100 (الدرجة القصوى الممكنة).		
**	Questions might appear in a different order in the actual exam, and bonus questions will be clearly marked on the system (or on the exam paper in the case of G3 and G4). قد تظهر الأسئلة بترتيب مختلف في الامتحان الفعلي، وسيتم تحديد الأسئلة الإضافية بشكل واضح على النظام (أو على ورقة الامتحان في حالة الصفين G3 وG4).		
***	As it appears in the textbook, LMS, and scheme of work (SoW). كما وردت في كتاب الطالب وLMS والخطة الفصلية.		
****	The 5 bonus questions will target LDs from the SoW. These LDs can be within the ones used for the 20 main questions or any other ones listed in the SoW. الأسئلة الإضافية الخمس تستهدف نواتج تعلم من الخطة الفصلية. هذه النواتج قد تكون من ضمن النواتج المستهدفة عبر الأسئلة الأساسية العشرين أو أي نواتج أخرى متضمنة في الخطة الفصلية.		

الشحنة الكهربائية وحدة قياس C
 $C = A \cdot s$
 الشحنة $q = \frac{Q}{t}$ ← شدة التيار
 الزمن لا

أنواع الشحنة \square سالبة \square موجبة
 مثال الالكترونات مثال البروتونات

التيار = شحنة ÷ زمن $q=0$

انتقال الالكترونات \square هم \square هم
 انتقال الالكترونات \square هم \square هم
 يصبح مشحون بشحنة موجبة
 يصبح مشحون بشحنة سالبة

عملية الشحن انتقال

المشحنات السالبة

(الالكترونات من جسم لآخر)

بينما الشحنة الموجبة لا تنتقل

أي العبارات التالية

صحيح لمروث شرر

\square تنقل الالكترونات

\square الكذاء ← الجسم

مضرباً → اليد

1.2 الشحنة الكهربائية Electric Charge

لنؤمن النظر قليلاً في سبب الشرر الكهربائي الذي نتعرض له أحياناً في يوم جاف إذا لمسنا مقبض باب فلزياً بعد سيرك على سجادة. (أدى الشرر الناتج عن القوة الكهروستاتيكية إلى اشتعال الأبخرة الغازية أيضاً أثناء قيام شخص بملاء خزان السيارة في محطة للوقود. هذه ليست قصة خيالية؛ فقد رصدت كاميرات المراقبة في إحدى محطات الوقود حالات نادرة لذلك). إن العملية التي تسببت في حدوث هذا الشرر تُسمى **الشحن**. وتمثل آلية الشحن في نقل جسيمات سالبة الشحنة. تُسمى **الإلكترونات**، من ذرات مادة السجادة وجزيئاتها إلى نعل حذاءك. يمكن أن تنتقل هذه الشحنة بسهولة عبر جسمك، بما في ذلك يديك. حيث تنتقل الشحنة الكهربائية المتراكمة في مقبض الباب الفلزي، مسببة الشرر.

يوجد نوعان من الشحنة الكهربائية في الطبيعة، هما **الشحنة الموجبة** و**الشحنة السالبة**. وعادة لا تبدو الأشياء الموجودة حولنا مشحونة، بل تكون متعادلة كهربائياً. تحتوي الأجسام المتعادلة على أعداد متساوية تقريباً من الشحنات السالبة والموجبة التي غالباً ما تلغي كل منهما الأخرى. ولا نلاحظ تأثيرات الشحنة الكهربائية إلا عندما تكون الشحنات الموجبة والسالبة غير متوازنة.

إذا قمنا بذلك قضيب زجاجي بقطعة قماش، فإن القضيب يصبح مشحوناً وتكتسب قطعة القماش شحنة مختلفة عن شحنة القضيب. وإذا قمنا بذلك قضيب بلاستيكي بقطعة من الفراء، فإنهما يكتسبان شحنات مختلفة أيضاً. وإذا قُربت قضيبين زجاجيين مشحونين أحدهما إلى الآخر، فإنهما سيتنافران. وبالمثل، إذا قُربت قضيبين بلاستيكيين مشحونين أحدهما إلى الآخر، فسيتنافران أيضاً. بينما سيحدث تجاذب بين قضيب زجاجي مشحون وقضيب بلاستيكي مشحون. وسبب ذلك هو أن القضيبين الزجاجي والبلاستيكي يختلفان في الشحنة. أدت هذه الملاحظات إلى القانون التالي:

قانون الشحنات الكهربائية
 الشحنات المتماثلة تتنافر والشحنات المختلفة تتجاذب.
 من يفقد $+$ إلى يكتب $-$

فيكل وزاري

عدد لك ساعة من البلاستيك مع قطعة فراء فإن الالكترونات تنقل من الفراء إلى البلاستيك \square بينما عند ذلك ساعة من الزجاج مع قطعة صر لم تنقل الالكترونات من الزجاج إلى السيريك عند تقريبهما من البلاستيك كل هم صر لا مستبد
 صر $+$ زجاج $+$ سيريك $-$
 صر $+$ زجاج $+$ سيريك $-$
 صر $+$ زجاج $+$ سيريك $-$

خصائص الشحنة الكهربائية

* قانون الشحنات الكهربائية

* قانون حفظ الشحنة

* الشحنة كمّية

إذا فقد جسم متعادل

إلكترونات يصبح +

إذا اكتسب جسم متعادل

إلكترونات يصبح -

الشحنة الأولية - الأمانة رمز e
هي أصغر قيمة لشحنة كهربائية توجد
مستقلة مقدارها $1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ ومقدار
شحنة الكبريت أحد مقدار شحنة برنوسم وزارياً

تُسمى وحدة الشحنة الكهربائية الكولوم (C). نسبة إلى عالم الفيزياء الفرنسي شارل أوغستان دي كولوم (1736-1806). وتُعرّف وحدة الكولوم بدلالة وحدة التيار في النظام الدولي للوحدات، وهي وحدة الأمبير (A). نسبة إلى فيزيائي فرنسي آخر وهو أندريه ماري أمبير (1775-1836). ولا يمكن اشتقاق الأمبير أو الكولوم بدلالة وحدات النظام الدولي الأخرى: المتر والكيلوجرام والثانية. فالأمبير وحدة أساسية أخرى في النظام الدولي للوحدات. لهذا السبب، يُسمى النظام الدولي للوحدات أحياناً بنظام MKSA. فهذا الاسم مأخوذ من الأحرف الأولى من أسماء الوحدات الأساسية الأربع وهي: meter, kilogram, second, ampere. وتُعرّف وحدة الشحنة كالتالي:

$$(1.1) \quad 1 \text{ C} = 1 \text{ A s}$$

سنتطرق إلى تعريف الأمبير عند مناقشة التيار في وحدات لاحقة. لكن يمكننا تعريف مقدار الكولوم ببساطة عن طريق تحديد شحنة إلكترون واحد:

$$(1.2) \quad q_e = -e$$

$$q_p = +e$$

حيث q_e الشحنة، وقيمة e (أفضل قيمة مقبولة حالياً قيست بالتجربة) هي

$$(1.3) \quad e = 1.602176565(35) \times 10^{-19} \text{ C}$$

(عادة ما يكفي استخدام أول رقمين إلى أربعة أرقام معنوية من الجزء العشري. سنستخدم القيمة 1.602 في هذه الوحدة، لكن تذكر أن المعادلة 1.3 توضح القيمة الدقيقة التي قيست بها هذه الشحنة). إنّ شحنة الإلكترون خاصة داخلية له، تماماً ككتلته. وشحنة البروتون، جسيم أساسي آخر في الذرة، مماثلة لمقدار شحنة الإلكترون، غير أن شحنة البروتون موجبة:

$$(1.4) \quad q_p = +e$$

إن تحديد أي الشحنتين موجبة وأيهما سالبة أمرٌ اختياري. والتحديد الاصطلاحي $q_e < 0$ و $q_p > 0$ يرجع إلى السياسي والعالم والاختراع الأمريكي بنيامين فرانكلين (1706-1790) صاحب الريادة في دراسات الكهرباء.

إنّ الكولوم الواحد هو وحدة شحنة كبيرة للغاية. وسنرى لاحقاً في هذه الوحدة مدى حجمه عندما نتحقق من مقدار القوى التي تبذلها الشحنات بعضها على بعض. كما أن الوحدات μC (الميكرو كولوم، 10^{-6} C) و nC (النانو كولوم، 10^{-9} C) و pC (البيكو كولوم، 10^{-12} C) وحدات شائعة الاستخدام. اقترح بنيامين فرانكلين أيضاً أن الشحنة محفوظة. فهي لا تفنى ولا تُستحدث، بل تنتقل من جسم إلى آخر.

مراجعة المفاهيم 1.1

كم عدد الإلكترونات اللازمة لإنتاج شحنة مقدارها 1.00 C ؟	(a) 1.60×10^{19}	(b) 6.60×10^{19}	(c) 3.20×10^{16}
	$6.24 \times 10^{18} \text{ (d)}$	$6.66 \times 10^{17} \text{ (e)}$	
		$n = \frac{1.01}{e}$	

قانون حفظ الشحنة

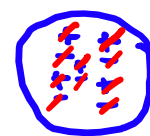
الكمية الكلية للشحنة الكهربائية في نظام مغلق لا تتغير.

* ألف الشحنة محفوظة فهي لا تفنى ولا تستحدث بل تنقل

هذا القانون هو رابع قانون للحفظ يتعرض له حتى الآن، أما القوانين الثلاثة الأولى فهي خاصة بحفظ الطاقة الكلية وكمية الحركة وكمية الحركة الزاوية. تمثّل قوانين الحفظ رابطاً مشتركاً بين كل جوانب الفيزياء، ومن ثمّ بين كل دروس هذا الكتاب أيضاً. من المهم أن نلاحظ أنه يوجد قانون حفظ للشحنة، لكن ليس للكتلة. الكتلة والطاقة ليستا مستقلتين إحداهما عن الأخرى. وما يوصف أحياناً في الكيمياء التمهيدية بحفظ الكتلة ليس قانون حفظ دقيقاً، لكنه مجرد تقريب يُستخدم لحساب عدد الذرات في التفاعلات الكيميائية. (فهو تقريب جيد لعدد الأرقام المعنوية الكبير، لكنه ليس قانوناً دقيقاً كقانون حفظ الشحنة). ينطبق حفظ الشحنة على كل الأنظمة، بدءاً من النظام المجري للفضاء البلاستيكي والغراء وحتى أنظمة الجسيمات دون الذرية.

الشحنة الأولية (الأساسية)

تكون الشحنة الكهربائية مضاعفات صحيحة فقط لأقل كمية شحنة. ونعبّر عن ذلك بقولنا إن الشحنة كمّية. إنّ أصغر وحدة شحنة كهربائية يمكن ملاحظتها هي شحنة الإلكترون، وتساوي $1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ (كما تحدّدها المعادلة 1.3).



سؤال وزارة 2017

متعادل لأنه عدد (+) = عدد (-)

لا فر من صم

شحنة أي هم (q) تاوي مضاعفات صحيحة للشحنة الأولية

عدد صحيح موجب يمثل عدد الإلكترونات المفقودة أو المكتسبة

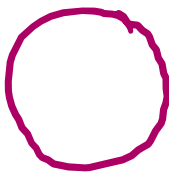
الشحنة كمّية
عدد كلّي للإلكترونات N_p
عدد كلّي للإلكترونات N_e

$$n = \frac{1.01}{e}$$

$$q = (N_p - N_e)e$$

جسم فقط 50 إلكترون

جسم اكتب 50 إلكترون



برقته 1000
 $q = (1000 - 1050)e = -50 \times 1.602 \times 10^{-19} C$

$q = (1000 - 950) \times 1.602 \times 10^{-19} C = 50 \times 1.602 \times 10^{-19} C$

لأن كل الأجسام الجهرية تتكون من الذرات. والذرات مكوّنة في الأساس من إلكترونات ونواة ذرية تحتوي على بروتونات ونيوترونات. فإنه يمكن التعبير عن الشحنة، q . لأي جسم بدلالة مجموع عدد البروتونات، N_p . ناقص مجموع عدد الإلكترونات، N_e . التي يتكوّن منها الجسم:

(1.5) $q = e(N_p - N_e)$

$q = +50 \times 1.602 \times 10^{-19} C$

عدد كلى للإلكترونات
 عدد الإلكترونات الموجبة
 $\frac{n}{N_e}$

مثال 1.1 الشحنة الكلية

المسألة إذا أردنا أن يكتسب قالب حديدي كتلته 3.25 kg شحنة موجبة مقدارها 0.100 C فما نسبة الإلكترونات التي سنحتاج إلى نزعها؟

عدد الإلكترونات المنزوعة
 $\frac{n}{N_e}$
 العدد الكلي للإلكترونات

$NA = 6.022 \times 10^{23}$ عدد أفادرو



$n = \frac{100}{1.602 \times 10^{-19}} = 6.25 \times 10^{17}$

$N_e = 9.08 \times 10^{26}$

$\frac{n}{N_e} = 6.87 \times 10^{-10}$

$n = \frac{100}{e}$

حفظ مهم $N_e = \frac{Z \cdot m \cdot NA}{A \times 10^3}$

أي العبارات التالية صحيح أو أي العبارات التالية خطأ
 تنقسم المواد من حيث التوصيل الكهربائي إلى

1.3 العوازل والموصلات وأشباه الموصلات والموصلات الفائقة التوصيل Insulators, Conductors, Semiconductors, and Superconductors

تُسمى المواد جيدة التوصيل للكهرباء **موصلات** وتُسمى المواد **عديمة التوصيل للكهرباء** عوازل. (بالطبع توجد موصلات جيدة وردنية وعوازل جيدة وردنية. وفقاً لخصائص كل نوع من المواد.) يشير التركيب الإلكتروني للمادة إلى طريقة ارتباط الإلكترونات بالنواة. وسنناقش ذلك في وحدات لاحقة. لكن ما يعيننا الآن هو الميل النسبي لذرات المادة إلى كسب الإلكترونات أو فقدها. بالنسبة إلى العوازل، لا تكون الإلكترونات حرة الحركة بسبب الارتباط القوي بين إلكترونات المادة وذراتها الذي يمنع هروب الإلكترونات من الذرات لتتحرك بحرية خلال المادة. حتى عند إضافة شحنة خارجية إلى المادة العازلة، لا تتحرك هذه الشحنة الخارجية بشكل ملحوظ. ومن الأمثلة النموذجية للمواد العازلة الزجاج والبلاستيك والقماش.

على النقيض من ذلك، تتميز المواد الموصلة بتركيب إلكتروني يسمح لبعض الإلكترونات بحرية الحركة خلالها. بينما لا تتحرك الشحنات الموجبة لذرات المادة الموصلة لأنها تتركز في النوى الثقيلة. وتُعد المعادن من الأمثلة النموذجية للموصلات الصلبة. فالححاس، على سبيل المثال، موصل جيد يُستخدم في صناعة الأسلاك الكهربائية.

سؤال الاختبار الذاتي 1.1

اكتب شحنة الجسيمات الأولية أو الذرات التالية بدلالة الشحنة الأساسية $e = 1.602 \times 10^{-19} C$

- (a) بروتون $+e$
- (b) نيوترون
- (c) ذرة هيليوم (بروتونان ونيوترونان والإلكترونات) $+2e$
- (d) ذرة هيدروجين (بروتون واحد والإلكترون واحد) $-e$
- (g) إلكترون $-e$
- (h) جسيم ألفا (بروتونان ونيوترونان) $+2e$

1.4 مطلوب كميّات

$-2e$	a
$-3e + e = -2e$	b
$-5e + 5e = 0$	c
$-3e$	d
$-e$	e

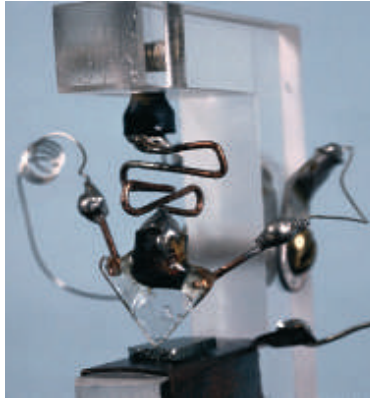
فرض $N=15$ $N=10$
 $-10e + 7e = -3e$
 $-15e + 12e = -3e$

يمكن أن تعمل المواع والأنسجة العضوية كموصلات أيضًا. ولا يكون الماء المقطر النقي موصلًا جيدًا. لكن إذابة مادة معينة، مثل ملح الطعام الشائع (NaCl)، في المياه يحسن من قدرة المياه على توصيل الكهرباء بدرجة كبيرة لأن أيونات الصوديوم موجبة الشحنة (Na^+) وأيونات الكلور سالبة الشحنة (Cl^-) تكون قادرة على الحركة في المياه وتوصيل الكهرباء. وعلى عكس المواد الصلبة، تكون ناقلات الشحنات الموجبة والسالبة في المواع قادرة على الحركة. أما النسيج العضوي فليس موصلًا جيدًا، لكنه يوصل الكهرباء بما يكفي لجعل التيارات الكبيرة خطيرة علينا.

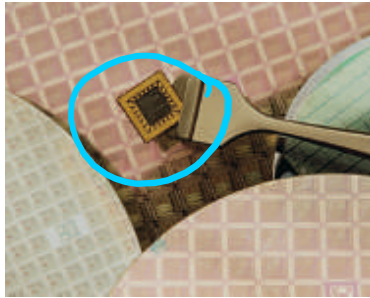
أشباه الموصلات

توجد فئة من المواد، تُسمى **أشباه الموصلات**، يمكن أن تتغير من عازلة إلى موصلة ثم إلى عازلة مرة أخرى. على الرغم من أشباه الموصلات لم تُكتشف إلا منذ أكثر من خمسين عامًا بغترة قصيرة، فإنها تُعد أساس كل صناعات الكمبيوتر والإلكترونيات الاستهلاكية. وأول استخدام واسع النطاق لأشباه الموصلات كان في أجهزة الترانزستور (الشكل 1.7a)؛ وتقوم شرائح أجهزة الكمبيوتر الحديثة (الشكل 1.7b) بوظائف الملايين من أجهزة الترانزستور. في الواقع، لولا اكتشاف أشباه الموصلات، لاستحالت صناعة أجهزة الكمبيوتر وكل منتجات الإلكترونيات الاستهلاكية وأجهزتها الحديثة (مثل التلفاز والكاميرات ومشغلات ألعاب الفيديو والهواتف الخلوية وغيرها). وقد صرح غوردن مور، المؤسس المشارك لشركة إنتل، أنه بفضل التكنولوجيا المتقدمة، يتضاعف متوسط قوة وحدة المعالجة المركزية لأجهزة الكمبيوتر كل 18 شهرًا، وهو متوسط تجريبي على مدار الخمسة عقود الماضية. تُعرف ظاهرة التضاعف هذه باسم **قانون مور**. وقد كان علماء الفيزياء وسيظلون بلا شك القوة المحركة والدافعة لهذه المسيرة من الاكتشافات والاختراعات والتحسينات العلمية.

يوجد نوعان من أشباه الموصلات: **نقية وغير نقية**. ومن أمثلة أشباه الموصلات النقية البلورات النقية كيميائيًا لزرنيخ الجاليوم، أو الجرمانيوم، أو السيليكون على وجه الخصوص. ويصنع المهندسون أشباه الموصلات غير النقية عن طريق التطعيم، وهو إضافة كميات دقيقة عادة ما تكون بنسبة 1 لكل 10 مليون، من المواد الأخرى التي يمكن أن تعمل كمناحيت إلكترونيات أو مستقبلات إلكترونيات. تُسمى أشباه الموصلات المطعمة بمناحيت الإلكترونات النوع n (حيث يشير n إلى الشحنة "negative"، أي السالبة). وإذا كانت مادة التطعيم تعمل كمستقبل للإلكترونات، فإن الفجوة التي يتركها الإلكترون بعد ارتباطه بالمستقبل يمكن أن تنتقل أيضًا عبر شبه الموصل لتعمل كناقل فعال للشحنة الموجبة. لذا تُسمى أشباه الموصلات هذه النوع p (حيث يشير p إلى الشحنة "positive"، أي الموجبة). لذا على عكس الموصلات الصلبة العادية التي لا تتحرك فيها إلا الشحنات السالبة، تتحرك في أشباه الموصلات كل من الشحنات السالبة والشحنات الموجبة (التي هي فجوات تتركها الإلكترونات المفقودة).



(a)



(b)

الشكل 1.7 (a) نسخة طبق الأصل من جهاز الترانزستور الأول الذي اخترعه جون باردين ووالتر براين وويليام شوكللي عام 1947. (b) شرائح أجهزة الكمبيوتر الحديثة المصنوعة من رقائق السيليكون تحتوي على عشرات الملايين من أجهزة الترانزستور.

تكونه لتتدربها من الحرارة
أمتفقتة هذا.

الموصلات الفائقة التوصيل $R=0$

الموصلات الفائقة التوصيل هي مواد مقاومتها لتوصيل الكهرباء صفر، على عكس الموصلات العادية التي يحدث فيها فقد قليل من الطاقة على الرغم من كونها جيدة التوصيل. ولا تكون المواد فائقة التوصيل فعليًا إلا عند درجات حرارة منخفضة جدًا. ومن نماذج الموصلات فائقة التوصيل سبيكة **التنوبيوم والتيتانيوم** التي يجب المحافظة عليها عند درجة حرارة قريبة من درجة حرارة الهليوم السائل (4.2 K). تحتفظ بخصائص المواد الفائقة التوصيل. خلال العشرين سنة الماضية، تم تطوير مواد جديدة تُسمى **high- T_c superconductors**. أو الموصلات الفائقة التوصيل عالية الحرارة (حيث يشير الرمز T_c إلى "درجة الحرارة الحرجة") وهي أعلى درجة حرارة تسمح بالموصلية الفائقة) تكون هذه المواد فائقة التوصيل عند درجة حرارة النيتروجين السائل (77.3 K). لكن حتى الآن، لم تُكتشف مواد فائقة التوصيل عند درجة حرارة الغرفة (300 K) ولو اكتُشفت لكأنت مفيدة للغاية. وجرى حاليًا أبحاث تستهدف تطوير مثل هذه المواد ووضع تفسير نظري للظواهر الفيزيائية التي تؤدي إلى الموصلية الفائقة عند درجة الحرارة العالية.

$R=0$ لا يوجد فيع فقد الطاقة
مفر $-195.7^\circ C$

أشباه الموصلات

المواد الموصلة تتحرك الشحنات سالبة فقط
أما أشباه الموصلات فانه كل من الشحنات السالبة والموجبة تتحرك

Bounce

بومف

$-268.95^\circ C$

$-OK$

الشكل 1.12 تسلسل الشحن الكهربائي لبعض المواد الشائعة.

1.5 القوة الكهروستاتيكية – قانون كولوم Electrostatic Force—Coulomb's Law

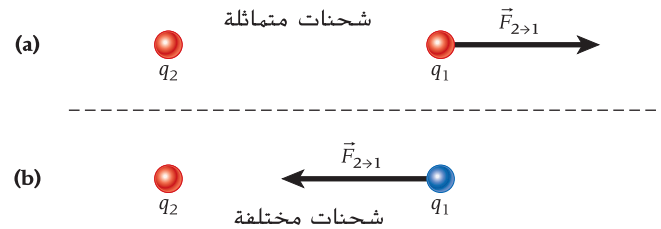
إنّ قانون الشحنات الكهربائية دليل على وجود قوة بين أي شحنتين ساكنتين. وقد أظهرت التجارب أنه إذا بذلت الشحنة q_2 قوة كهروستاتيكية على الشحنة q_1 ، فإن القوة المبدولة على الشحنة q_1 تكون في اتجاه الشحنة q_2 إذا كانت الشحنتان مختلفتين، بينما ستكون بعيدا من الشحنة q_2 إذا كانت الشحنتان متماثلتين (الشكل 1.13). ويكون تأثير هذه القوة التي تؤثر بها شحنة على أخرى على امتداد الخط بين هاتين الشحنتين. يحدّد **قانون كولوم** مقدار هذه القوة كما يلي

$$(1.6) \quad F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

حيث q_1 و q_2 شحنتان كهربائيتان، و $r = |\vec{r}_1 - \vec{r}_2|$ هي المسافة بينهما، و

$$(1.7) \quad k = 8.99 \times 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2}$$

هو **ثابت كولوم**. نلاحظ أن الكولوم الواحد يعادل شحنة كبيرة جدًا. فإذا كانت المسافة بين شحنتين مقدار كل منهما 1 C هي 1 m، فإن مقدار القوة التي ستبذلها كل منهما على الأخرى سيساوي 8.99 مليارات نيوتن. وعلى سبيل المقارنة، تساوي هذه القوة وزن 450 مكوكًا فضائيًا مكتمل الحمولة!

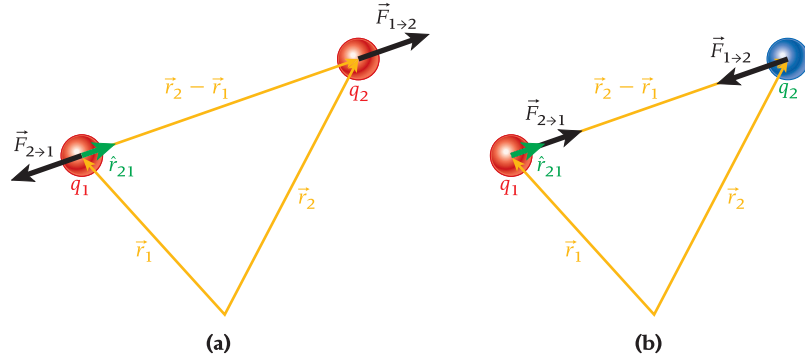


الشكل 1.13 القوة التي تبذلها الشحنة 2 على الشحنة 1: (a) شحنتان متماثلتان؛ (b) شحنتان مختلفتان.

تمثّل العلاقة بين ثابت كولوم وثابت آخر، ϵ_0 ، يُسمى **السماحية الكهربائية للحيز المطلق** بالمعادلة

$$(1.8) \quad k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

الشكل 1.14 تمثيل متجهات القوى الكهروستاتيكية التي تؤثر بها شحنتان إحداهما على الأخرى: (a) شحنتان متماثلتان؛ (b) شحنتان مختلفتان.



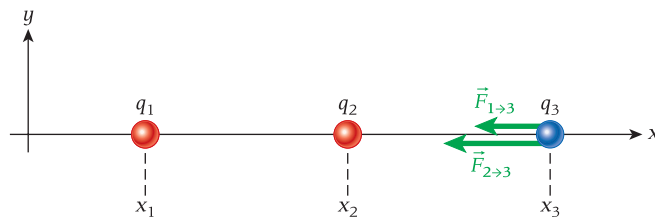
لذا فإن قيمة الثابت ϵ_0 هي

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{N m^2}$$

مبدأ التراكب

درسنا في هذه الوحدة حتى الآن القوة بين شحنتين. لنفكر الآن في الشحنتان النقطية الثلاث، q_1 و q_2 و q_3 ، عند المواقع x_1 و x_2 و x_3 على التوالي، كما يوضح في الشكل 1.15. نحصل على القوة التي تبذلها الشحنة 1 على الشحنة 3، $\vec{F}_{1 \rightarrow 3}$ ، من خلال المعادلة

$$\vec{F}_{1 \rightarrow 3} = - \frac{kq_1q_3}{(x_3 - x_1)^2} \hat{x}$$



الشكل 1.15 القوتان اللتان تبذلها الشحنتان 1 و 2 على الشحنة 3.

ونحصل على القوة التي تبذلها الشحنة 2 على الشحنة 3 من خلال المعادلة

$$\vec{F}_{2 \rightarrow 3} = -\frac{kq_2q_3}{(x_3 - x_2)^2} \hat{x}$$

إن القوة التي تبذلها الشحنة 1 على الشحنة 3 لا تتأثر بوجود الشحنة 2. والقوة التي تبذلها الشحنة 2 على الشحنة 3 لا تتأثر بوجود الشحنة 1. بالإضافة إلى أن القوتين اللتين تبذلهما الشحنة 1 والشحنة 2 على الشحنة 3 جُمعان في صورة كميتين متجهتين لتعطيان القوة المحصلة التي تؤثر في الشحنة 3:

$$\vec{F}_{\text{المحصلة} \rightarrow 3} = \vec{F}_{1 \rightarrow 3} + \vec{F}_{2 \rightarrow 3}$$

بشكل عام، يمكننا التعبير عن القوة الكهروستاتيكية، $\vec{F}(\vec{r})$ ، التي تؤثر في الشحنة q الموجودة عند الموقع \vec{r} والناجئة عن مجموعة الشحنات، q_i ، الموجودة عند المواقع \vec{r}_i كما يلي:

$$(1.12) \quad \vec{F}(\vec{r}) = kq \sum_{i=1}^n q_i \frac{\vec{r}_i - \vec{r}}{|\vec{r}_i - \vec{r}|^3}$$

نحصل على هذه النتيجة باستخدام تراكب القوى والمعادلة 1.11 لكل تفاعل بين شحنتين.

القوة الكهروستاتيكية داخل الذرة

مثال 1.2

المسألة 1

ما مقدار القوة الكهروستاتيكية المبدولة بين البروتونين داخل نواة ذرة الهليوم؟

الحل 1

يرتبط البروتونان بالنيوترونين داخل نواة ذرة الهليوم بفعل القوة الشديدة؛ بينما يتباعد البروتونان أحدهما عن الآخر بسبب القوة الكهروستاتيكية المبدولة بينهما. وشحنة كل بروتون هي $q_p = +e$. كما تفصل بين البروتونين مسافة مقدارها $r = 2 \times 10^{-15} \text{ m}$ تقريبًا. لذا يمكننا إيجاد القوة باستخدام قانون كولوم كما يلي:

$$F = k \frac{|q_p q_p|}{r^2} = \left(8.99 \times 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2} \right) \frac{(+1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(+1.6 \times 10^{-19} \text{ C})}{(2 \times 10^{-15} \text{ m})^2} = 58 \text{ N}$$

إذًا، مقدار القوة التي تباعد بين البروتونين في نواة ذرة الهليوم هو 58 N (ما يعادل وزن قط كامل النمو تقريبًا). وإذا تأملنا في حجم النواة، فنسجد أن هذه القوة هائلة جدًا. فلماذا لا تنفجر نواة الذرة إذًا؟ الإجابة هي أنه توجد قوة أكبر تحافظ على تماسك الذرة استحوذت أن نسميها بالقوة الشديدة.

المسألة 2

ما مقدار القوة الكهروستاتيكية بين نواة الذهب وإلكترون نواة الذهب الموجود في مدار نصف قطره $4.88 \times 10^{-12} \text{ m}$ ؟

الحل 2

الإلكترون سالب الشحنة ونواة الذهب موجبة الشحنة يجذب كل منهما الآخر بقوة مقدارها

$$F = k \frac{|q_e q_N|}{r^2}$$

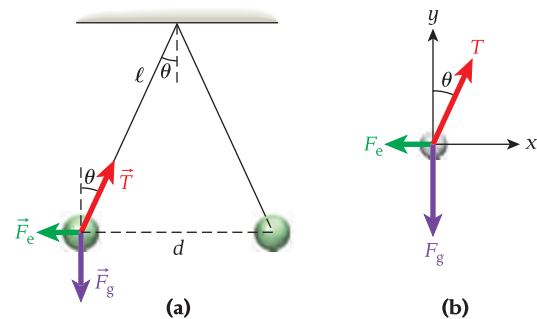
حيث إن شحنة الإلكترون هي $q_e = -e$ وشحنة نواة الذهب هي $q_N = +79e$. لذا فإن القوة المبدولة بين الإلكترون والنواة هي

$$F = k \frac{|q_e q_N|}{r^2} = \left(8.99 \times 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2} \right) \frac{(1.60 \times 10^{-19} \text{ C})[(79)(1.60 \times 10^{-19} \text{ C})]}{(4.88 \times 10^{-12} \text{ m})^2} = 7.63 \times 10^{-4} \text{ N}$$

إذًا، مقدار القوة الكهروستاتيكية التي تبذلها النواة على الإلكترون في ذرة الذهب أقل بنحو 100000 ضعف من مقدار القوة المبدولة بين البروتونات داخل النواة.

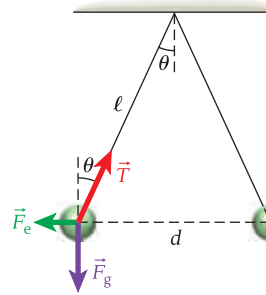
المسألة

كرتان متماثلتان مشحونتان تتدليان من السقف بحبلين عازلين متساويين في الطول. $\ell = 1.50 \text{ m}$ (الشكل 1.17). وشُحنت كل كرة بشحنة مقدارها $q = 25.0 \mu\text{C}$. ثم أصبحت الكرتان المتدليتان في وضع السكون. وُضِع كل حبل زاوية مقدارها 25.0° مع المستوى الرأسى (الشكل 1.17a). ما كتلة كل من الكرتين؟



الشكل 1.17 (a) كرتان مشحونتان تتدليان من السقف في موضع اتزان. (b) مخطط الجسم الحر للكرة المشحونة.

a



1.83 كرتان كتلة كل منهما 0.9680 kg وشحنة كل منهما $29.59 \mu\text{C}$ وتتدليان من السقف بخيطين لهما الطول ℓ نفسه، كما هو موضح في الشكل. (a) إذا كانت الزاوية التي يصنعها الخيطان مع المستوى الرأسي 29.79° ، فما طول الخيطين؟

1.84 كرتان متماثلتان في الكتلة، وشحنة كل منهما $15.71 \mu\text{C}$ وتتدليان من السقف بخيطين لهما الطول $\ell = 1.223 \text{ m}$ نفسه، كما هو موضح في الشكل. والزاوية التي يصنعها الخيطان مع المستوى الرأسي تساوي 21.07° ، ما كتلة كل من الكرتين؟

1.85 كرتان كتلة كل منهما 0.9935 kg ، ومتماثلتان في الشحنة. وتتدليان من السقف بخيطين لهما الطول $\ell = 1.235 \text{ m}$ نفسه، كما هو موضح في الشكل. والزاوية التي يصنعها الخيطان مع المستوى الرأسي تساوي 22.35° ، ما شحنة كل من الكرتين؟

- ينص قانون جاوس على أن التدفق الكهربائي عبر سطح مغلق يتناسب طردياً مع مجموع الشحنة الكهربائية المحاطة بهذا السطح. ويوفر هذا القانون طرفاً بسيطاً لحل مسائل المجال الكهربائي التي تبدو معقدة.
- المجال الكهربائي في موصل يساوي صفراً.
- مقدار المجال الكهربائي الناتج عن سلك طويل لانتهائي منتظم الشحنة يتناسب عكسياً مع المسافة العمودية من السلك.
- المجال الكهربائي الناتج عن لوح شحنة لانتهائي لا يعتمد على المسافة من اللوح.
- يتماثل المجال الكهربائي خارج توزيع كروي للشحنة مع المجال الناتج عن شحنة نقطية لها الشحنة الكلية نفسها مجتمعة في مركز هذه الكرة.

- يمثل المجال الكهربائي القوة الكهربائية عند نقاط مختلفة في الفراغ.
- تمثل خطوط المجال الكهربائي متجهات محصلة القوى المبدولة على وحدة شحنة كهربائية موجبة. وتبدأ من الشحنات الموجبة وتنتهي في الشحنات السالبة.
- ينتشر المجال الكهربائي لشحنة نقطية في شكل خطوط شعاعية، وهو يتناسب طردياً مع الشحنة، وعكسياً مع مربع المسافة من الشحنة.
- التدفق الكهربائي هو ناتج ضرب مساحة السطح في مركبة المجال الكهربائي العمودية على هذا السطح.

2.1 تعريف المجال الكهربائي Definition of an Electric Field

في الوحدة 1، ناقشنا القوة بين شحنتين نقطيتين أو أكثر. فعند إيجاد محصلة القوى التي تبذلها شحنات أخرى على شحنة معينة عند نقطة ما في الفراغ، نحصل على اتجاهات مختلفة لهذه القوى.

إن التعامل مع حالة كهذه يستلزم مفهوم **المجال**، الذي يمكن استخدامه لوصف قوى معينة. يُعرف **المجال الكهربائي**، $E(r)$ ، عند أي نقطة في الفراغ موقعها \vec{r} بأنه محصلة القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة مقسومة على مقدار هذه الشحنة:

$$(2.1) \quad \vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}(\vec{r})}{q}$$

إن وحدات المجال الكهربائي هي النيوتن لكل كولوم (N/C). ويلغي هذا التعريف البسيط الاعتماد المعقد للقوة الكهربائية على الشحنة المعينة التي يتم استخدامها لقياس القوة. حيث يمكننا إيجاد محصلة القوى المؤثرة في أي شحنة بسهولة باستخدام المعادلة $\vec{F}(\vec{r}) = q\vec{E}(\vec{r})$ التي ما هي إلا تغيير بسيط في ترتيب المعادلة 2.1.

تكون القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة عند نقطة معينة باتجاه (أو بعيداً عن الشحنة، حسب إشارة الشحنة) شدة المجال الكهربائي عند هذه النقطة ويتناسب طردياً مع مقدار الشحنة. ونحصل على مقدار القوة من خلال المعادلة $F = |q|E$. حيث يكون اتجاه القوة المؤثرة في شحنة موجبة في اتجاه $\vec{E}(\vec{r})$ ويكون اتجاه القوة المؤثرة في شحنة سالبة في الاتجاه المعاكس لـ $\vec{E}(\vec{r})$.

في حالة وجود مصادر متعددة للمجالات الكهربائية في الوقت نفسه، مثل الشحنات النقطية المتعددة، يتم إيجاد المجال الكهربائي عند أي نقطة محددة من خلال تراكم المجالات الكهربائية الناتجة من كل المصادر. وهذا التراكم ينشأ مباشرة عن تراكم القوى الذي مهّدتنا له في دراستنا للميكانيكا وناقشناه في الوحدة 1 التي تتناول القوى الكهروستاتيكية. نعبر عن **مبدأ التراكم** للمجال الكهربائي الكلي، \vec{E}_t ، عند أي نقطة في الفراغ موقعها \vec{r} ، والناتج عن n من مصادر المجال الكهربائي بالمعادلة التالية

$$(2.2) \quad \vec{E}_t(\vec{r}) = \vec{E}_1(\vec{r}) + \vec{E}_2(\vec{r}) + \dots + \vec{E}_n(\vec{r})$$

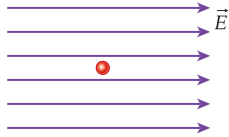
القوة الناتجة عن مجال كهربائي

Force due to an Electric Field

نحصل على القوة \vec{F} التي يبذلها مجال كهربائي \vec{E} على شحنة نقطية q من المعادلة $\vec{F} = q\vec{E}$. وهي إعادة صياغة بسيطة لتعريف المجال الكهربائي في المعادلة 2.1. أي أن القوة التي يبذلها المجال الكهربائي على شحنة موجبة تؤثر في اتجاه المجال الكهربائي نفسه. ويكون متجه القوة مماسيًا لخطوط المجال الكهربائي دائمًا وفي اتجاه المجال الكهربائي أيضًا إذا كانت $q > 0$.

مراجعة المفاهيم 2.5

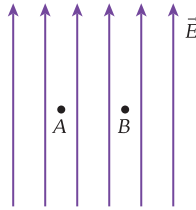
وُضع جسم صغير موجب الشحنة في وضع السكون في مجال كهربائي منتظم كما هو موضح في الشكل. عندما يتحرر الجسم، فإنه



- لن يتحرك.
- سيبدأ في الحركة بسرعة ثابتة.
- سيبدأ في الحركة بعجلة ثابتة.
- سيبدأ في الحركة بعجلة متزايدة.
- سيتحرك إلى الخلف وإلى الأمام بحركة توافقية بسيطة.

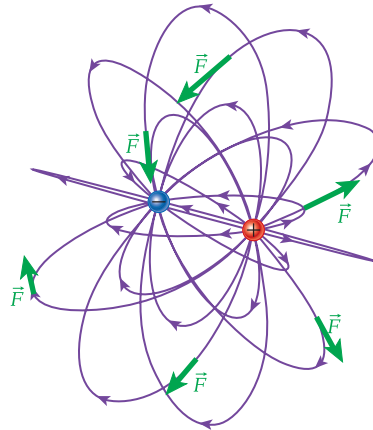
مراجعة المفاهيم 2.6

يمكن وضع جسم صغير موجب الشحنة في مجال كهربائي منتظم عند الموقع A أو الموقع B في الشكل. ما وجه المقارنة بين القوتين الكهربائيتين اللتان تؤثران في الجسم عند الموقعين؟



- مقدار القوة الكهربائية المؤثرة في الجسم تكون أكبر عند الموقع A .
- مقدار القوة الكهربائية المؤثرة في الجسم تكون أكبر عند الموقع B .
- لا توجد قوة كهربائية مؤثرة في الجسم عند أي من الموقعين A أو B .
- تتساوى القوة الكهربائية المؤثرة في الجسم عند الموقع A مع القوة المؤثرة في الجسم عند الموقع B في المقدار وتعاكسها في الاتجاه.
- القوة الكهربائية المؤثرة في الجسم عند الموقع A هي القوة الكهربائية غير الصفيرية نفسها المؤثرة في الجسم عند الموقع B .

القوة المؤثرة في الشحنة الموجبة الناتجة عن المجال الكهربائي المنتشر في ثلاثة أبعاد في الشكل 2.16 الذي يوضح الحالة لجسيمين مختلفين في الشحنة. (هذا هو المجال نفسه الموضح في الشكل 2.5. لكن أضيفت إليه تمثيلات لمتجهات القوة). نلاحظ أن القوة المؤثرة في الشحنة الموجبة تكون مماسية دائمًا لخطوط المجال وفي اتجاه المجال الكهربائي نفسه. أما القوة المؤثرة في الشحنة السالبة فستكون في الاتجاه المعاكس.



الشكل 2.16 اتجاه القوة التي يبذلها المجال الكهربائي، الناتج عن شحنتين نقطيتين مختلفتين في الإشارة، على شحنة موجبة عند نقاط مختلفة في الفراغ.

أسئلة البونص في تلك الجزئية

Drag and drop the best equation in the blank below.

Afra is writing all the formulas needed in her electrostatics exam. She forgot one formula about the superposition principle. Help Afra to complete the formulas.

The superposition principle for electrostatic forces is

$$F = kq \sum_{i=1}^n q_i \frac{r - r_i}{|r - r_i|^3} \checkmark$$

$$F = kq \sum_{i=1}^n q_i \frac{r - r_i}{|r - r_i|^2}$$

$$F = kq \sum_{i=1}^n q_i \frac{r - r_i}{|r - r_i|}$$

$$F = k \sum_{i=1}^n q_i \frac{r - r_i}{|r - r_i|^3}$$

رتب المواد على حسب مقاومتها الاتى ← الابع

مواد مائقة التوصيل ← مواد موصلة



رتبها الموصلات →

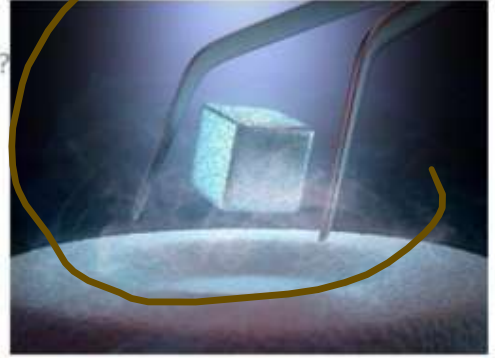
عازلة

أسئلة البونص في تلك الجزئية ←

مفرد

Select the best answers.

Which of the following statements are true about superconductors?



- Most materials have a critical temperature that is less than 0 K.
- A material can become superconductive when its temperature rises above the material's critical temperature.
- Superconductors have zero resistance. ✓
- A material can become superconductive when its temperature drops below the material's critical temperature. ✓
- Superconductors have high resistance.
- Most materials have a critical temperature between 0 K and 10 K. ← ✓
- Most materials have a critical temperature near 125 K.
- Superconductors can not yet be observed.

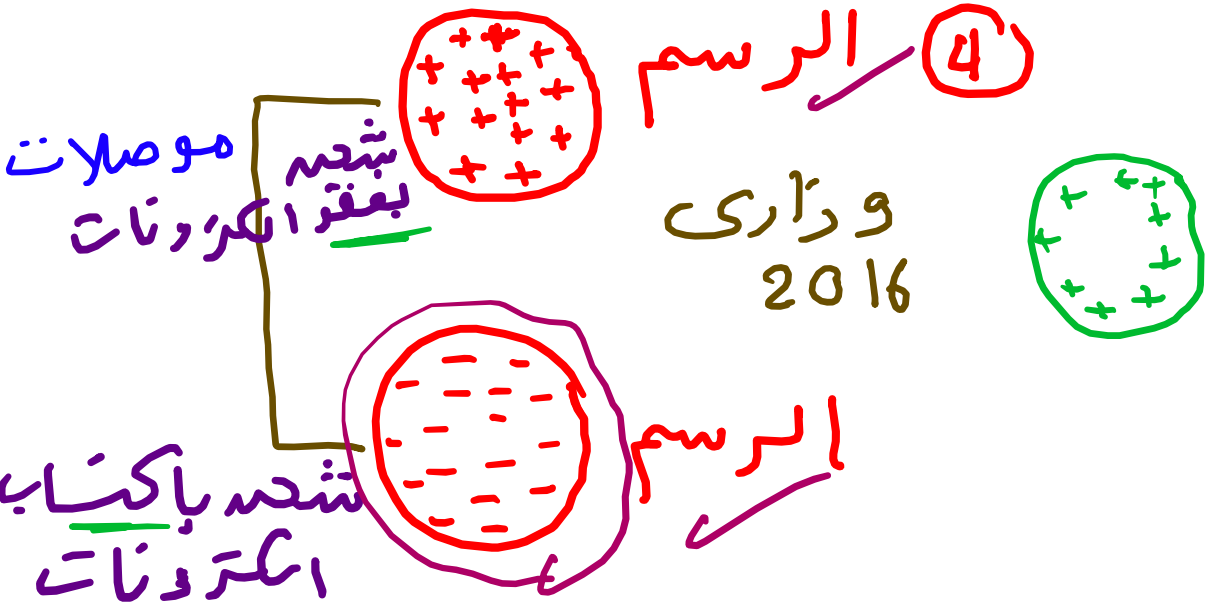
أسئلة البونص في تلك الجزئية

المواد الموصلة :- مادة تنقل الشحنات خلالها بسهولة
لاصقواها مع الكترونات هرة ضعيفة الارتباط
بالذرات

② R [مقاومتها] صغيرة

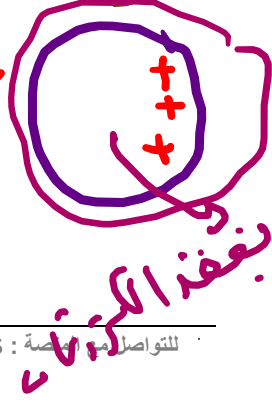
- ③ أمثلة - الفلزات
- الأندجة العضوية في جسم الانسان
 - الماء المحوى مع أيونات مثل NaCl
 - ماء المقطر لا يعتر موصل جيد لعدم اصقائه مع أيونات

④ الرسم



المواد العازلة - لا تنقل خلالها الشحنات بسهولة
- لانه الكترونات مرتبطة بالنواة

- عازلة - R كبيرة جدًا
- الرمباج - البلاستيك - العمام



أشباه موصلات
 □ مواد تتغير حالاً

- ① **نقبة** ← السيليكون - الجرمانيوم - زرنيخ جاليوم
- ② **غير نقى** ← يحصل بإيج من عملية تطعيم
- التطعيم إضافة كميات قليلة (دقيقة) من ذرات أخرى
- السبب زيادة موصلية أشباه الموصلات

نقبة موصل نقى ← التطعيم ← شبه موصل غير نقى

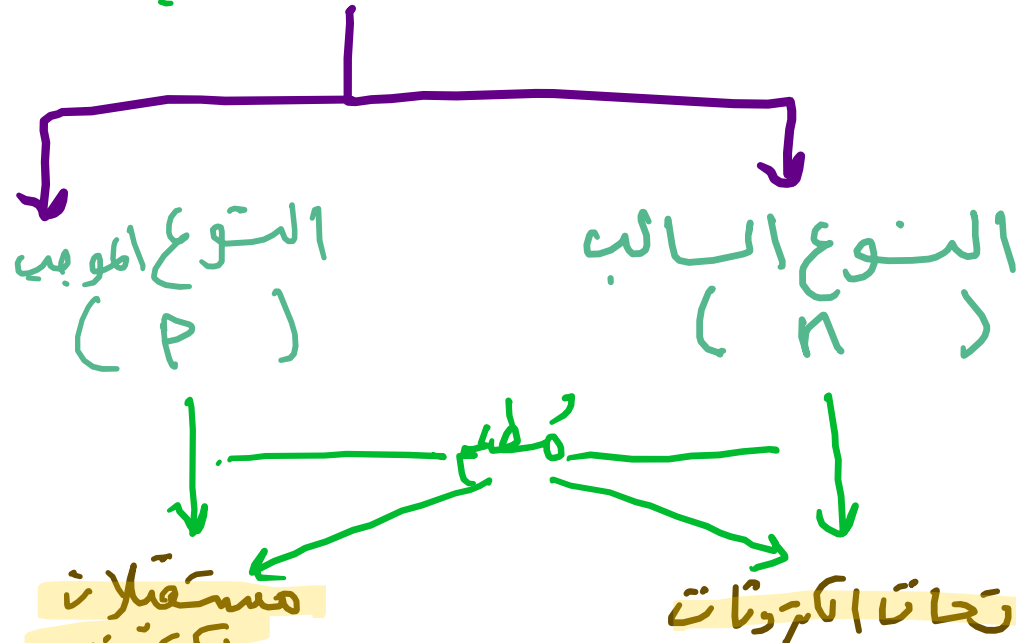
Bounce

مقاومة مواد نانوية
 التوصيل $R = \text{متر}$

مواد موصلة قليلة

مواد أشباه موصلات

مواد عازلة



سؤال مهم جداً R شبه الموصل غير نقى أقل R مقاومة النقى

ولكن مهم مقاومة (النقى والغير نقى) أكبر من