

من إصدارات المركز العلمي للترجمة



الكهرية والمغناطيسية

الجزء الأول المجال الكهربى

Electricity and Magnetism



ترجمة

الدكتور حازم فلاح سكيك



إهداء إلى أبنائي

وطلابي

ومحبي الفيزياء

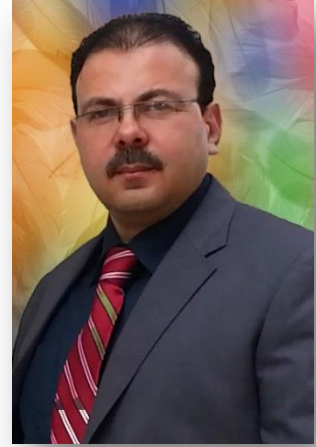
دكتور حازم فلاح سكيك

www.hazemsakeek.net



مقدمة

يعد علم الكهرباء الساكنة من العلوم القديمة والتي اكتشفت منذ 600 سنة قبل الميلاد عندما لاحظ عالم يوناني انجذاب قصاصات من الورق إلى ساق دُلك بالصوف. ومن ثم توالت التجارب إلى يومنا هذا لتكشف المزيد من خصائص الكهرباء الساكنة ولتصبح الكهرباء عنصراً أساسياً في حياتنا العملية. في هذا الجزء من الكتاب سنقدم شرحاً وافياً لخصائص الشحنة الكهربائية وكيف نحسب القوة الكهربائية المتبادلة بين شحنتين أو أكثر وكذلك سوف نتطرق لموضوع المجال الكهربائي وطرق حسابه سواء لتوزيع منفصل أو توزيع متصل للشحنات.



هذا هي ترجمة للوحدة الرابعة الجزء الثالث والعشرون من كتاب الفيزياء للعلوم والهندسة مع الفيزياء الحديثة Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics للمؤلف ريموند سيروي Raymond A. Serway وتأتي هذه الترجمة ضمن نشاطات المركز العلمي للترجمة في نشر العلوم باللغة العربية وتبسيطها.

جاءت الترجمة بلغة مبسطة وشرح سلسل ومدعم بالصور والرسومات التي تعطي للنص مزيداً من الوضوح والشرح، هذا بالإضافة إلى الكثير من الأمثلة والتمارين المحلولة التي تساعد على فهم الموضوع والتمكن من حل المسائل في نهاية الجزء.

كما يمكنكم اعزائي متابعة شرح محاضرات الفيزياء العامة الكهربائية الساكنة وتطبيقاتها على قناتي على اليوتيوب على الرابط www.youtube.com/user/PhysicsEduCenter حيث تم ادراج كافة المحاضرات التي تغطي هذا الجزء في قائمة تشغيل بعنوان محاضرات الكهرباء الساكنة. وتحميل شرائح العرض البوربوينت من موقع اكااديمية الفيزياء للتعليم الالكتروني www.physicsacademy.org.

أتمنى ان يكون هذا العمل في خدمة أبنائنا الطلبة في مختلف الكليات العلمية ليكون لهم مرجعاً رئيسياً في مقرر الفيزياء العامة. وان شاء الله سيتم ترجمة باقي الأجزاء على نفس النسق.

مع خالص تحياتي

د. حازم فلاح سكيك

جامعة الأزهر - غزة

غزة في 1-12-2013

www.hazemsakeek.net



الكهربية والمغناطيسية

Electricity and Magnetism

ترجمة الدكتور حازم فلاح سكيك



القطار المغناطيسي المعلق في محطة شانغهاي الصينية. يعمل هذا القطار لا يلمس قضبان السكة الحديدية على الإطلاق إنما يكون محمولاً بالكامل بالقوى الكهرومغناطيسية وهذا ما سوف نقوم بشرحه في هذا الكتاب.

سندرس الان فرع من أفرع الفيزياء يهتم بالظواهر الكهربية والمغناطيسية. تلعب قوانين الكهربية والمغناطيسية دوراً أساسياً في تشغيل معظم الأجهزة التي نستخدمها في حياتنا مثل أجهزة التلفزيون والمسجل والفيديو والكمبيوتر والجوال ومعجلات الطاقة الضخمة والكثير من الأجهزة الالكترونية المختلفة. كما ان القوى المتبادلة بين الذرات



والجزيئات المسؤولة عن تشكل المواد الصلبة والسائلة والغازية هي قوى كهربية في الأساس.

الأدلة التي وجدت في بعض الوثائق الصينية تقترح ان المغناطيسية اكتشفت مبكرا جدا وقدرت في 2000 قبل الميلاد. ولاحظ اليونانيون بعض الظواهر الكهربية والمغناطيسية منذ 700 سنة قبل الميلاد. عرف اليونانيون القوى المغناطيسية من الحجر الطبيعي الذي عرف باسم المغنتيت أي أكسيد الحديد الأسود (Fe_3O_4) ينجذب نحو الحديد. (كلمة كهربية electric جاءت من كلمة الكترون elektron وهي الترجمة اليونانية لكلمة امبر amber. وكلمة مغناطيسية magnetic جاءت من ماغنيسيا Magnesita وهو اسم المنطقة التي اكتشف فيها الحجر المغناطيسي في اليونان).

لم يعرف العلماء ان الكهربية والمغناطيسية هما عبارة عن ظاهرتين مرتبطتين معا حتى مطلع القرن التاسع عشر. في العام 1819 تمكن العالم هانس اورستد Hans Oersted من اكتشاف ان ابرة البوصلة المغناطيسية تنحرف عندما توضع بجوار دائرة يمر بها تيارا كهربيا. في العام 1831 اكتشف كلا من العالم مايكل فارادي Michael Faraday وفي نفس الوقت أيضا العالم جوزيف هنري Joseph Henry ان سلك يتحرك بالقرب من مغناطيس او عندما يتحرك مغناطيس بجوار سلك فان تيارا كهربيا يتولد في السلك. في العام 1873 استخدم العالم جيمس كلارك ماكسول James Clerk Maxwell هذه الاكتشافات وتجارب أخرى كاساس لقوانين الكهربية والمغناطيسية والتي عرفت باسمه واطلقت عليها مصطلح الكهرومغناطيسية electromagnetism أي دمج كلا من الكهربية والمغناطيسية. وتعتبر قوانين ماكسويل الأساس العلمي لكل اشكال الظواهر الكهرومغناطيسية مثلها مثل أهمية قوانين نيوتن للحركة والجاذبية.



المجال الكهربى

Electric Fields

8	Properties of Electric Charges	1.1 خواص الشحنة الكهربائية
11	Charging Objects by Induction	2.1 شحن الاجسام بواسطة الحث
16	Coulomb's Law	3.1 قانون كولوم
29	The Electric Field	4.1 المجال الكهربى
37	Electric Field of a Continuous Charge Distribution	5.1 المجال الكهربى لتوزيع متصل من الشحنات
48	Electric Field Lines	6.1 خطوط المجال الكهربى
54	Motion of a Charged Particle in a Uniform Electric Field	7.1 حركة جسم مشحون في مجال كهربى منتظم

في هذا الجزء من الكتاب سوف نبدأ بدراسة الكهرومغناطيسية. تعتبر القوى الكهرومغناطيسية بين الجسيمات المشحونة واحدة من أنواع القوى الأساسية في الطبيعة. سوف نبدأ بوصف بعض الخواص الأساسية للقوة الكهربائية من خلال قانون كولوم الذي يعتبر القانون الأساسي لوصف القوة الكهربائية بين جسمين مشحونين. ثم سوف نقدم مبدأ المجال الكهربائي المصاحب لتوزيع شحنة أو مجموعة من الشحنات. ثم سوف نوضح كيف يمكن استخدام قانون كولوم لحساب المجال الكهربائي لتوزيع من الشحنات. ثم سوف ننهي هذا الجزء بمناقشة حركة جسيم مشحون في مجال كهربائي منتظم.

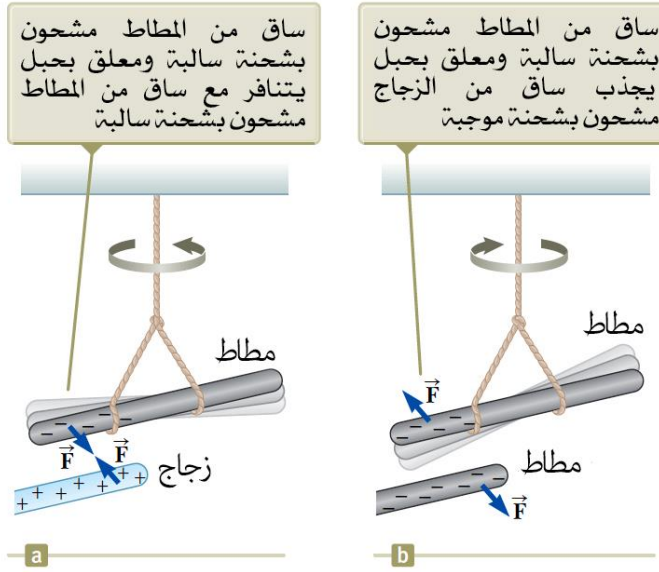


أم وإبنتها تستمتعان بتأثير شحن اجسامهما. كل شعرة في رأسهما تصبح مشحونة وتظهر قوى تنافرية مما ينتج عنه وقوف كل شعرة محاولة الابتعاد عن الشعرة الأخرى.

1.1 خواص الشحنة الكهربائية Properties of Electric Charges

تعرض مجموعة من التجارب البسيطة وجود القوى الكهربائية. على سبيل المثال عند ذلك بالون بشعرك في يوم جاف سوف تجد ان البالون اصبح يجذب قطع صغيرة من الورق. قوة التجاذب هذه تكون كافية لابقاء قطع الورقة ملتصقة في البالون.

عندما تتصرف المواد بهذه الطريقة فاننا نقول انها تكهربت electrified او انها أصبحت مشحونة كهربيا. كما يمكنك بنفس الطريقة ان تجعل جسمك مشحونا بذلك حدائك بقطعة من الصوف.



الشكل 1.1 القوى الكهربائية بين (a) جسمين مشحونين بشحنة مختلفة (b) وجسمين مشحونين بشحنات متشابهة.

الدليل على وجود شحنة كهربية على جسمك يمكن الكشف عنه بلمس زميلك. عند الظروف المناسبة سوف تلاحظ شرارة وكذلك ستشعر بوخزة خفيفة. مثل هذه التجارب تعمل بشكل جيد في يوم جاف لان وجود الرطوبة في الهواء تجعل الشحنة المتراكمة تتسرب من جسمك إلى الأرض.

في سلسلة من تجارب بسيطة وجد العلماء ان هناك نوعين من الشحنات الكهربائية،

والتي أعطي لها العالم بنجيمين فرانكلين Benjamin Franklin اسم موجب positive وسالب negative (1706-1790). عرفت الالكترونات بامتلاكها شحنة سالبة والبروتونات شحنة موجبة. للتحقق من وجود نوعين من الشحنات افترض ان ساق من المطاط تم ذلكه بقطعة من الفرو وعلق بواسطة خيط كما هو موضح في الشكل 1.1. عندما تقوم بذلك ساق من الزجاج بقطعة من الحرير ووضع بجوار الساق المطاطي المعلق فان الساقين ينجذبان نحو بعضهما البعض (الشكل 1.1 a). على الجانب الآخر اذا شحن ساقين من المطاط (أو ساقين من الزجاج) بالدلك وقرب من بعضهما البعض كما هو موضح في الشكل 2.1 b فانها يتنافران. هذه الملاحظات تثبت ان كلا من المطاط والزجاج امتلكا نوعين مختلفين من الشحنات عليهما. على أساس هذه الملاحظات نستنتج ان الشحنات المتشابهة تتنافر مع بعضها البعض والشحنات المختلفة تتجاذب مع بعضها البعض.

باستخدام الاصطلاح الذي اقترحه فرانكلين Franklin ان الشحنة على ساق الزجاج تكون موجبة والشحنة على ساق المطاط شحنة سالبة. لهذا أي جسم مشحون ينجذب لساق المطاط المشحون (او يتنافر مع ساق الزجاج المشحون) يجب ان يمتلك شحنة موجبة، واي جسم مشحون يتنافر مع ساق المطاط المشحون (او ينجذب نحو ساق الزجاج المشحون) يجب ان يمتلك شحنة سالب.

جانب اخر مهم نستنتجه من هذه التجارب هو ان الشحنة الكهربائية دائما محفوظة في النظام المعزول. أي انه عندما نقوم بذلك جسمين مع بعضهما البعض فان الشحنة المتكونة لا تنشأ من العدم. حالة التكهرب (عملية الشحن) هي نتيجة لانتقال الشحنة من جسم إلى آخر. يكتسب جسم شحنة سالبة محددة في حين ان الجسم الثاني يكتسب شحنة موجبة بنفس المقدار. على سبيل المثال عندما يم ذلك ساق من الزجاج بقطعة من الحرير كما هو موضح في الشكل 2.1 فان الحرير يحصل على شحنة سالبة تساوي في المقدار الشحنة الموجبة التي تكونت على ساق الزجاج. نحن الان نعرف من فهمنا للتركيب الذري ان الالكترونات تنتقل خلال عملية الدلك من الزجاج إلى الحرير. بالمثل عندما يتم ذلك ساق من المطاط في قطعة من الفرو، فان الالكترونات تنتقل من

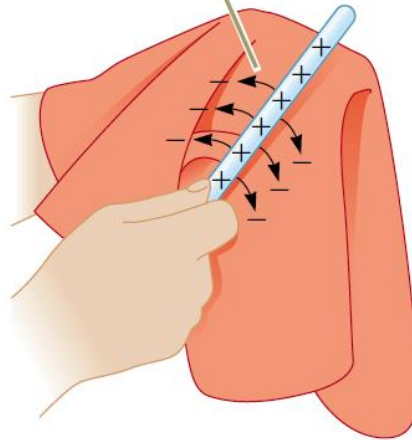


الفرو إلى المطاط مما يظهر على المطاط شحنة سالبة وعلى الفرو شحنة موجبة. تتم هذه العملية لان المواد المتعادلة الغير مشحونة تحتوي على عدد من الشحنات الموجبة (بوتونات داخل نواة الذرة) مساويا لعدد الشحنات السالبة (الالكترونات).

في العام 1909 اكتشف العالم روبرت ميليكان Robert Millikan (1868-1953) ان الشحنة الكهربية المتكونة بالشحن عبارة عن عدد صحيح من شحنة الالكترون.

بالتعريف العصري نقول ان الشحنة الكهربية q مكتمة، حيث ان q هي الرمز المستخدم للشحنة. هذا يعني ان الشحنة الكهربية تتواجد كحزم متقطعة ويمكننا ان نكتب ان $q = \pm Ne$ حيث ان N هي عدد صحيح. تجارب أخرى أجريت في نفس الفترة بينت ان الالكترون يمتلك شحنة $-e$ وان البروتون يمتلك شحنة مساوية لشحنة الالكترون ولكن باشارة معاكسة $+e$. بعض الجسيمات مثل النيوترون لا يمتلك شحنة.

بسبب الحفاظ على الشحنة، كل الكتلون يضيف شحنة سالبة لقطعة الحرير وشحنة موجبة تبقى على ساق الزجاج بالمقابل



الشكل 2.1 عندما يتم ذلك ساق من الزجاج بقطعة من الحرير، تنتقل الالكترونات من الزجاج إلى الحرير. كذلك وبسبب ان الشحنات تنتقل في حزم متقطعة فان الشحنات على الجسيمين تكون اما $\pm e$ أو $\pm 2e$ أو $\pm 3e$ وهكذا.

1.1 سؤال للتفكير

ثلاثة اجسام وضعوا بجوار بعض بحيث تم ذلك بوضع اثنين منهم في كل مرة. عندما الجسمين A و B وضعوا مع بعض فانهما تنافرا. عندما وضع الجسمين B و C مع بعض فانهما تنافرا. أي من الجمل التالية صحيحة؟ (a) الجسمين A و C لهما شحنات بنفس الإشارة. (b) الجسمين A و C لهما شحنات بنفس الإشارة. (c) كل الاجسام الثلاثة لهما شحنات بنفس الإشارة. (d) جسم واحد متعادل. (e) تجارب إضافية يجب ان تجرى لتحديد إشارات الشحنات.

2.1 شحن الاجسام بواسطة الحث Charging Objects by Induction

من المناسب ان نصنف المواد بدلالة قدرة الكترولوناتا على الحركة داخل المادة:

الموصلات الكهربائية electric conductor وهي المواد التي فيها بعض الالكترولونات هي الكترولونات حرة ليست مرتبطة بالذرات ويمكنها ان تتحرك بحرية داخل المادة، والمواد العازلة كهربيا electric insulator وهي المواد التي تكون فيها كل الالكترولونات مرتبطة مع الذرات ولا تستطيع الحركة بحرية داخل المادة.

المواد مثل الزجاج والمطاط والخشب الجاف كلها تصنف على انها من المواد العازلة كهربيا. عندما يتم شحن مثل هذه المواد بالدلك فان المنطقة التي تعرضت للدلك تصبح مشحونة والجسيمات المشحونة لا تستطيع الحركة من منطقة إلى أخرى على المادة.

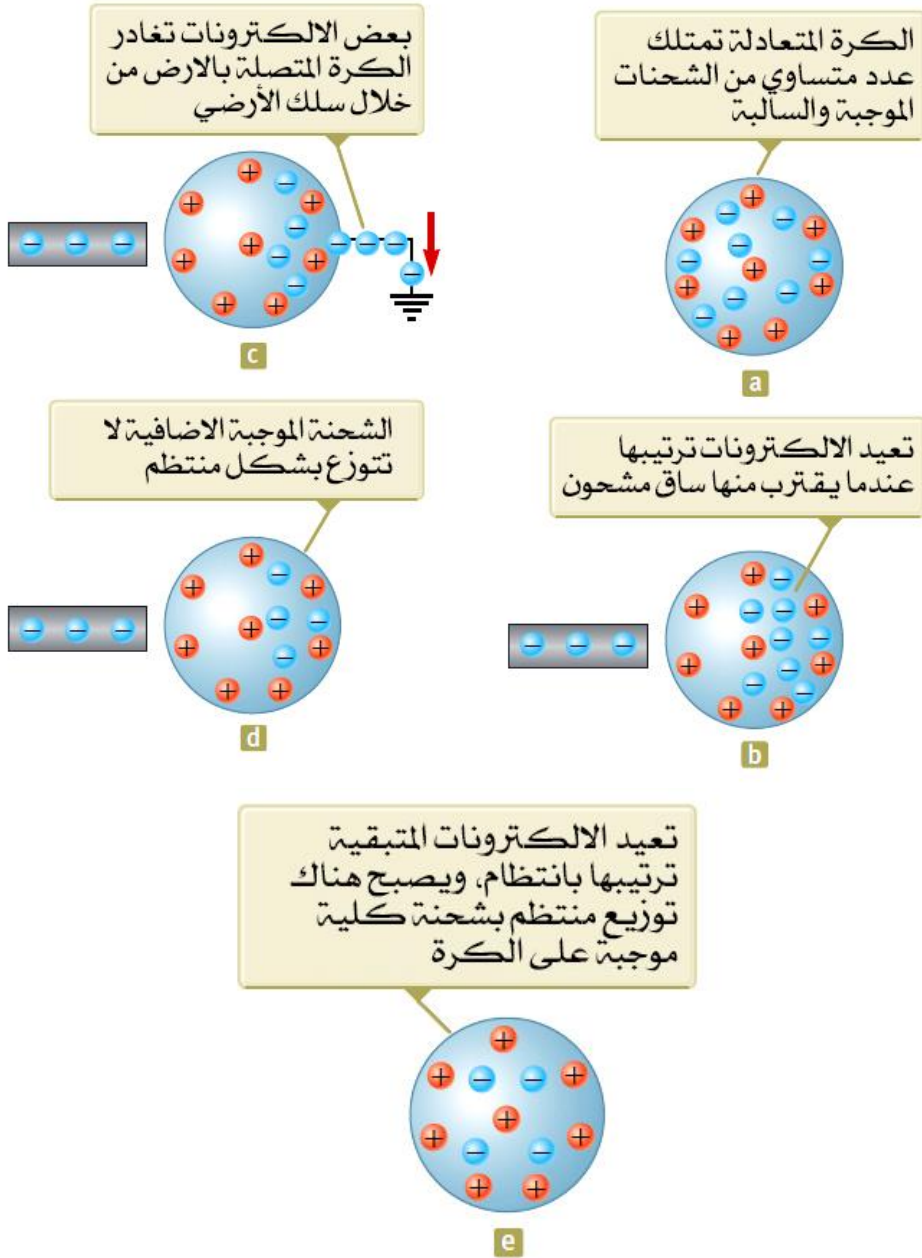
بالمقابل، المواد مثل النحاس والالومنيوم والفضة هي مواد موصلة جيدا للكهرباء. عندما يتم شحن هذه المواد فان الشحنة توزع نفسها على كامل سطح المادة.

المواد شبه الموصلة semiconductor هي الفئة الثالثة من المواد وخواصها الكهربائية تقع بين المواد العازلة والمواد الموصلة. السليكون والجرمانيوم هي امثلة على اشباه الموصلات وتستخدم في صناعة الرقائق الالكترونية المستخدمة في أجهزة الكمبيوتر، والهواتف النقالة وأنظمة الصوتيات والفيديو المنزلية. الخواص الكهربائية لاشباه

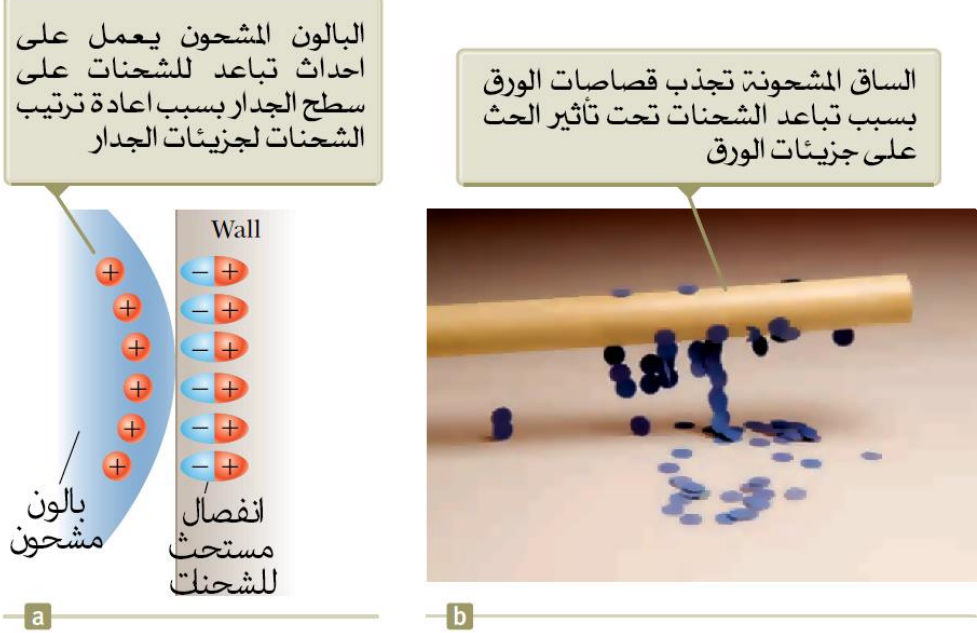


الموصلات يمكن ان تتغير بإضافة مقادير محددة من الذرات لهذه المواد.

لفهم كيفية شحن مادة موصلة فان هذا يتم من خلال عملية تسمى الحث induction، اعتبر كرة موصلة غير متعادلة كهربيا (غير مشحونة) معزولة عن الأرض كما هو موضح في الشكل 3.1 a. هناك عدد متساوي من الالكترونات والبروتونات في الكرة اذا كانت الشحنة على الكرة تساوي صفر تماما. عندما نقوم بشحن ساق من المطاط بشحنة سالبة وتقريب الساق من الكرة فان الالكترونات على الكرة الأقرب من الساق تتعرض لقوة تنافر وتبتعد إلى الجهة المقابلة للكرة. هذا الابتعاد للالكترونات يترك الجانب المواجه للساق المطاطية مشحونا بشحنة موجبة بسبب ابتعاد الالكترونات في هذه المنطقة كما هو في الشكل 3.1 b (الجانب الايسر من الكرة في الشكل 3.1 b موجب الشحنة كما لو ان الشحنات الموجبة تحركت الى هذه المنطقة ولكن تذكر ان الالكترونات هي القابلة للحركة فقط). هذه العملية تحدث حتى اذا لم يلمس الساق الكرة. اذا أجريت نفس التجربة مع سلك من مادة موصلة يصل الكرة مع الأرض كما في الشكل 3.1 c فان بعض الالكترونات في الموصل سوف تتناثر بقوة بسبب وجود الالكترونات السالبة على الساق المطاطية وتتحرك خارج الكرة عبر السلك ومن ثم تتسرب إلى الأرض. الرمز \equiv الموضح في الشكل 3.1 c في نهاية السلك يشير إلى ان السلك موصلا بالأرض،



الشكل 3.1 شحن جسم معدني بواسطة الحث. (a) كرة معدنية متعادلة. (b) ساق مطاطية مشحونة وضعت بجوار الكرة. (c) الكرة متصلة مع الأرض. (d) إزالة الاتصال مع الأرض. (e) ابعاد الساق المطاطية.



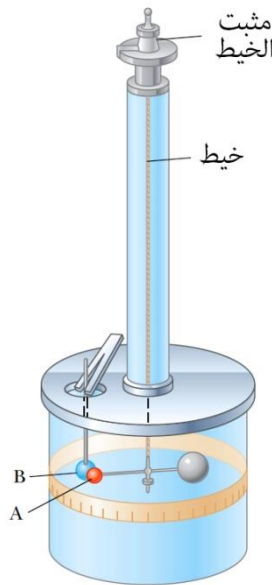
الشكل 4.1 (a) بالون مشحون وضع بالقرب من جدار معزول. (b) ساق مشحونة وضعت بالقرب من قصاصات ورق.

وهذا يعني ان الأرض تعمل كمستودع للشحنات حيث يمكنها ان تستقبل الكترونات من الاجسام الأخرى او تعطي للاجسام الأخرى دون ان تتأثر خواصها الكهربية. اذا ازيل السلك المتصل مع الأرض كما في الشكل 3.1 d فان الكرة الموصلة تحتوي على شحنة موجبة مستحثة إضافية لانها تمتلك الكترونات اقل لتلغي تأثير الشحنة الموجبة للبروتونات. عندما يبتعد الساق المطاطية عن الكرة كما في الشكل 3.1 e، فان الشحنة الموجبة المستحثة هذه تبقى على الكرة الغير متصلة بالأرض. لاحظ ان الساق المطاطية لا تفقد أي من شحنتها السالبة اثناء هذه العملية.

يتطلب شحن جسم بالحث عدم وجود اتصال مع الجسم الموفر للشحنة. هذا بالمقارنة مع الشحن بواسطة الدلك (أي بواسطة التوصيل)، والذي يتطلب اتصال بين الجسمين.

توجد عملية حث في المواد العازلة تشابه الموصلات. في معظم الجزيئات المتعادلة

يتوافق مركز الشحنة الموجبة مع مركز الشحنة السالبة. في وجود جسم مشحون فان هذه المراكز داخل كل جزئ في العازل قد تنزاح قليلا مما ينتج عنه وجود شحنة موجبة على احد جانبي الجزئي اكثر من الجانب الاخر. إعادة الترتيب للشحنة داخل كل جزئي من الجزئيات ينتج طبقة من الشحنة على سطح العازل كما هو موضح في الشكل 4.1 a. بجوار الشحنات الموجبة على سطح الجسم والشحنات السالبة على سطح العازل ينتج قوة تجاذبية بين الجسم والعازل. معرفتك بالحث في الموصلات سوف يسهل عليك فهم لماذا يجذب الساق المشحون قصاصات الورق المتعادلة كهربيا كما هو موضح في الشكل 4.1 b.



الشكل 5.1 ميزان كولوم المستخدم في تجربة القانون العكسي للمقوى الكهربائية بين شحنتين.

سؤال للتفكير 2.1

ثلاثة اجسام وضعوا بجوار بعض بحيث تم ذلك بوضع اثنين منهم في كل مرة. عندما وضع الجسمين A و B مع بعضهما البعض فانهما يتجاذبان. عندما وضع الجسمين B و C مع بعضهما البعض فانهما يتنافران. أي من الجمل التالية صحيحة؟ (a) الجسمين A و C



لها نفس الشحنة. (b) الجسمين A و C لها شحنتين متعاكستين. (c) كل الاجسام الثلاثة لهم نفس الشحنة. (d) جسم واحد متعادل. (e) تجارب إضافية يجب ان تجرى لتحديد إشارات الشحنات.

3.1 قانون كولوم Coulomb's Law

قاس العالم تشارلز كولوم Charles Coulomb مقدار القوى الكهربية بين الاجسام المشحونة باستخدام ميزان الي الموضح في الشكل 5.1 الذي اخترعه كولوم. مبدأ عمل ميزان الي مشابه للادوات التي استخدمها كافيدنش Cavendish لقياس ثابت الجاذبية، الا ان كولوم استبدل الكرتين المتعادلتين كهريا بكرتين مشحونتين. القوة الكهربية بين الكرة A والكرة B في الشكل 5.3 تتسبب في تجاذب او تنافر الكرتين مع بعضهما البعض، وينتج عن ذلك حركة تتسبب في التواء خيط التعليق. لان الازدواج الناتج هنا يتناسب طرديا مع زاوية الدوران، لذا فان قياس هذه الزاوية يعطي قياس للقوة التجاذب أو التنافر الكهربية. بمجرد شحن الكرتين بالدل فان القوة الكهربية تصبح اكبر بكثير من قوى الجاذبية بين كتلتيهما وبالتالي نهمل قوى الجاذبية بين الكرتين.

من تجارب كولوم، نستطيع ان نعمم خواص القوة الكهربية (وفي بعض الأحيان تعرف باسم القوة الكهروستاتيكية electrostatic force) بين جسمين مشحونين مستقرين.

نستخدم شحنة نقطية للإشارة إلى جسيم مشحون حجمه صفر، وبالتالي يمكن دراسة السلوك الكهربي للالكترونات والبروتونات باعتبارها شحنات نقطية. من الملاحظات العملية وجد ان مقدار القوة الكهربية (وتعرف أيضا بقوة كولوم Coulomb force) بين شحنتين نقطيتين يعطى بقانون كولوم Coulomb's law.

$$F_e = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \quad (3.1)$$

حيث ان k_e هو ثابت يعرف بثابت كولوم. وتعتبر القوى الكهربية قوى محفوظة مثلها مثل قوى الجاذبية.

قيمة ثابت كولوم تعتمد على اختيار الوحدات. وحدة الشحنة الكهربائية هي الكولوم ويرمز لها بالرمز C. وثابت كولوم k_e بالوحدات القياسية SI له القيمة

$$k_e = 8.9876 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2 \quad (3.2)$$

كما يمكن كتابة الثابت k_e على النحو التالي

$$k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad (3.3)$$

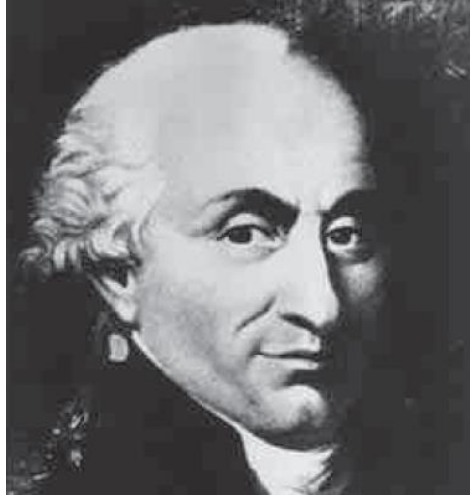
حيث ان الثابت ϵ_0 (الرمز اليوناني ايسيلون) يعرف بثابت السماحية للفراغ permittivity of free space وله القيمة

$$\epsilon_0 = 8.8542 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2 \quad (3.4)$$

اصغر وحدة للشحنة الحرة في الطبيعة هي شحنة الالكترتون e وتكون $-e$ للالكترتون و $+e$ للبروتون ولها القيمة التالية

$$e = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ C} \quad (3.5)$$

لهذا فان مقدار 1 C من الشحنة يعادل تقريبا شحنة 6.24×10^{18} الكترتون او بروتون. هذا العدد صغير جدا عند مقارنته مع عدد الالكترونات الحرة في حجم 1cm^3 من النحاس، والتي في حدود 10^{23} ومع ذلك فان مقدار 1 C تعتبر مقدار كبير من الشحنة. في تجارب قياسية بحيث يتم شحن ساق من المطاط او الزجاج بواسطة الدل فانه يمتلك شحنة مقدارها 10^{-6} C. بمعنى ان جزء صغير من الشحنة الكلية تنتقل بين الساق والمادة المستخدمة في ذلك.



تشارلز كولوم Charles Coulomb

فيزيائي فرنسي (1736-1806)

كانت أكبر مساهمات العالم كولوم للعلم في مجال الكهروستاتيكية والمغناطيسية.

شحنة وكتلة كلا من الالكترتون والبروتون والنيوترون موضحة في الجدول 3.1. لاحظ ان الالكترتون والبروتون متماثلين في مقدار شحنتهما ولكنها يختلفان في كتلتها. على الجانب الاخر كلا من البروتون والنيوترون متماثلين في كتلتها ولكنها يختلفان في الشحنة.

الجدول 1.1 شحنة وكتلة كلا من الالكترتون والبروتون والنيوترون

الكتلة (kg)	الشحنة (C)	الجسيم
9.1094×10^{-31}	$- 1.6021765 \times 10^{-19}$	الكترتون (e)
1.67262×10^{-27}	$+ 1.6021765 \times 10^{-19}$	بروتون (p)
1.67262×10^{-27}	0	نيوترون (n)



مثال 1.1 ذرة الهيدروجين The Hydrogen atom

المسافة التي تفصل بين الالكترون والبروتون في ذرة الهيدروجين تقدر بـ $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$. أوجد مقدار القوة الكهربائية وقوة الجاذبية بينهما.

الحل

تصور المسألة: فكر في جسيمين بينهما تفصلهما مسافة صغيرة جدا كما هو معطى في السؤال. سنجد ان القوى الجاذبية بين الجسيمين صغيرة جدا، وبالتالي نتوقع ان القوى الكهربائية هي القوة المسيطرة في حالة البروتون والالكترون.

تصنيف المسألة: القوى الكهربائية والجاذبية سوف تحسب من القوانين وبهذا فان المسألة هي مسألة تعويض في القوانين.

باستخدام قانون كولوم لايجاد مقدار القوة الكهربائية:

$$F_e = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2} = (8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(5.3 \times 10^{-11} \text{ m})^2}$$

$$= 8.2 \times 10^{-8} \text{ N}$$

باستخدام قانون نيوتن للجذب العام والجدول 1.1 لكتل الجسيمات لايجاد مقدار القوة الجاذبية بين الالكترون والبروتون:

$$F_g = G \frac{m_e m_p}{r^2}$$

$$= (6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{kg}^2}) \frac{(9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})(1.67 \times 10^{-27} \text{ kg})}{(5.3 \times 10^{-11} \text{ m})^2}$$

$$= 3.6 \times 10^{-47} \text{ N}$$

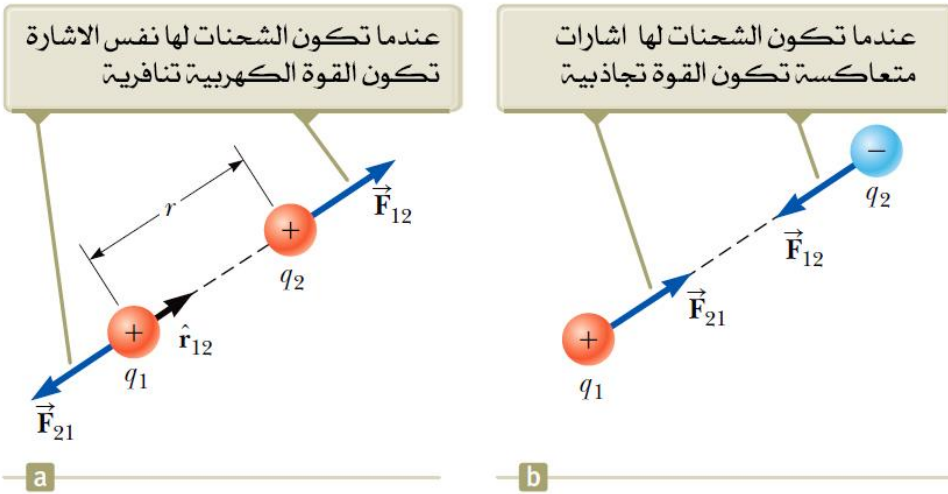
النسبة بين $F_e/F_g \approx 2 \times 10^{39}$. لهذا فان القوة الجاذبية بين الجسيمات الذرية المشحونة مهملة عندما نقارنها مع القوة الكهربائية. لاحظ ان شكل قانون نيوتن للجذب العام يشبه قانون كولوم للقوة الكهربائية.

الصيغة الاتجاهية لقانون كولوم

عندما نتعامل مع قانون كولوم تذكر ان القوة هي كمية متجهة ويجب ان نتعامل معها على هذا الأساس. يعبر عن قانون كولوم في صورته الاتجاهية من خلال القوة الكهربائية المبذولة على الشحنة q_1 على الشحنة q_2 نعبّر عنها على النحو التالي:

$$\vec{F}_{12} = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}_{12} \quad (3.6)$$

حيث \hat{r}_{12} هو متجه الوحدة ويتجه من الشحنة q_1 إلى الشحنة q_2 كما هو موضح في الشكل 6.1 a. حيث ان القوة الكهربائية تخضع لقانون نيوتن الثالث فان القوة الكهربائية المبذولة بواسطة الشحنة q_2 على الشحنة q_1 تساوي في المقدار القوة الكهربائية المبذولة بواسطة الشحنة q_1 على الشحنة q_2 وفي الاتجاه المعاكس أي ان $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$.



الشكل 6.1 شحنتين نقطيتين منفصلتين بمسافة r تؤثران على بعضهما البعض بقوة تعطى بقانون كولوم. القوة \vec{F}_{21} المبذولة بواسطة الشحنة q_2 على الشحنة q_1 تساوي بالمقدار وتعاكس في الاتجاه القوة \vec{F}_{12} المبذولة بواسطة الشحنة q_1 على الشحنة q_2 .

أخيرا المعادلة 6.1 تبين انه اذا الشحنة q_1 والشحنة q_2 لهما نفس الإشارة كما في الشكل 6.1 a فان حاصل ضرب الشحنتين $q_1 q_2$ موجبا والقوة الكهربائية على احد الجسمين



يتجه مبتعدا عن الجسم الآخر. اذا كانت الشحنة q_1 والشحنة q_2 لهما إشارة معاكسة كما في الشكل 6.1 فان حاصل ضرب الشحنتين q_1q_2 يكون سالبا والقوة الكهربائية على احد الجسمين تتجه نحو الجسم الآخر. هذه الإشارات تصف الاتجاه النسبي للقوة ولكن ليس الاتجاه المطلق. الإشارة السالبة تشير إلى ان القوة تجاذبية والإشارة الموجبة تشير إلى ان قوة تنافرية. الاتجاه المطلق للقوة على الشحنة يعتمد على موضع الشحنة الأخرى. على سبيل المثال، اذا كان المحور x يقع على امتداد الشحنتين في الشكل 6.1 فان حاصل الضرب q_1q_2 يكون موجبا ولكن \vec{F}_{12} تتجه نحو اتجاه محور x الموجب و \vec{F}_{21} تشير نحو اتجاه x السالب.

عندما يكون هناك اكثر من شحنتين، فان القوة الكهربائية المتبادلة بين زوج من الشحنتان يعطى بالمعادلة 6.1. لهذا فان القوة المحصلة المؤثرة على واحدة من هذه الشحنتان تساوي المجموع الاتجاهي للقوى المبدولة بواسطة الشحنتان الأخرى. على سبيل المثال اذا كان هناك أربعة شحنتان فان القوة المحصلة المبدولة بواسطة الجسميات 2 و3 و4 على الجسم 1 هي

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{31} + \vec{F}_{41}$$

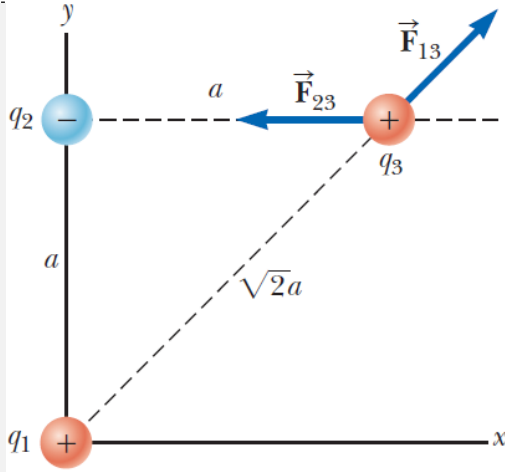
3.1 سؤال للتفكير

جسم A يمتلك شحنة $+2\mu\text{C}$ وجسم B يمتلك شحنة $+6\mu\text{C}$. أي من جملة صحيحة حول القوى الكهربائية على الاجسام؟

- (a) $\vec{F}_{AB} = -3\vec{F}_{BA}$ (b) $\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$ (c) $3\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$
(d) $\vec{F}_{AB} = 3\vec{F}_{BA}$ (e) $\vec{F}_{AB} = \vec{F}_{BA}$ (f) $3\vec{F}_{AB} = \vec{F}_{BA}$

مثال 2.1 اوجد محصلة القوة Find the Resultant Force

اعتبر ان هناك ثلاثة شحنتان موضوعة على اركان مثلث قائم الزاوية كما هو موضح في الشكل 7.1، حيث ان الشحنة $q_1=q_3=5.00 \mu\text{C}$ والشحنة $q_2=-2.00 \mu\text{C}$ والمسافة $a=0.100\text{m}$. اوجد القوة المحصلة المؤثرة على q_3 .



الشكل 7.1 القوة المبدولة بواسطة الشحنة q_1 على الشحنة q_3 هي \vec{F}_{13} . القوة المبدولة بواسطة الشحنة q_2 على الشحنة q_3 هي \vec{F}_{23} . القوة المحصلة المؤثرة على الشحنة q_3 هي المجموع الاتجاهي لـ $\vec{F}_{13} + \vec{F}_{23}$.

الحل

تصور المسألة: فكر في القوة الكلية المؤثرة على الشحنة q_3 . حيث ان الشحنة q_3 تقع بالقرب من الشحنتين الاخرتين، فانها سوف تتعرض لقوى كهربية. هذه القوى المؤثرة لها اتجاهات مختلفة كما هو موضح في الشكل 7.1.

تصنيف المسألة: لان القوتين تؤثران على الشحنة q_3 ، فاننا نصنف هذا المثال كمسألة جمع اتجاهي.

التحليل: اتجاه كل قوة مؤثرة على الشحنة q_3 نتيجة للشحنتين q_1 و q_2 موضح في الشكل 7.1. القوة \vec{F}_{23} المبدولة على بواسطة q_2 على الشحنة q_3 هي قوة تجاذبية لان كلا من q_2 و q_3 تمتلك إشارات متعاكسة. في نظام الاحداثيات الموضح في الشكل 7.1 نجد ان القوة \vec{F}_{23} تتجه إلى اليسار أي في اتجاه محور x السالب.

القوة \vec{F}_{13} المبدولة بواسطة q_1 على الشحنة q_3 هي قوة تنافرية لان كلا الشحنتين موجبة الإشارة. القوة التنافرية \vec{F}_{13} تعمل زاوية مقدارها 45.0° مع محور x .



نستخدم المعادلة 1.1 لإيجاد مقدار القوة \vec{F}_{23} :

$$F_{23} = k_e \frac{|q_1||q_3|}{r^2}$$

$$= (8.99 \times 10^9 N \cdot \frac{m^2}{C^2}) \frac{(2.00 \times 10^{-6} C)(5.00 \times 10^{-6} C)}{(0.100m)^2} = 8.99N$$

نقوم بإيجاد مقدار القوة \vec{F}_{13} :

$$F_{13} = k_e \frac{|q_1||q_3|}{(\sqrt{2}a)^2}$$

$$= (8.99 \times 10^9 N \cdot \frac{m^2}{C^2}) \frac{(5.00 \times 10^{-6} C)(5.00 \times 10^{-6} C)}{2(0.100m)^2} = 11.2N$$

الآن سنقوم بإيجاد مركبات القوة \vec{F}_{13} بالنسبة لمحور x و y:

$$F_{13x} = F_{13} \cos 45.0^\circ = 7.94N$$

$$F_{13y} = F_{13} \sin 45.0^\circ = 7.94N$$

أوجد مركبات القوة المحصلة المؤثرة على الشحنة q_3

$$F_{3x} = F_{13x} + F_{23x} = 7.94N + (-8.99N) = -1.04N$$

$$F_{3y} = F_{13y} + F_{23y} = 7.94N + 0 = 7.94N$$

بالتعبير عن القوة المحصلة المؤثرة على الشحنة التعبير عن القوة المحصلة المؤثرة على الشحنة q_3 باستخدام متجهات الوحدة:

$$\vec{F}_3 = (-1.04\hat{i} + 7.94\hat{j})N$$

الخلاصة: القوة الكلية المؤثرة على q_3 للأعلى وإلى اليسار في الشكل 7.1. إذا تحركت الشحنة q_3 كاستجابة لهذه القوة فإن المسافة بين q_3 والشحنات الأخرى سوف تتغير، وبالتالي فإن القوة الكلية تتغير أيضاً. لهذا إذا كانت الشحنة q_3 حرة الحركة فإنها تعتبر كجسم يقع تحت تأثير قوة غير منتظمة.

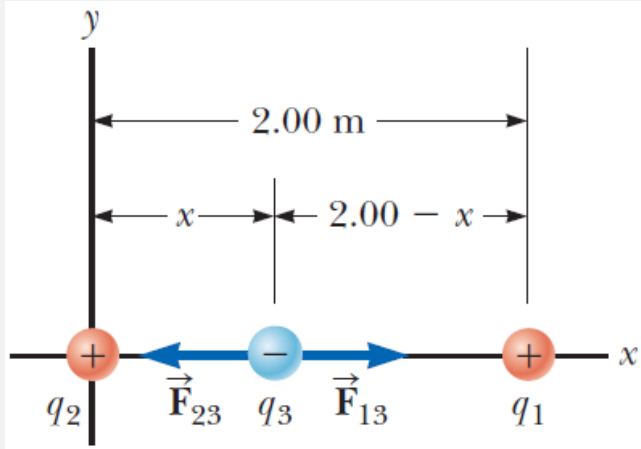
ماذا لو؟ ماذا إذا كانت إشارات الشحنات الثلاثة قد انعكست فاصبحت السالبة موجبة والموجبة سالبة؟ كيف سوف يؤثر هذا التغير على القوة الكلية \vec{F}_3 ؟



الإجابة: لا تزال الشحنة q_3 تنجذب نحو الشحنة q_2 وتتنافر مع الشحنة q_1 بقوى لها نفس المقدار ولهذا فان النتيجة النهائية سوف لن تتغير.

المثال 3.1 أين تكون القوة المحصلة مساوية للصفر؟ Where Is the Net Force Zero?

ثلاثة شحنات نقطية تقع على امتداد المحور x كما هو موضح في الشكل 8.1. الشحنة الموجبة $q_1=15.0\mu\text{C}$ تقع عند $x=2.00\text{ m}$ والشحنة الموجبة $q_2=6.00\mu\text{C}$ عند نقطة الأصل والقوة الكلية المؤثرة على الشحنة q_3 هي صفر. ما هو احداثي الشحنة q_3 بالنسبة لمحور x ؟



الشكل 8.1 ثلاثة شحنات نقطية موضوعة على محور x . اذا القوة المحصلة على الشحنة q_3 تساوي صفر، والقوة \vec{F}_{13} المبذولة بواسطة الشحنة q_1 على الشحنة q_3 يجب ان تساوي في المقدار وتعاكس في الاتجاه القوة \vec{F}_{23} المبذولة بواسطة الشحنة q_2 على الشحنة q_3 .

الحل

تصور المسألة: لان الشحنة q_3 بالقرب من الشحنتين فانها سوف تتعرض إلى قوتين كهربيتين. ليس كما في المثال السابق حيث هنا جميع القوى تقع على امتداد نفس الخط كما هو موضح في الشكل 8.1. لان q_3 سالبة والشحنتين q_1 و q_2 موجبتين فان القوى \vec{F}_{13}

و \vec{F}_{23} هي قوى تجاذبية.

تصنيف المسألة: لان القوة المحصلة المؤثرة على الشحنة q_3 مساوية للصفر فاننا يمكن ان نتعامل مع الشنحات النقطية على انها جسيم في حالة الاتزان.

تحليل المسألة: نكتب الصيغة الرئيسية للقوة الكلية على الشحنة q_3 عندما تكون في حالة اتزان:

$$\vec{F}_3 = \vec{F}_{23} + \vec{F}_{13} = -k_e \frac{|q_2||q_3|}{x^2} \hat{i} + k_e \frac{|q_1||q_3|}{(2.00-x)^2} \hat{i} = 0$$

بنقل الحد الثاني إلى يمين المعادلة ومساواة معاملات متجه الوحدة \hat{i} نحصل على

$$k_e \frac{|q_2||q_3|}{x^2} + k_e \frac{|q_1||q_3|}{(2.00-x)^2}$$

بإعادة ترتيب المعادلة واختصار الرموز المتشابهة على الطرفين نحصل على ما يلي:

$$(2.00 - x)^2 q_2 = x^2 q_1$$

$$(4.00 - 4.00x + x^2)(6.00 \times 10^{-6} C) = x^2(15.0 \times 10^{-6} C)$$

$$3.00x^2 + 8.00x - 8.00 = 0$$

$$x = 0.775m$$

الخلاصة: الجذر الثاني لحل المعادلة التربيعية هو $x = -3.44 m$. وهو موضع اخر يكون فيه مقدار القوة المؤثرة على الشحنة q_3 متساوية ولكن كلا القوتين في نفس الاتجاه.

ماذا لو؟ افترض ان الشحنة q_3 مسموح لها بالحركة فقط على امتداد المحور x . من الموضع الابتدائي لها عند $x = 0.775m$ قد سحبت مسافة صغيرة على امتداد المحور x . عند تحريرها هل تعود إلى حالة الاتزان، أو انها تبتعد اكثر عن موضع الاتزان؟ هل يكون هذا الاتزان مستقرا او غير مستقرا؟

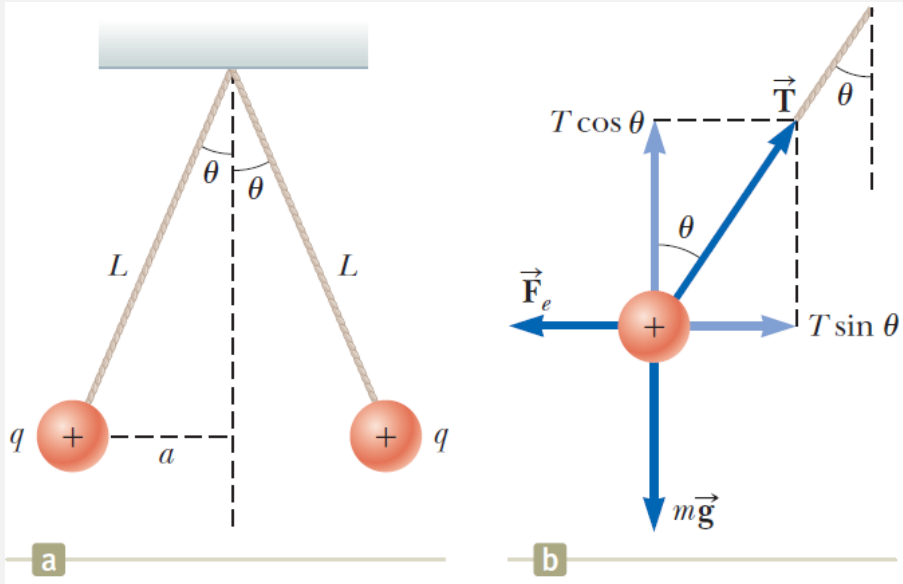
الإجابة: اذا تحركت الشحنة q_3 إلى اليمين فان \vec{F}_{13} تصبح اكبر والقوة \vec{F}_{23} تصبح اقل. النتيجة هي ان القوة المحصلة إلى اليمين في نفس اتجاه الازاحة. لهذا فان الشحنة q_3

سوف تستمر في الحركة إلى اليمين واللاتزان لا يكون مستقرا.

اذا الشحنة q_3 بقيت ثابتة ولكن سمح لها بالحركة للاعلى او للاسفل في الشكل 8.1 فان الاتزان يكون مستقرا. في هذه الحالة فان الشحنة سوف تعود إلى نقطة اتزانها وتتذبذب حول نقطة اتزانها.

المثال 4.3 اوجد الشحنة على الكرتين Find the Charge on the Spheres

كرتين صغيرتين متماثلتين مشحونتين، كتلة كل كرة $3.00 \times 10^{-2} \text{ kg}$ ، علقنا في حالة اتزان كما في الشكل 9.1 a. طول كل خيط 0.150 m ، وكانت الزاوية θ تساوي 5.00° . أوجد مقدار الشحنة على كل كرة.



الشكل 9.1 (a) كرتين متماثلتين على كل كرة نفس الشحنة q ، علقنا في وضع متزن. (b) مخطط يوضح القوى المؤثرة على الكرة على اليسار في الجزء (a).



الحل

تصور المسألة: الشكل 9.1 a يساعدنا في تصور المسألة. الكرتين تبدلان قوى تنافرية على بعضهما البعض. اذا قمنا بتقريب الكرتين من بعضهما البعض ومن ثم تركناهما فانهما يتحركان ويبتعدان عن بعضهما حتى يستقرا في وضع اتزان كما هو موضح في الشكل 9.1 a.

تصنيف المسألة: حالة الاتزان تساعدنا في اعتبار ان كل كرة كجسيم في حالة اتزان.

تحليل المسألة: مخطط القوة للكرة على اليسار موضح في الشكل 9.1 b. الكرة في حالة اتزان تحت تأثير قوة الشد T من الحبل، والقوة الكهربائية F_e من الكرة الأخرى وقوة الجاذبية mg .

باستخدام قانون نيوتن الثاني للكرة على اليسار في صورة مركباته نحصل على ما يلي:

$$(1) \quad \sum F_x = T \sin \theta - F_e = 0 \rightarrow T \sin \theta = F_e$$

$$(2) \quad \sum F_y = T \cos \theta - mg = 0 \rightarrow T \cos \theta = mg$$

بقسمة المعادلة (1) على المعادلة (2) لاييجاد F_e :

$$\tan \theta = \frac{F_e}{mg} \rightarrow F_e = mg \tan \theta$$

باستخدام الشكل الهندسي للمثلث القائم الزاوية في الشكل 9.1 a لاييجاد العلاقة بين a و L و θ نحصل على:

$$\sin \theta = \frac{a}{L} \rightarrow a = L \sin \theta$$

بتطبيق قانون كولوم (المعادلة 1.1) لاييجاد الشحنة q على كل كرة نحصل على ما يلي:



$$q = \sqrt{\frac{F_e r^2}{k_e}} = \sqrt{\frac{F_e (2a)^2}{k_e}} = \sqrt{\frac{mg \tan \theta (2L \sin \theta)^2}{k_e}}$$

بالتعويض بالقيم في المعادلة السابقة نحصل على قيمة الشحنة على كل كرة

$$q = \sqrt{\frac{(3.00 \times 10^{-2} kg) \left(\frac{9.8m}{s^2}\right) \tan(5.00) [2(0.150m) \sin 5.00]^2}{(8.99 \times 10^9 N \cdot \frac{m^2}{C^2})}}$$
$$= 4.42 \times 10^{-8} C$$

الخلاصة: اذا لم تكن إشارة الشحنات لم تكون معطاة في الشكل 9.1، فاننا لا يمكن ان نحددها. في الواقع إشارة الشحنة ليست مهمة، لان الحالة ستكون نفسها سواء كانت الكرتين مشحونتين بشحنة موجبة أو سالبة.

ماذا لو؟ افترض ان احد زملائك اقترح حل هذه المسألة على افتراض ان الشحنات على الكرتين لم تكن متساوية في المقدار. وهنا ادعى زميلك ان التماثل في هذه المسألة سوف يختل وان خيط تعليق كل كرة سوف يعمل زاوية مختلفة مع الرأس وتصبح المسألة في هذه الحالة معقدة. فماذا يكون رأيك على هذا الافتراض؟

الإجابة: هنا لن يختل التماثل أيضا والزاويتين متساويتين. من قانون نيوتن الثالث فان مقدار القوتين الكهريبتين على الكرتين متساويتين بغض النظر عن اختلاف الشحنات على الكرتين. الحل سيكون نفس الحل الموضح في المثال ولكن قيمة الشحنة q في الحل سوف تصبح في هذه الحالة $\sqrt{q_1 q_2}$ حيث ان q_1 و q_2 هي قيمة الشحنات على الكرتين. اما التماثل سوف يختل بالفعل اذا اختلفت الكتلتين وفي هذه الحالة سوف يعمل خيط تعليق الكرتين زوايتين مختلفتين مع الرأس وتصبح المسألة اكثر تعقيدا.

4.1 المجال الكهربائي The Electric Field



توضح هذه الصورة البرق وهو يصطدم بشجرة. يصاحب البرق مجالات كهربائية قوية جدا في الغلاف الجوي.

نعلم ان هناك نوعين من القوى هما قوى تلامس وقوى المجال. وقوى المجال مثل قوى الجاذبية والقوة الكهربائية. وكما نعلم ان قوى المجال تؤثر في الفراغ وتحدث تأثير حتى بدون تلامس فيزيائي بين الاجسام. يعرف مجال الجاذبية الأرضية \vec{g} عند نقطة في الفراغ ناتجا عن جسيم على انه يساوي قوى الجاذبية \vec{F}_g المؤثرة على جسيم اختبار مقسوما على كتلته m أي ان $\vec{g} \equiv \vec{F}_g/m$. طور العالم مايكل فارادي (Michael Faraday) (1791-1867) مفهوم المجال في سياق القوى الكهربائية بطريقة عملية. في هذه الطريقة نقول ان المجال الكهربائي electric field يوجد في الفراغ الذي يحيط بالجسم المشحون، أي مصدر الشحنة. عندما يدخل جسم اخر مشحون (شحنة اختبار) في نطاق هذا المجال الكهربائي فانها سوف تتأثر بقوة كهربائية. كمثال على ذلك اعتبر

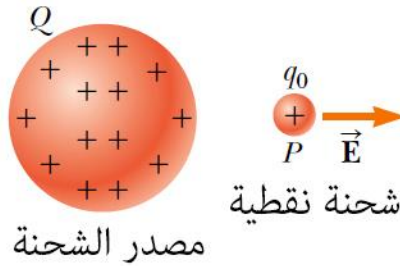
الشكل 10.1 والذي يظهر شحنة اختبار صغيرة موجبة يرمز لها بالرمز q_0 موضوعة بجوار جسم اخر يحمل شحنة موجبة كبيرة مقدارها Q . نعرف المجال الكهربائي الناتج عن الشحنة الكبيرة عند موضع شحنة الاختبار على انه القوة الكهربائية المؤثرة على شحنة الاختبار لكل وحدة شحنة او بأكثر تحديدا بان متجه المجال الكهربائي \vec{E} عند نقطة في الفراغ يعرف على انه القوة الكهربائية \vec{F}_e المؤثرة على شحنة اختبار موجبة موضوعة عند النقطة مقسومة على شحنة الاختبار.

$$\vec{E} \equiv \frac{\vec{F}_e}{q_0} \quad (1.7)$$

المتجه \vec{E} له وحدة في نظام الـ SI هي نيوتن على كولوم (N/C). اتجاه المجال \vec{E} كما هو موضح في الشكل 10.1 هو اتجاه القوة الكهربائية الذي تتعرض له شحنة الاختبار عندما توضع في المجال. لاحظ ان \vec{E} هي المجال الناتج عن شحنة او توزيع من الشحنات

منفصلة عن شحن الاختبار، وليس المجال الناتج عن شحنة الاختبار نفسها. كذلك لاحظ ان وجود المجال الكهربي هو خاصية تعكس مصدره، أي ان وجود شحنة اختبار ليس ضروريا لوجود المجال الكهربي. تعمل شحنة الاختبار ككاشف للمجال الكهربي، حيث ان المجال الكهربي يوجد في نقطة ما، واذا ما كانت شحنة الاختبار عند تلك النقطة فانها سوف تتعرض لقوى كهربية. يمكن إعادة كتابة المعادلة 7.1 على النحو التالي:

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (1.8)$$



الشكل 10.1 شحنة اختبار موجبة q_0 موضوعة عند النقطة P بالقرب من جسم يحمل شحنة موجبة كبيرة Q . تتعرض شحنة الاختبار q_0 إلى مجال كهربي E عند النقطة P ناتج عن الشحنة الكبيرة Q . سوف نفترض دائما ان شحنة الاختبار صغيرة جدا بحيث ان مجال الشحنة الكبيرة لا يتأثر بوجود شحنة الاختبار.

توفر هذه المعادلة لنا القوة المؤثرة على جسيم مشحون q موضوع في مجال كهربي. اذا كانت q موجبة فان القوة تكون في نفس اتجاه المجال الكهربي. اما اذا كانت الشحنة q سالبة فان القوة الكهربية والمجال الكهربي يكونا في اتجاهين متعاكسين. لاحظ التماثل الكبير بين معادلة المجال الكهربي $\vec{F} = q\vec{E}$ ومعادلة مجال الجاذبية الأرضية $\vec{F} = m\vec{g}$. بمجرد ان نعرف مقدار واتجاه المجال الكهربي عند نقطة معينة فان القوة الكهربية المبذولة على أي جسيم مشحون موضوع عند تلك النقطة يمكن حسابه من المعادلة 8.1.

لتحديد اتجاه المجال الكهربائي، اعتبر شحنة نقطية q كمصدر للشحنة. هذه الشحنة سوف تنتج مجالاً كهربائياً عند كل النقاط في الفراغ المحيط بها. بوضع شحنة اختبار q_0 عند نقطة P ، على مسافة r تبعد عن الشحنة q كما هو موضح في الشكل 11.1 a. نتخيل أننا سوف نقوم باستخدام شحنة الاختبار لتحديد اتجاه القوة الكهربائي وبالتالي مجال الشحنة النقطية. طبقاً لقانون كولوم فإن القوة المبذولة بواسطة q على شحنة الاختبار هي

$$\vec{F}_e = k_e \frac{qq_0}{r^2} \hat{r}$$

حيث أن \hat{r} عبارة عن متجه الوحدة ويتجه من q إلى q_0 . هذه القوة الموضحة في الشكل 11.1 a تتجه بعيداً عن الشحنة النقطية q . لأن المجال الكهربائي عند النقطة P ، حيث موضع شحنة الاختبار يعرف على أنه $\vec{E} = \vec{F}_e/q_0$ ، المجال الكهربائي عند النقطة P الناتج عن الشحنة q هو

$$\vec{E} = k_e \frac{q}{r^2} \hat{r} \quad (1.9)$$

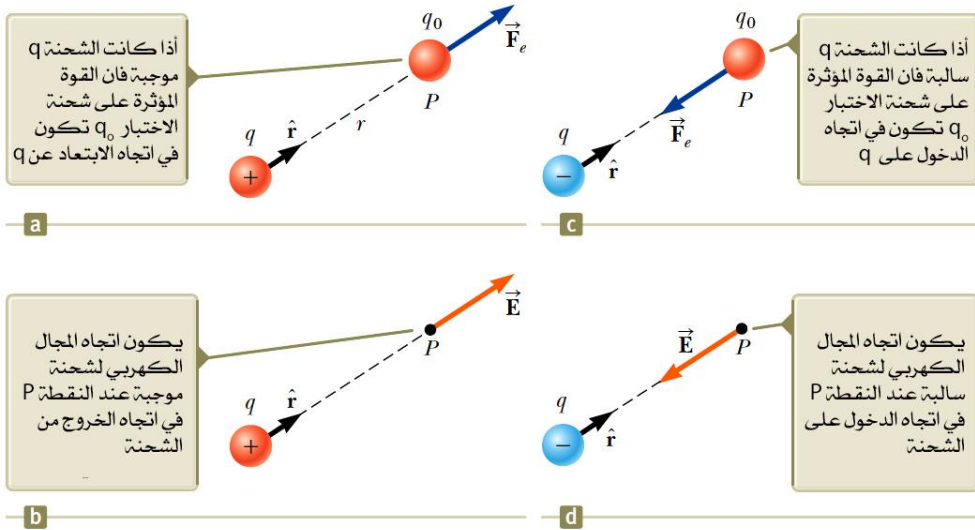
إذا كان مصدر الشحنة q موجباً، فإن الشكل 11.1 b يوضح الحالة في حالة عدم وجود شحنة الاختبار: ينشأ مصدر الشحنة مجالاً كهربائياً عند النقطة P ، تتجه مبتعدة عن q (أي في اتجاه الخروج من الشحنة الموجبة). إذا كانت الشحنة q سالبة كما في الشكل 11.1 c فإن القوة المؤثرة على شحنة الاختبار تكون في اتجاه الشحنة المصدر، وبالتالي فإن المجال الكهربائي عند النقطة P يكون يتجه نحو الشحنة المصدر (أي في اتجاه الدخول على الشحنة السالبة) كما في الشكل 11.1 d.

لحساب المجال الكهربائي عند نقطة P ناتجة عن مجموعة من الشحنات النقطية فإننا نحسب في البداية متجهات المجال الكهربائي عند النقطة P كل متجه بشكل منفصل باستخدام المعادلة 9.1 ومن ثم نقوم بجمعهم جميعاً اتجاهياً. بمعنى أنه عند أي نقطة P فإن محصلة المجال الكهربائي الناتج عن مجموعة من الشحنات النقطية يساوي المجموع الاتجاهي للمجالات الكهربائية لكل الشحنات. هذا هو مبدأ التجميع المطبق على المجالات والذي يتبع الجمع الاتجاهي للقوى الكهربائية. لهذا فإن المجال الكهربائي عند

النقطة P الناتج عن مجموعة من الشحنات يمكن التعبير عنه بالجمع الاتجاهي على النحو التالي:

$$\vec{E} = k_e \sum_i \frac{q_i}{r_i^2} \hat{r}_i \quad (1.10)$$

حيث ان r_i عبارة عن المسافة من الشحنة رقم i أي q_i إلى النقطة P و \hat{r}_i هي متجه الوحدة والذي اتجاهه من q_i إلى النقطة P .



الشكل 11.1 (a) و (c) عندما تكون شحنة الاختبار q_0 موضوعة بالقرب من مصدر الشحنة q ، فان شحنة الاختبار تتعرض لقوى كهربية. (b) و (d) عند النقطة P بالقرب من مصدر الشحنة q يوجد مجال كهربائي.

في المثال التالي 5.1 سوف ندرس المجال الكهربائي الناتج عن شحنتين باستخدام مبدأ التجميع. الجزء (B) من المثال يركز على ثنائي القطب الكهربائي، والذي يعرف على انه شحنة موجبة q وشحنة سالبة $-q$ منفصلتين عن بعضهما البعض بمسافة مقدارها $2a$. يعتبر ثنائي القطب الكهربائي نموذجاً جيداً للكثير من الجزيئات مثل حمض الهيدروكلوريك (HCl). تتصرف الذرات المتعادلة والجزيئات كثنائيات قطب عندما توضع في مجال كهربائي خارجي. علاوة على ان الكثير من الجزيئات مثل HCl تعتبر

ثنائيات قطب دائمة. تأثير ثنائيات القطب تلك على سلوك المواد المتواجدة في مجال كهربائي خارجي سوف نناقشه لاحقاً في الجزء الرابع من هذا الكتاب.

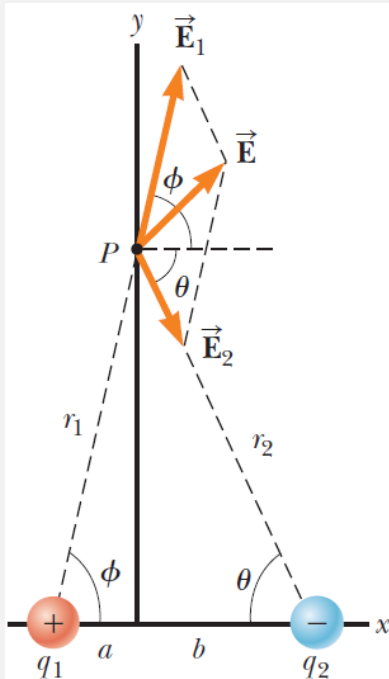
4.1 سؤال للتفكير

شحنة اختبار مقدارها $+3\mu\text{C}$ موضوعة عند النقطة P حيث يوجد مجال كهربائي متجه ناحية اليمين ومقداره $4 \times 10^6 \text{N/C}$. إذا استبدلت شحنة الاختبار بشحنة اختبار أخرى مقدارها $-3\mu\text{C}$ ، ماذا يحدث للمجال الكهربائي عند النقطة P ؟ (a) لا يتأثر. (b) يعكس اتجاهه. (c) يتغير بطريقة لا يمكن تحديدها.

مثال 5.1 المجال الكهربائي الناتج عن شحنتين Electric Field Due to Two Charges

شحنتين q_1 و q_2 موضوعتين على محور x ، عند مسافة a و b على التوالي من نقطة الأصل كما في الشكل 12.1.

(A) اوجد مركبات محصلة المجال الكهربائي عند النقطة P ، والتي تقع عند الموضع $(0, y)$.



الشكل 12.1 المجال الكهربائي الكلي \vec{E} عند النقطة P عبارة عن الجمع الاتجاهي لـ $\vec{E}_1 + \vec{E}_2$ ، حيث ان \vec{E}_1 عبارة عن المجال الكهربائي الناتج عن الشحنة الموجبة q_1 و \vec{E}_2 عبارة عن المجال الكهربائي الناتج عن الشحنة السالبة q_2 .

الحل

تصور المسألة: قارن هذا المثال مع المثال 2.1. في المثال السابق 2.1 قمنا بجمع متجه القوى لايجاد القوة المحصلة المؤثرة على الجسيمات المشحونة. هنا في هذا المثال سوف نقوم بجمع متجهات المجال الكهربائي لايجاد محصلة المجال الكهربائي عند نقطة في الفراغ.

تصنيف المسألة: لدينا هنا مصدرين للشحنات ونرغب في إيجاد محصلة المجال الكهربائي، لذلك سوف نصنف المثال على أساس اننا سوف نستخدم مبدأ التجميع الموضح في المعادلة 10.1.

تحليل المسألة: نقوم بإيجاد مقدار المجال الكهربائي عند النقطة P الناتج عن الشحنة q_1 وكذلك الناتج عن الشحنة q_2 :

$$E_1 = k_e \frac{|q_1|}{r_1^2} = k_e \frac{|q_1|}{a^2 + y^2}$$

$$E_2 = k_e \frac{|q_2|}{r_2^2} = k_e \frac{|q_2|}{b^2 + y^2}$$

بكتابة متجه المجال الكهربائي لكل شحنة بدلالة متجه الوحدة نحصل على:

$$\vec{E}_1 = k_e \frac{|q_1|}{a^2 + y^2} \cos\phi \hat{i} + k_e \frac{|q_1|}{a^2 + y^2} \sin\phi \hat{j}$$

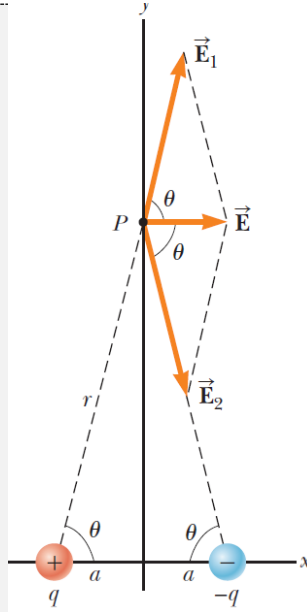
$$\vec{E}_2 = k_e \frac{|q_2|}{b^2 + y^2} \cos\theta \hat{i} + k_e \frac{|q_2|}{b^2 + y^2} \sin\theta \hat{j}$$

بكتابة مركبات محصلة متجه المجال الكهربائي نحصل على:

$$E_x = E_{1x} + E_{2x} = k_e \frac{|q_1|}{a^2 + y^2} \cos\phi + k_e \frac{|q_2|}{b^2 + y^2} \cos\theta \quad (1)$$

$$E_y = E_{1y} + E_{2y} = k_e \frac{|q_1|}{a^2 + y^2} \sin\phi + k_e \frac{|q_2|}{b^2 + y^2} \sin\theta \quad (2)$$

(B) احسب المجال الكهربائي عند النقطة P في حالة ان $|q_1|$ تساوي $|q_2|$ و a تساوي b .



الشكل 13.1 عندما تكون الشحنات في الشكل 12.1 متساوية في المقدار وتبعد مسافة متساوية عن نقطة الأصل، فإن الحالة تصبح متماثلة كما هو موضح هنا.

الحل

تصور المسألة: يوضح الشكل 13.1 حالة خاصة من الحالة السابقة حيث يظهر تماثل في توزيع الشحنات وتعتبر هذه الحالة حالة ثنائي قطب كهربي.

تصنيف المسألة: حيث ان الشكل 13.1 هو حالة خاصة من الحالة العامة الموضحة في الشكل 12.1 فاننا نصنف هذا المثال على ان يمكننا اخذ النتيجة التي توصلنا لها في الجزء (A) وبالتعويض بالقيم المناسبة للمتغيرات.

تحليل المسألة: بالاعتماد على التماثل في الشكل 13.1 نعوض في المعادلتين (1) و(2) من

الجزء (A) بـ $a=b$ و $|q_1|=|q_2|=q$ و $\phi=\theta$

$$E_x = k_e \frac{|q_1|}{a^2+y^2} \cos\phi + k_e \frac{|q_2|}{b^2+y^2} \cos\theta = 2k_e \frac{q}{a^2+y^2} \cos\theta \quad (3)$$

$$E_y = k_e \frac{q}{a^2+y^2} \sin\theta - k_e \frac{q}{a^2+y^2} \sin\theta = 0$$

من الشكل الهندسي في الشكل 13.1 نحسب $\cos\theta$



$$\cos\theta = \frac{a}{b} = \frac{a}{(a^2+y^2)^{1/2}} \quad (4)$$

بالتعويض في المعادلة (3) من المعادلة (4) نحصل على ما يلي:

$$E_x = 2k_e \frac{q}{a^2 + y^2} \frac{a}{(a^2 + y^2)^{1/2}} = k_e \frac{2aq}{(a^2 + y^2)^{3/2}}$$

(C) اوجد المجال الكهربائي الناتج عن ثنائي القطب الكهربائي عند النقطة P اذا كانت المسافة $y \gg a$ من نقطة الأصل.

الحل

في حالة الجزء (B) نجد انه عندما تكون $y \gg a$ فاننا نهمل a^2 بالمقارنة مع y^2 ونكتب المعادلة للمجال الكهربائي في هذه الحالة على النحو التالي:

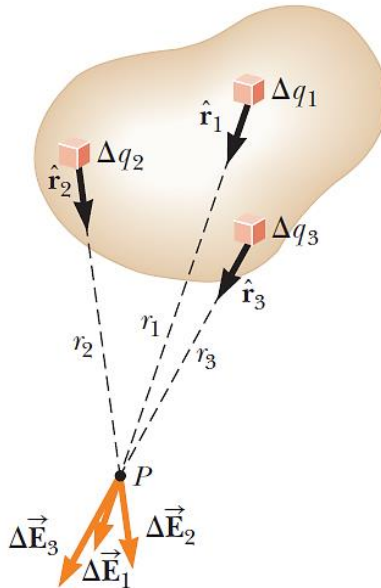
$$E_x \approx k_e \frac{2aq}{y^3} \quad (5)$$

الخلاصة: من المعادلة (5) نلاحظ انه عند نقاط تبعد كثيرا عن ثنائي القطب الكهربائي ولكن على امتداد المنصف العمودي للخط الواصل بين الشحنتين، يكون مقدار المجال الكهربائي الناتج عن ثنائي القطب الكهربائي يتغير بـ $1/r^3$ ، بينما يتغير بشكل اقل في حالة الشحنة النقطية ويكون التغير مع $1/r^2$. هذا لانه عند مسافات بعيدة فان الشحنتين متساويتين في المقدار ومختلفتين في الإشارة فان تأثيرهما يلغي بعضهما البعض.

5.1 المجال الكهربائي لتوزيع متصل من الشحنات من الشحنة الكهربية Charge Distribution

في اغلب الأحيان تكون المسافات بين مجموعة من الشحنات متقاربة كثيرا بحيث تكون اصغر بكثير من المسافة بين مجموعة الشحنات والنقطة المراد حساب المجال الكهربائي عندها. في مثل هذه الحالات، يمكننا ان نعتبر مجموعة الشحنات كتوزيع متصل من الشحنة. هذا يعني ان النظام المكون من شحنات تفصلها مسافات صغيرة جدا يكافئ الشحنة الكلية الموزعة بشكل متصل على امتداد خط او على سطح او خلال حجم، ويوصف توزيع الشحنات هذا اما بالتوزيع الخطي او التوزيع السطحي او التوزيع الحجمي.

لايجاد المجال الكهربائي الناتج عن توزيع متصل من الشحنات، دعنا نستخدم الطريقة التالية. في البداية نقسم الشحنة الكلية إلى عناصر صغيرة، وكل عنصر يحتوي على



الشكل 14.1 المجال الكهربائي عند النقطة P الناتج عن توزيع متصل من الشحنات هو المجموع الاتجاهي للمجالات الكهربائية $\Delta \vec{E}_i$ الناتجة عن كل عناصر الشحنة Δq_i لتوزيع الشحنات. هنا موضح ثلاثة عناصر شحنة.



مقدار صغير من الشحنة Δq كما هو موضح في الشكل 14.1. بعد ذلك نستخدم المعادلة 9.1 لحساب المجال الكهربائي الناتج عن عنصر من عناصر الشحنة عند النقطة P . في النهاية نقوم بحساب محصلة المجال الكهربائي عند النقطة P الناتج عن توزيع الشحنات من خلال تجميع كل مشاركات عناصر الشحنة (أي نطبق مبدأ التجميع).

المجال الكهربائي عند النقطة P الناتج عن عنصر شحنة يحمل شحنة مقدارها Δq هو

$$\Delta \vec{E} = k_e \frac{\Delta q}{r^2} \hat{r}$$

حيث ان r هي المسافة من عنصر الشحنة إلى النقطة P و \hat{r} هو متجه الوحدة المتجه من عنصر الشحنة إلى النقطة P . محصلة المجال الكهربائي عند النقطة P الناتج عن كل عناصر الشحنة في التوزيع المتصل للشحنة الكلية يقدر بالنحو التالي:

$$\vec{E} \approx k_e \sum_i \frac{\Delta q_i}{r_i^2} \hat{r}_i$$

حيث يشير المعامل i إلى العنصر i في التوزيع. لان توزيع الشحنة قد تم اعتباره توزيعا متصلا، فان محصلة المجال الكهربائي عند النقطة P في نهاية Δq_i عندما تؤول إلى الصفر هو على النحو التالي:

$$\vec{E} \approx k_e \lim_{\Delta q_i} \sum_i \frac{\Delta q_i}{r_i^2} \hat{r}_i = k_e \int \frac{dq}{r^2} \hat{r} \quad (1.11)$$

حيث ان التكامل يكون على كامل توزيع الشحنة. التكامل في المعادلة 11.1 هو عملية اتجاهية وعليه يجب التعامل معها بشكل مناسب.

دعنا نشرح هذا النوع من الحسابات من خلال العديد من الأمثلة بحيث تكون الشحنة موزعة على خط او على سطح او على حجم. عندما نجري مثل هذه الحسابات فانه من



المناسب استخدام مبدأ كثافة الشحنة مستخدمين الرموز التالية:

- اذا كانت الشحنة Q موزعة بانتظام خلال حجم V فان كثافة الشحنة الحجمية ρ تعرف على انه

$$\rho \equiv \frac{Q}{V} \quad \text{كثافة الشحنة الحجمية}$$

حيث ρ لها وحدة كولوم لكل متر مكعب C/m^3 .

- اذا كانت الشحنة Q موزعة بانتظام خلال على سطح A فان كثافة الشحنة السطحية σ تعرف على انه

$$\sigma \equiv \frac{Q}{A} \quad \text{كثافة الشحنة السطحية}$$

حيث σ لها وحدة كولوم لكل متر مربع C/m^2 .

- اذا كانت الشحنة Q موزعة بانتظام خلال على سطح l فان كثافة الشحنة الخطية λ تعرف على انه

$$\lambda \equiv \frac{Q}{l} \quad \text{كثافة الشحنة الخطية}$$

حيث λ لها وحدة كولوم لكل متر مربع C/m .

- اذا كانت الشحنة موزعة بانتظام على الحجم أو السطح أو الطول فان مقدار الشحنة dq في عنصر حجم صغير او عنصر سطح صغير او عنصر طول صغير هو على النحو التالي:

$$dq = \rho dV \quad dq = \sigma dA \quad dq = \lambda dl$$



استراتيجية حل المسائل حساب المجال الكهربائي لتوزيع منفصل أو متصل من الشحنة

نوصي باتباع الطريقة التالية لحل المسائل التي تتضمن حساب المجال الكهربائي لشحنات منفصلة او شحنات متصلة.

1. تخيل المسألة: قم بعمل نموذج تخيلي للمسألة وفكر بعناية في الشحنات او التوزيع المتصل للشحنة وتخيل ما نوع المجال الكهربائي الناتج عنها. احرص على البحث عن أي تماثل في ترتيب الشحنات لتساعدك في تخيل المجال الكهربائي.

2. تصنيف المسألة: هل انت بصدد التعامل مع مجموعة من الشحنات المنفصلة او مع توزيع متصل من الشحنات؟ الإجابة على هذا التساؤل يجبرك كيف سوف تستهل حل السؤال كما هو موضح في الخطوة التالية.

3. الحل: (a) اذا كانت المسألة تتعلق بمجموعة من الشحنات المنفصلة استخدم مبدأ التجميع، ومحصلة المجال الكهربائي عند نقطة في الفراغ هي المجموع الاتجاهي للمجالات المنفردة الناتجة عن كل شحنة (المعادلة 10.1). كن حذر جدا عند التعامل مع الكميات المتجهة. ويمكنك العودة إلى المثال 5.1 لتوضيح الية التعامل مع الكميات المتجهة.

(b) اذا كانت المسألة تتعلق بتوزيع متصل من الشحنات عليك ان تستبدل إشارة الجمع الاتجاهي لحساب محصلة المجال الكهربائي لشحنات منفصلة بالتكامل الاتجاهي. قسم التوزيع المتصل للشحنة إلى عناصر متناهية في الصغر، والمجموع الاتجاهي يتم هنا باجراء عملية التكامل على كامل توزيع الشحنة (المعادلة 11.1). الأمثلة على هذا الامر هي 6.1 و 7.1 و 8.1 وتوضح طريقة الحل.

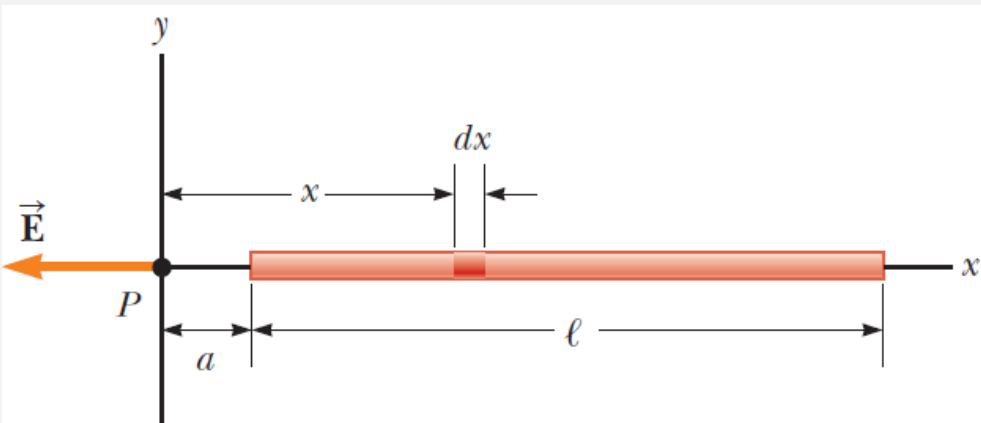
اعتبر التماثل في السؤال عندما تتعامل مع توزيع منفصل للشحنات او توزيع متصل. استفد من كل تماثل في النظام لتسهيل الحسابات. الغاء مركبات المجال المتعامدة على المحور كما في المثال 7.1.

4. الخلاصة: تأكد من ان صيغة المجال الكهربائي متوافقة مع ما كنت تتوقعه في الخطوة الأولى واذا كانت تعكس أي نوع من التماثل قد سبق وان لاحظته. تخيل تغير المعاملات في السؤال مثل مسافة النقطة P التي تبعد عن الشحنات او نصف قطر أي جسم دائري لترى اذا كانت النتائج الحسابية تتغير بشكل مقبول.

مثال 6.1 المجال الكهربائي الناتج عن ساق مشحون

Charged Rod

ساق طوله l عليه شحنة موجبة منتظمة لكل وحدة طول λ وشحنة كلية Q . احسب المجال الكهربائي عند نقطة P موضوعة على امتداد طول محور الساق وعلى مسافة a من نهايته كما هو موضح في الشكل 15.1.



الشكل 15.1 المجال الكهربائي الناتج عن ساق مشحون بانتظام عند النقطة P على امتداد محور x .



الحل

تصور المسألة: المجال الكهربائي $d\vec{E}$ عند النقطة P الناتج عن كل عنصر شحنة على الساق هو في الاتجاه السالب لمحور x لان كل عنصر شحنة يحمل شحنة موجبة.

تصنيف المسألة: لان الساق متصل فاننا نحسب المجال الناتج عن توزيع متصل للشحنة. حيث ان كل عنصر على الساق ينتج عنه مجال كهربي في اتجاه محور x السالب، فان مجموع مشاركاتهم يمكن ايجادها دون الحاجة الى الاعتماد على الجمع الاتجاهي (لانيها كلها في نفس الاتجاه).

تحليل المسألة: دعنا نفترض ان الساق يمتد على امتداد محور x ، و dx هي طول عنصر صغير يحمل شحنة مقدارها dq . لان الساق يمتلك شحنة لكل وحدة طول λ فان الشحنة dq تساوي λdx .

باجاد مقدار المجال الكهربائي عند النقطة P الناتج عن عنصر صغير من الساق يحمل شحنة dq على النحو التالي:

$$dE = k_e \frac{dq}{x^2} = k_e \frac{\lambda dx}{x^2}$$

نحسب مقدار محصلة المجال الكهربائي عند النقطة P باستخدام المعادلة 11.1 على النحو التالي:

$$E = \int_a^{l+a} k_e \lambda \frac{dx}{x^2}$$

لاحظ ان k_e و $\lambda=Q/l$ عبارة عن مقادير ثابتة ويمكن نقلها خارج عملية التكامل وبحساب التكامل نحصل على



$$E = k_e \lambda \int_a^{l+a} \frac{dx}{x^2} = k_e \lambda \left[-\frac{1}{x} \right]_a^{l+a}$$

$$E = k_e \frac{Q}{l} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{l+a} \right)$$

$$\therefore E = \frac{k_e Q}{a(l+a)} \quad (1)$$

الخلاصة: اذا كانت $a \leftarrow 0$ وهذا يعني تحريك الساق إلى اليسار حتى يصبح طرف الساق الايسر عند نقطة الأصل فان $E \leftarrow \infty$. هذا يمثل الشرط في ان النقطة P عند مسافة تساوي صفر من الشحنة وبالتالي فان المجال يصبح لا نهائي.

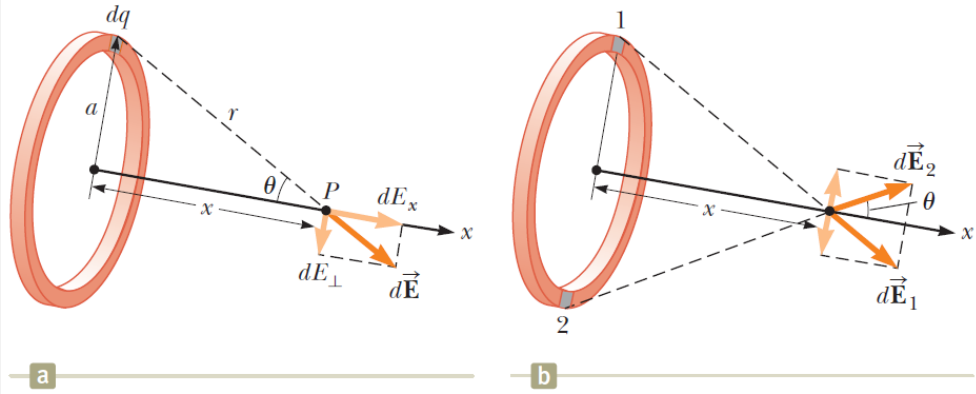
ماذا لو؟ افترض ان النقطة P بعيدة جدا عن الساق. ما هي طبيعة المجال الكهربائي عند مثل هذه النقطة؟

الإجابة: اذا كانت P بعيدة جدا عن الساق فهذا يعني ان $a \gg l$ وبالتالي فان l في مقام المعادلة (1) يمكن ان تهمل ويصبح المجال $E \approx k_e Q/a^2$. وهذا بالضبط هو المجال الكهربائي الناتج عن شحنة نقطية. لهذا عند قيم كبيرة لـ a/l فان التوزيع المتصل للشحنة يصبح مثل الشحنة النقطية وبشحنة مقدارها Q ، حيث النقطة P البعيدة جدا عن الساق فان الساق يبدو من بعيد مثل النقطة بالنسبة لـ P . يمكن الاعتماد على استخدام تقنية النهاية $a/l \leftarrow \infty$ كطريقة جيدة للتحقق من الصيغ الرياضية.

مثال 7.1 المجال الكهربائي لحلقة مشحونة بانتظام The Electric Field of a Uniform Ring of Charge

حلقة نصف قطرها a تحمل شحنة كلية موجبة مقدارها Q موزعة بانتظام. احسب المجال الكهربائي الناتج عن الحلقة المشحونة عند نقطة P تقع على مسافة x من مركزها

على امتداد المحور المركزي العمودي على مستوى الحلقة (الشكل 16.1 a).



الشكل 16.1 حلقة مشحونة بانتظام نصف قطرها a (a) المجال الكهربائي عند P على محور x الناتج عن عنصر الشحنة dq . (b) المجال الكهربائي الكلي عند النقطة P على امتداد المحور x . المركبة العمودية للمجال الكهربائي عند P الناتج عن العنصر 1 يتلاشي بواسطة المركبة العمودية للعنصر 2.

الحل

تصور المسألة: يوضح الشكل 16.1 a المجال الكهربائي $d\vec{E}$ عند النقطة P الناتج عن عنصر شحنة عند أعلى الحلقة. متجه المجال هذا يمكن تحليله إلى مركبتين dE_x موازية لمحور الحلقة و dE_{\perp} العمودية على المحور. الشكل 16.1 b يوضح المجال الكهربائي الناتج عن عنصري شحنة على جانبيين متقابلين من الحلقة. بسبب التماثل في هذه الحالة فإن المركبات العمودية للمجال تلغي بعضها البعض. وهذا متحقق لكل زوج من عناصر الشحنات المتقابلة على محيط الحلقة، لذلك سوف نهمل المركبة العمودية للمجال ونركز على المركبات الموازية لمحور الحلقة والتي يمكن جمعها بسهولة.

تصنيف المسألة: لان الحلقة متصلة فاننا سوف نحسب المجال الكهربائي الناتج عن توزيع متصل للشحنة.

التحليل: نحسب مركبة المجال الكهربائي الموازية لعنصر الشحنة dq على الحلقة:

$$dE_x = k_e \frac{dq}{r^2} \cos\theta = k_e \frac{dq}{a^2 + x^2} \cos\theta \quad (1)$$

من الشكل الهندسي الموضح في الشكل 16.1 يمكن إيجاد $\cos\theta$:

$$\cos\theta = \frac{x}{r} = \frac{x}{(a^2 + x^2)^{1/2}} \quad (2)$$

بالتعويض في المعادلة (1) من المعادلة (2) نحصل على:

$$dE_x = k_e \frac{dq}{a^2 + x^2} \frac{x}{(a^2 + x^2)^{1/2}} = \frac{k_e x}{(a^2 + x^2)^{3/2}} dq$$

كل عناصر الشحنة للحلقة سوف تساهم في المجال الكهربائي عند النقطة P لأنها تبعد مسافات متساوية عن هذه النقطة. باجراء التكامل للحصول على محصلة المجال الكهربائي عند النقطة P .

$$E_x = \int \frac{k_e x}{(a^2 + x^2)^{3/2}} dq = \frac{k_e x}{(a^2 + x^2)^{3/2}} \int dq$$

$$E = \frac{k_e x}{(a^2 + x^2)^{3/2}} Q \quad (3)$$

الخلاصة: تبين هذه النتيجة ان المجال الكهربائي يكون صفرا عند $x=0$. هل هذا يتفق مع التماثل في المسألة؟ علاوة على ذلك نلاحظ ان المعادلة (3) تختزل إلى $k_e Q/x^2$ اذا كانت $x \gg a$ ، أي ان الحلقة تصبح مثل الشحنة النقطية عندما تكون الحلقة بعيدة جدا عن النقطة P .

ماذا لو؟ افترض ان شحنة سالبة وضعت عند مركز الحلقة في الشكل 16.1 وازيحت مسافة صغيرة $x \ll a$ على امتداد المحور x . عندما تتحرر الشحنة، ما نوع حركة الشحنة التي تقوم بها في هذه الحالة.

الإجابة: في صيغة المجال الكهربائي الناتج عن الحلقة المشحونة نفترض ان $x \ll a$ وهذا يعني ان

$$E_x = \frac{k_e Q}{a^3} x$$

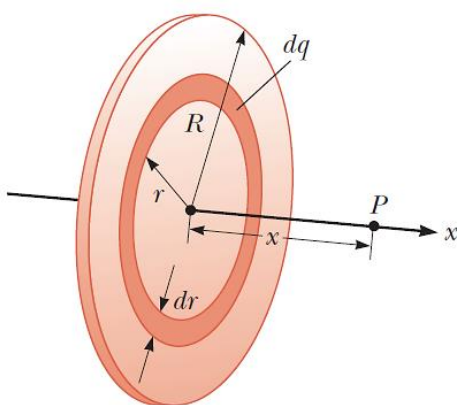
لهذا نستنتج من المعادلة 8.1 ان القوة المؤثرة على الشحنة $-q$ الموضوعه بالقرب من مركز الحلقة هو

$$F_x = -\frac{k_e q Q}{a^3} x$$

حيث ان هذه القوة لها شكل قانون هوك فان حركة الشحنة السالبة هي حركة توافقية بسيطة.

مثال 8.1 المجال الكهربائي لقرص مشحون بانتظام The Electric Field of a Uniformly Charged Disk

قرص نصف قطره R يمتلك شحنة سطحية منتظمة بكثافة σ . احسب المجال الكهربائي عند نقطة P تقع على امتداد المحور العمودي المركزي للقرص على مسافة تبعد x من مركز القرص (الشكل 17.1).



الشكل 17.1 قرص مشحون بانتظام نصف قطره R . المجال الكهربائي عند نقطة محورية P يتجه في اتجاه المحور المركزي، عموديا على مستوى القرص.



الحل

تصور المسألة: اذا اعتبرنا القرص عبارة عن حلقات متحدة المركز، فاننا يمكننا استخدام النتيجة التي حصلنا عليها في المثال 7.1 والتي تعطي المجال الكهربائي الناتج عن حلقة نصف قطرها a وبجمع مساهمات كل الحلقات المكونة للقرص. من التماثل فان المجال الكهربائي عند النقطة المحورية P يجب ان يكون على امتداد المحور المركزي. تصنيف المسألة: لان القرص متصل فاننا نحسب المجال الكهربائي نتيجة توزيع متصل للشحنات.

تحليل المسألة: نقوم بإيجاد مقدار الشحنة dq على الحلقة التي نصف قطرها r وسمكها dr كما هو موضح في الشكل 17.1:

$$dq = \sigma dA = \sigma(2\pi r dr) = 2\pi\sigma r dr$$

باستخدام هذه النتيجة في معادلة E_x في المثال السابق 7.1 (مع استبدال المساف a بـ r و Q بـ Q) لايجاد المجال الكهربائي الناتج عن الحلقة:

$$dE_x = \frac{k_e x}{(r^2 + x^2)^{3/2}} (2\pi\sigma r dr)$$

للحصول على المجال الكهربائي الكلي عند النقطة P نقوم باجراء التكامل لهذه الصيغة على الحدود من $r = 0$ إلى $r = R$ مع ملاحظة ان x ثابتة في هذه الحالة:

$$E_x = k_e x \pi \sigma \int_0^R \frac{2r dr}{(r^2 + x^2)^{3/2}}$$

$$E_x = k_e x \pi \sigma \int_0^R (r^2 + x^2)^{-3/2} d(r^2)$$

$$E_x = k_e x \pi \sigma \left[\frac{(r^2 + x^2)^{-1/2}}{-1/2} \right]_0^R = 2\pi k_e \sigma \left[1 - \frac{x}{(R^2 + x^2)^{1/2}} \right]$$



الخلاصة: هذه النتيجة متحققة لكل القيمة $x > 0$. يمكننا ان نحسب المجال الكهربائي بالقرب من القرص على امتداد المحور بافتراض ان $R \gg x$ ، ولهذا فان الصيغة بين القوسين تختزل إلى الوحدة لتعطي تقريبا للمجال الكهربائي بالقرب من مركز القرص

$$E_x = 2\pi k_e \sigma = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

حيث ان ϵ_0 هو ثابت السماحية للفراغ. في الجزء الثاني من هذا الكتاب سوف نحصل على نفس النتيجة للمجال الكهربائي الناتج عن مستوى لانهائي مشحون بشحنة منتظمة بكثافة توزيع سطحية منتظمة.

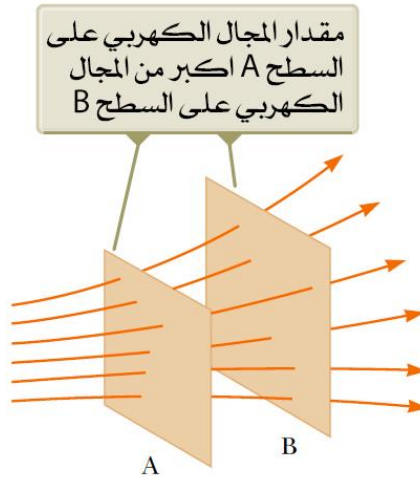
6.1 خطوط المجال الكهربائي Electric Field Lines

لقد قمنا فيما سبق بتعريف المجال الكهربائي رياضيا من خلال المعادلة 7.1. دعنا الان نوضح معنى تصور المجال الكهربائي في تمثيل جرافيكى. افضل طريقة لتصور نماذج المجال الكهربائي هو برسم خطوط تعرف باسم خطوط المجال الكهربائي وأول من قدم هذه الفكرة العالم فارادي Faraday وذلك بربط المجال الكهربائي في منطقة من الفراغ من خلال الطريقة التالية:

- متجه المجال الكهربائي \vec{E} هو المماس لخط المجال الكهربائي عند كل نقطة. يمتلك الخط اتجاه يحدد باسهم لها نفس مقدار متجه المجال الكهربائي. اتجاه الخط يكون في اتجاه القوة المؤثرة على شحنة اختبار موجبة موضوعة في المجال.
- عدد الخطوط لكل وحدة مساحات تمر من خلال مساحة سطحية عموديا على خطوط المجال تتناسب طرديا مع مقدار المجال الكهربائي في تلك المنطقة. لهذا فان

خطوط المجال الكهربائي تكون اقرب من بعضها البعض عندما يكون المجال الكهربائي قويا وتكون خطوط المجال الكهربائي متباعدة عن بعضها البعض عندما يكون المجال الكهربائي ضعيفا.

هذه الخواص موضحة في الشكل 18.1. كثافة خطوط المجال التي تمر في سطح A اكبر من كثافة الخطوط التي تمر من السطح B. لهذا فان مقدار المجال الكهربائي اكبر على السطح A من السطح B. علاوة على انه بسبب ان الخطوط عند مواقع مختلفة تشير إلى اتجاهات مختلفة فان المجال الكهربائي يكون غير منتظما.



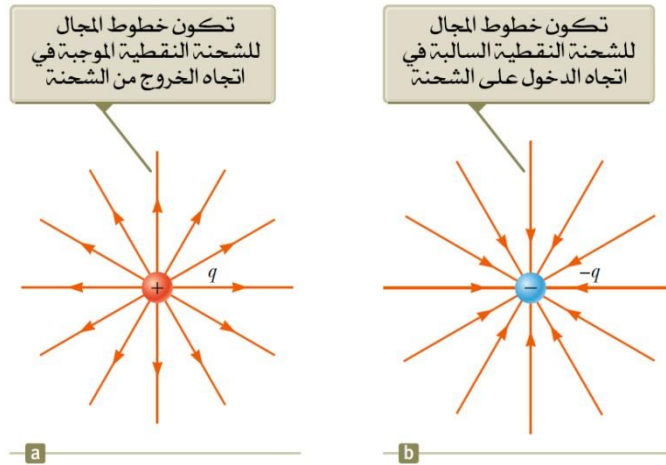
الشكل 18.1 خطوط المجال الكهربائي تخترق سطحين

هل تجد ان هذه العلاقة التي تربط بين شدة المجال الكهربائي وكثافة خطوط المجال تتفق مع المعادلة 9.1، وهي الصيغة التي حصلنا عليها للمجال الكهربائي E باستخدام قانون كولوم؟ للإجابة على هذا السؤال، اعتبر سطح كروي نصف قطره r مركزها عند شحنة نقطية. من التماثل نلاحظ ان مقدار المجال الكهربائي متساوي في كل مكان على سطح



الكرة. عدد الخطوط N التي تخرج من الشحنة تساوي عدد الخطوط التي تخترق السطح الكروي. لهذا فان عدد الخطوط لكل وحدة مساحة على الكرة هو $N/4\pi r^2$ (حيث ان مساحة السطح الكرة هو $4\pi r^2$). لان مقدار المجال الكهربائي E يتناسب مع عدد الخطوط لكل وحدة مساحة نلاحظ ان E تتغير مع $1/r^2$ ، وهذا متفق تماما مع المعادلة 9.1.

خطوط المجال الكهربائي الممثلة للمجال الناتج عن شحنة نقطية موجبة موضحة في الشكل 19.1 a. يمثل هذا الشكل رسم لخطوط المجال الكهربائي في بعدين أي خطوط المجال الكهربائي التي تقع على مستوى الصفحة الذي يمر في الشحنة النقطية.



الشكل 19.1 خطوط المجال الكهربائي لشحنة نقطية. لاحظ ان الشكلين يوضحان خطوط المجال الكهربائي التي تقع على مستوى الصفحة.

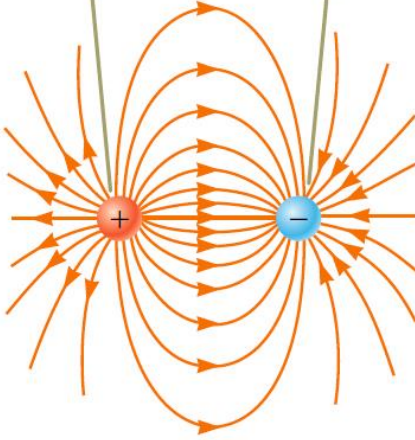
في الواقع تتجه خطوط المجال الكهربائي في اتجاه الخروج من مركز الشحنة في كل الاتجاهات. حيث ان شحنة الاختبار وضعت في هذا المجال فانها سوف تتنافر بالقوة الكهربائية الناتجة عن مصدر الشحنة الموجبة، والخطوط تتجه من المركز في اتجاه الخروج

من مصدر الشحنة الموجبة. خطوط المجال الكهربائي التي تمثل المجال الكهربائي الناتجة عن شحنة سالبة تكون في اتجاه الدخول على الشحنة كما هو موضح في الشكل 19.1 b. في كلا الحالتين فان الخطوط تكون على امتداد الاتجاه القطري وتنتشر في كل الاتجاهات حتى المالا نهائية. لاحظ ان خطوط المجال تصبح متقاربة من بعضها البعض عندما تصل إلى الشحنة، مما يشير إلى ان شدة المجال الكهربائي تزداد كلما اقتربنا من مصدر الشحنة.

القواعد المتبعة لرسم خطوط المجال الكهربائي هي على النحو التالي:

- تبدأ خطوط المجال الكهربائي من الشحنة الموجبة وتنتهي عند الشحنة السالبة. في حالة وجود شحنة واحدة فقط فان خطوط المجال تبدأ او تنتهي في مكان لا نهائي بعيد جدا.
- عدد الخطوط التي تترك الشحنة الموجبة او تصل إلى الشحنة السالبة يتناسب طرديا مع مقدار الشحنة.
- لا يمكن لاي خطي مجال كهربائي ان يتقاطعا.

عدد خطوط المجال التي تترك
الشحنة الموجبة يساوي عدد
خطوط المجال التي تنتهي عند
الشحنة السالبة

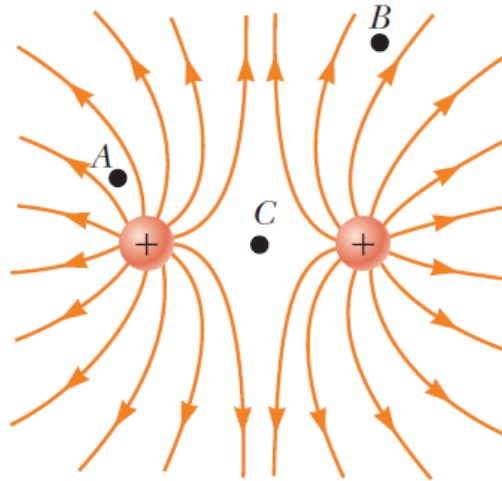


الشكل 20.1 خطوط المجال
الكهربي لشحنتين نقطيتين
متساويتين في المقدار
ومتعاكستين في الإشارة
(ثنائي قطب كهربي).

لقد اخترنا عدد من خطوط المجال تبدأ من أي جسم يحمل شحنة موجبة q_+ إلى ان تكون Cq_+ وعدد الخطوط التي تنتهي على أي جسم مشحون بشحنة سالبة q_- لتكون C/q_- حيث C هو عبارة عن ثابت اختياري للتناسب. بمجرد اختيار C فان عدد الخطوط يكون ثابتا. على سبيل المثال في نظام من شحنتين، اذا كان الجسم 1 يمتلك شحنة والجسم 2 يمتلك شحنة Q_2 ، فان النسبة بين عدد الخطوط المتصلة مع الشحنتين هي $N_2/N_1 = |Q_2/Q_1|$. خطوط المجال الكهربي لشحنتين نقطيتين تكون متساوية في المقدار ولكن متعاكسة في الاتجاه (ثنائي قطب كهربي) كما هو موضح في الشكل 20.1. ولان الشحنتين متساويتين في المقدار فان عدد خطوط المجال التي تبدأ من الشحنة الموجبة يجب ان تساوي عدد الخطوط التي تنتهي عند الشحنة السالبة. عند نقاط قريبة جدا من الشحنتين فان الخطوط تكون قطرية تقريبا كما في حالة شحنة واحدة معزولة. الكثافة العالية لخطوط المجال بين الشحنتين تشير لمنطقة مجال كهربي قوي.

يوضح الشكل 21.1 خطوط المجال الكهربائي بجوار شحنتين متساويتين موجبتين. مرة أخرى خطوط المجال تقريبا قطرية عند النقاط القريبة من أي من الشحنتين، ونفس العدد من الخطوط يخرج من كل شحنة لان الشحنتين متساويتين في المقدار. لعدم وجود شحنة سالبة فان خطوط المجال الكهربائي تنتهي في المالانهاية. عند مسافات كبيرة جدا من الشحنتين، فان المجال الكهربائي يكون مساويا تقريبا لشحنة نقطية مقدارها $2q$.

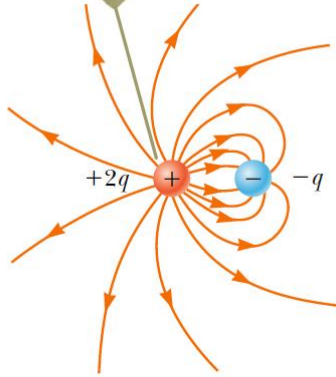
نقطة أخيرة، يوضح الشكل 22.1 مخطط لخطوط المجال الكهربائي المرتبطة مع الشحنة الموجبة $+2q$ وشحنة سالبة $-q$. في هذه الحالة فان عدد الخطوط التي تترك الشحنة $+2q$ اكبر بمرتين من الخطوط التي تنتهي عند الشحنة $-q$. وعليه فان نصف الخطوط فقط التي تترك الشحنة الموجبة ستصل إلى الشحنة السالبة. نفترض ان النصف الباقي ينتهي عند الشحنة السالبة في المالانهاية. اما عند مسافات اكبر بكثير من المسافة الفاصلة بين الشحنتين وخطوط المجال تكون مكافئة لتلك الناتجة عن شحنة واحدة مقدارها $1Q$



الشكل 21.1 خطوط المجال الكهربائي لشحنتين نقطيتين موجبتين. (المواقع A، B، و C وردت في سؤال التفكير 5.1.)



لكل خطين مجال يتركبان
الشحنة $2q+$ هناك خط مجال ينتهي
عند الشحنة $-q$



الشكل 22.1 خطوط المجال الكهربائي لشحنة نقطية مقدارها $+2q$ وشحنة نقطية أخرى مقدارها $-q$.

5.1 سؤال للتفكير

رتب مقادير المجال الكهربائي عند النقاط A و B و C الموضحة في الشكل 21.1 (الأكبر في الأول).

7.1 حركة الجسيم المشحون في مجال كهربائي منتظم Motion of a Charged Particle in a Uniform Electric Field

عندما يوضع جسيم كتلته m ومشحون بشحنة q في مجال كهربائي \vec{E} فإن القوة الكهربائية المبذولة على الشحنة هي $q\vec{E}$ طبقاً للمعادلة 8.1. إذا كانت هذه هي القوة الوحيدة التي تؤثر على الجسيم، فإنها ستكون القوة المحصلة وتتسبب في تسارع الجسيم ولهذا فإن

$$\vec{F}_e = q\vec{E} = m\vec{a}$$

وتسارع الجسيم هو

$$\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$$

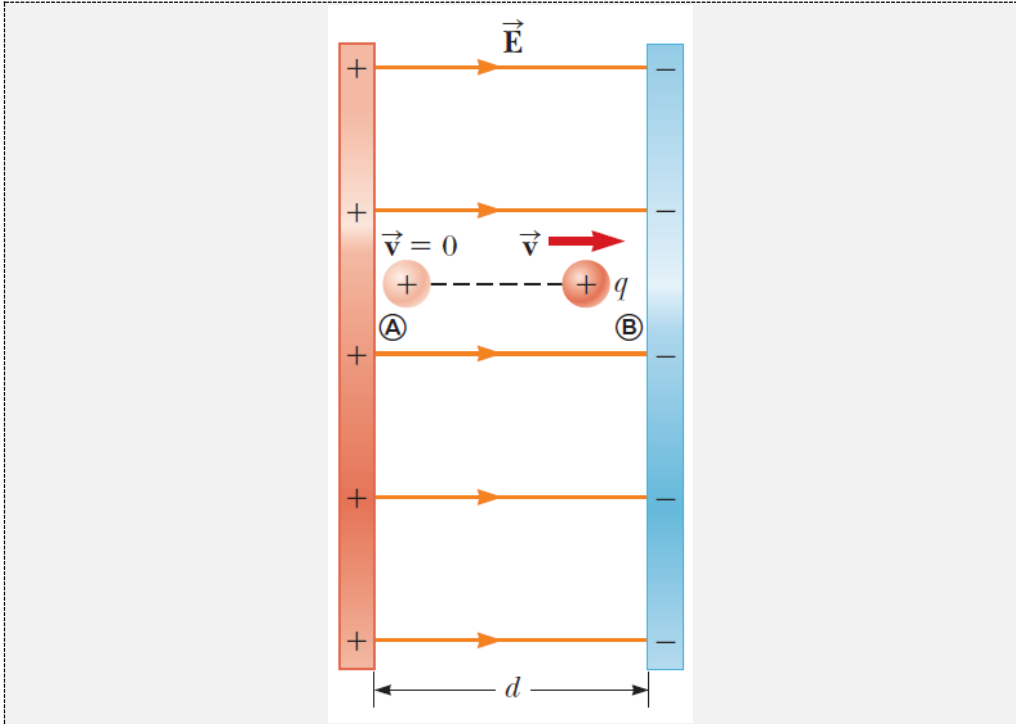


إذا كانت \vec{E} منتظمة (أي أن لها مقدار واتجاه ثابت) فإن القوة الكهربائية المؤثرة على الجسم تكون ثابتة ويمكن تطبيق قوانين الحركة عند ثبوت التسارع. إذا كان الجسم يمتلك شحنة موجبة فإن تسارعه سيكون في اتجاه المجال الكهربائي. إذا كان الجسم يمتلك شحنة سالبة فإن تسارعه سيكون في عكس اتجاه المجال الكهربائي.

مثال 9.1 تسارع شحنة موجبة An Accelerating Positive Charge

مجال كهربائي منتظم \vec{E} على امتداد محور x بين لوحين مشحونين متوازيين منفصلين بمسافة d كما في الشكل 23.1. شحنة نقطية موجبة q كتلتها m أطلقت من السكون عند النقطة A بالقرب من اللوح الموجب وتسارعت إلى النقطة B بالقرب من اللوح السالب.

(A) اوجد سرعة الجسم عند النقطة B.



الشكل 23.1 شحنة نقطية موجبة q في مجال كهربائي منتظم \vec{E} يتعرض لتسارع ثابت في اتجاه المجال.

الحل

تصور المسألة: عندما توضع الشحنة الموجبة عند A فانها تتعرض لقوة كهربائية في اتجاه اليمين في الشكل 23.1 بسبب المجال الكهربائي المتجه ناحية اليمين.

تصنيف المسألة: لان المجال الكهربائي منتظم فان قوة كهربائية منتظمة تؤثر على الشحنة. لهذا يمكن اعتبار الجسم المشحون على انه جسم يتحرك تحت تأثير تسارع ثابت.

التحليل: استخدم معادلات الحركة تحت تأثير تسارع ثابت لاجاد سرعة الجسم كدالة في الموضع.

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a(x_f - x_i) = 0 + 2a(d - 0) = 2ad$$



بالحل بالنسبة للسرعة v_f والتعويض عن مقدار التسارع من المعادلة 12.1 نحصل على:

$$v_f = \sqrt{2ad} = \sqrt{2 \left(\frac{qE}{m} \right) d} = \sqrt{\frac{2qEd}{m}}$$

(B) اوجد سرعة الجسيم عند B على اعتبار ان النظام غير معزول

الحل

تصنيف المسألة: من صيغة السؤال نستنتج ان الشحنة هي نظام غير معزول، وبالتالي تنتقل الطاقة إلى الشحنة من خلال الشغل المبذول بواسطة القوة الكهربائية على الشحنة. الحالة الابتدائية للنظام هو عندما يكون الجسيم عند النقطة A، والحالة النهائية هي عندما يكون الجسيم عند النقطة B.

تحليل المسألة: اكتب معادلة الحفظ على الطاقة لنظام الجسيم المشحون

$$W = \Delta K$$

باستبدال الشغل وطاقة الحركة بالقيم المناسبة لهذه الحالة

$$F_e \Delta x = K_B - K_A = \frac{1}{2} m v_f^2 - 0$$

$$\therefore v_f = \sqrt{\frac{2F_e \Delta x}{m}}$$

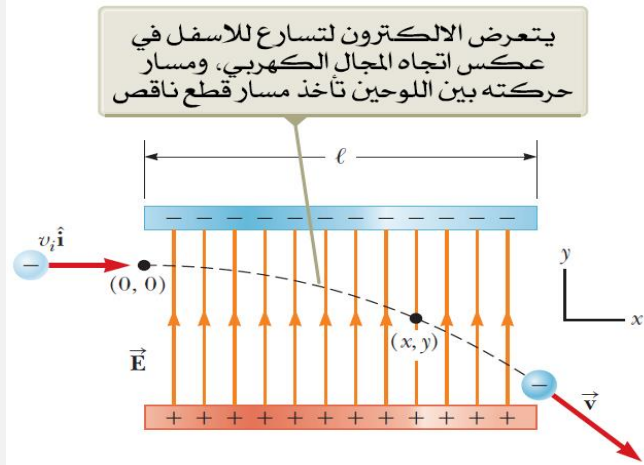
بالتعويض عن القوة الكهربائية F_e والازاحة Δx نحصل على:

$$\therefore v_f = \sqrt{\frac{2(qE)(d)}{m}} = \sqrt{\frac{2qEd}{m}}$$

الخلاصة: إجابة الجزء (B) مثل إجابة الجزء (A) كما توقعنا.

مثال 10.1 تسريع الالكترون An Accelerated Electron

يدخل الكترون منطقة مجال كهربي منتظم كما هو موضح في الشكل 24.1 بسرعة مقدارها $v_i=3.00 \times 10^6 \text{m/s}$ وشدة المجال الكهربي 200N/C . الطول الافقي للوح $l=0.100 \text{m}$ (A) أوجد تسارع الالكترون عندما يكون في المجال الكهربي.



الشكل 24.1 يقذف الكترون افقيا في مجال كهربي منتظم ناتج عن لوحين متوازيين مشحونين.

الحل:

تصور المسألة: هذا المثال يختلف عن المثال السابق لان سرعة الجسم المشحون تكون في البداية عمودية على خطوط المجال الكهربي. (في المثال 9.1 كانت سرعة الجسم المشحون موازية دائما لخطوط المجال الكهربي). نتيجة لذلك فان الالكترون في هذا المثال يسلك مسارا منحنيا كما هو موضح في الشكل 24.1

تصنيف المسألة: لان المجال الكهربي منتظم فان الالكترون سوف يتعرض لتأثير قوة كهربية منتظمة. لايجاد تسارع الالكترون يمكننا ان نمذج الالكترون على انه جسم يتعرض لقوى محصلة.



تحليل المسألة: اتجاه تسارع الالكترون للأسفل كما هو موضح في الشكل 24.1 أي عكس اتجاه خطوط المجال الكهربائي.

بدمج قانون نيوتن الثاني مع مقدار القوة الكهربائية المعطى في المعادلة 8.1 لايجاد المركبة y لتسارع الالكترون:

$$\sum F_y = ma_y \rightarrow a_y = \frac{\sum F_y}{m} = -\frac{eE}{m_e}$$

بالتعويض عن قيم المتغيرات نحصل على

$$a_y = -\frac{(1.60 \times 10^{-19}C)(200N/C)}{9.11 \times 10^{-31}kg} = -3.51 \times 10^{13}m/s^2$$

(B) افترض ان الالكترون يدخل المجال الكهربائي عند زمن $t=0$ اوجد المدة الزمنية حتى يترك الالكترون المجال الكهربائي.

تصنيف المسألة: لان المجال الكهربائي يؤثر فقط على الاتجاه الرأسي في الشكل 24.1 فان حركة الجسم في الاتجاه الافقي يمكن ان تحلل بنمذجتها كجسيم يتحرك بسرعة ثابتة.

تحليل المسألة: من معادلات الحركة في بعد واحد نحسب الزمن اللازم لوصول الالكترون الطرف الأيمن للوحين

$$x_f = x_i + v_x t \rightarrow t = \frac{x_f - x_i}{v_x}$$

بالتعويض عن القيم نحصل على

$$t = \frac{l - 0}{v_x} = \frac{0.100m}{3.00 \times 10^6 m/s} = 3.33 \times 10^{-8}s$$



(C) افترض ان الموضع الرأسي للالكترون عندما يدخل في المجال الكهربي هو $y_i=0$ ، ما هو الموضع الرأسي عندما يغادر المجال الكهربي؟

الحل

تصنيف المسألة: لان القوة الكهربية ثابتة في الشكل 24.1 فان حركة الجسم في الاتجاه الرأسي يمكن ان نمذجها كجسيم يتحرك بسرعة منتظمة.
تحليل المسألة: استخدم معادلات الحركة في بعد واحد لحساب موضع الجسم عند أي لحظة من الزمن.

$$y_f = y_i + v_{yi}t + \frac{1}{2}a_y t^2$$

بالتعويض عن القيم العددية نحصل على:

$$\begin{aligned} y_f &= 0 + 0 + \frac{1}{2}(-3.51 \times 10^{13} \text{m/s}^2)(3.33 \times 10^{-8} \text{s})^2 \\ &= -0.0195 \text{ m} = -1.95 \text{ cm} \end{aligned}$$

الخلاصة: اذا دخل الالكترون عند اسفل اللوح السالب في الشكل 24.1 والمسافة الفاصلة بين اللوحين اقل من القيمة التي قمنا بحسابها، فان الالكترون سوف يصطدم في اللوح الموجب.

لقد اهلنا قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة على الالكترون ويعد هذا تقريب جيد عند التعامل مع الاجسام الذرية. لمجال كهربي 200N/C فان النسبة بين مقدار القوة الكهربية eE إلى مقدار قوة الجاذبية الأرضية mg يصل إلى 10^{12} للالكترون و 10^9 للبروتون.



مبادئ ومفاهيم Concepts and Principles

المجال الكهربائي \vec{E} عند نقطة في الفراغ يعرف على انه القوة الكهربائي \vec{F}_e المؤثرة على شحنة اختبار صغيرة موجبة موضوعة عن تلك النقطة مقسومة على مقدار شحنة الاختبار q_0 :

$$\vec{E} \equiv \frac{\vec{F}_e}{q_0} \quad (1.7)$$

تمتلك الشحنات الكهربائية الخواص الهامة التالية:

1. الشحنات المتعاكسة تتجاذب مع بعضها البعض والشحنات المتشابهة تتنافر مع بعضها البعض.
2. الشحنة الكلية في النظام المعزول محفوظة.
3. الشحنة مكممة.

المواد الموصلة هي مواد يكون فيها الالكترونات قابلة للحركة. والمواد العازلة هي مواد تكون الالكترونات فيها مقيدة وغير حرة الحركة.

ينص قانون كولوم على ان القوة الكهربائية المبذولة بواسطة شحنة نقطية q_1 على شحنة نقطية ثانية q_2 هو

$$\vec{F}_{12} = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}_{12} \quad (3.6)$$

حيث r هي المسافة بين الشحنتين و \hat{r}_{12} هو متجه الوحدة ويتجه من q_1 إلى q_2 . والثابت k_e يعرف باسم ثابت كولوم وله قيمة $k_e = 8.99 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$.

القوة الكهربائية المؤثرة على شحنة q موضوعة في مجال كهربائي \vec{E}

$$\vec{F}_e = q\vec{E} \quad (1.8)$$



عند مسافة r من الشحنة النقطية q فإن المجال الكهربائي الناتج عن الشحنة هو

$$\vec{E} = k_e \frac{q}{r^2} \hat{r} \quad (1.9)$$

حيث \hat{r} هو متجه الوحدة ويتجه من الشحنة إلى النقطة المراد إيجاد المجال الكهربائي عندها. المجال الكهربائي يكون في اتجاه الخروج من الشحنة الموجبة وفي اتجاه الدخول على الشحنة السالبة.

المجال الكهربائي الناتج عن مجموعة من الشحنات النقطية يمكن حسابه باستخدام مبدأ التجميع. أي ان محصلة المجال الكهربائي عند نقطة ما يساوي المجموع الاتجاهي للمجالات الكهربائي الناتجة عن كل الشحنات:

$$\vec{E} = k_e \sum_i \frac{q_i}{r_i^2} \hat{r}_i \quad (1.10)$$

المجال الكهربائي عند نقطة ما نتيجة لتوزيع متصل من الشحنات هو

$$\vec{E} = k_e \int \frac{dq}{r^2} \hat{r} \quad (1.11)$$

حيث ان dq هي عنصر من الشحنة المتصلة و r هي المسافة من العنصر إلى النقطة المراد إيجاد المجال الكهربائي عندها.



أسئلة موضوعية Objective Questions

1. مقدار القوة الكهربائية بين بروتونين هي $2.30 \times 10^{-26} \text{N}$. ما مقدار المسافة بينهما؟
(a) 0.100m (b) 0.022m (c) 3.10m (d) 0.0057m (e) 0.480m
2. احسب مقدار المجال الكهربائي الناتج عن بروتون في ذرة الهيدروجين عن مسافة $5.29 \times 10^{-11} \text{m}$ ، حيث يتوقع ان يكون الالكتران في الذرة.
(a) 10^{-11}N/C (b) 10^8N/C (c) 10^{14}N/C (d) 10^6N/C (e) 10^{12}N/C
3. كرة صغيرة جدا كتلتها $5.00 \times 10^{-3} \text{kg}$ وتحمل شحنة مقدارها $4.00 \mu\text{C}$. ما مقدار المجال الكهربائي المتجه للأعلى والذي سوف يعادل وزن الكرة بحيث تكون الكرة معلقة بدون حركة فوق الأرض؟ (a) $8.21 \times 10^2 \text{N/C}$ (b) $1.22 \times 10^4 \text{N/C}$ (c) $2.00 \times 10^{-2} \text{N/C}$ (d) $5.11 \times 10^6 \text{N/C}$ (e) $3.72 \times 10^3 \text{N/C}$
4. الكترون سرعته $3.00 \times 10^6 \text{m/s}$ يدخل مجال كهربائي منتظم مقداره $1.00 \times 10^3 \text{N/m}$. حيث ان خطوط المجال الكهربائي توازي سرعة الالكتران وفي نفس اتجاه سرعته. ما مقدار المسافة التي يتحركها الالكتران قبل ان يتوقف؟ (a) 2.56cm (b) 5.12cm (c) 11.2cm (d) 3.34cm (e) 4.24cm
5. شحنة نقطية مقدارها -4.00nC موضوعة عند النقطة $(0, 1.00) \text{m}$. ما مقدار المركبة x للمجال الكهربائي الناتج عن الشحنة النقطية عند $(4.00, -2.00) \text{m}$ ؟
(a) 1.15N/m (b) -0.864N/m (c) 1.44N/m (d) -1.15N/m (e) 0.864N/m
6. شحنتين نقطيتين تجذبان بعضهما البعض بقوة كهربائية مقدارها F . اذا قمنا بتقليل مقدار الشحنة على احدهما إلى ثلث قيمتها الاصلية وزادت المسافة



بينهما إلى الضعف، ما هي محصلة القوة الكهربية بينهما؟ $1/3F$ (b) $1/12F$ (a) $3/2F$ (e) $3/4F$ (d) $1/6F$ (c)

7. ماذا يحدث عندما يوضع مادة عازلة مشحونة بالقرب من جسم معدني غير مشحون؟ (a) يتنافران مع بعضها البعض. (b) يتجاذبان مع بعضها البعض. (c) ربما يتجاذبان او يتنافران مع بعضها البعض بالاعتماد على اذا ما كانت الشحنة على المادة العازلة موجبة او سالبة. (d) لا يبذلان أي نوع من القوة الكهروستاتيكية على بعضها البعض. (e) المادة العازلة المشحونة تفرغ شحنتها تلقائيا.

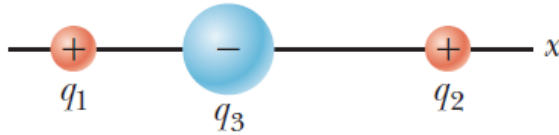
8. ما الذي يمنع الجاذبية من سحبك إلى مركز الكهرة الأرضية؟ اختر افضل إجابة. (a) كثافة المادة كبيرة جدا. (b) النواة الموجبة لذرات جسمك تتنافر مع النواة الموجبة لذرات الكرة الأرضية. (c) كثافة الأرض اكبر كثيرا من كثافة جسمك. (d) الذرات مترابطة مع بعض بروابط كيميائية. (e) الكترولونات سطح الأرض و سطح جسمك تتنافر مع بعضها البعض.

9. (i) اعطي لقطعة نقدية معدنية شحنة كهربية موجبة. هل كتلتها (a) تزداد بشكل يمكن قياسه، (b) تزداد بمقدار صغير جدا يمكن قياسه مباشرة، (c) تبقى كما هي، (d) تتناقص بمقدار صغير جدا يمكن قياسه مباشرة، (e) تتناقص بمقدار يمكن قياسه. (ii) الان اعطي للقطعة النقدية شحنة كهربية سالبة. ماذا يحدث لكتلتها؟ اختر من نفس الخيارات للجزء (i).

10. افترض اجسام مشحونة وثابتة كما في الشكل OQ1.10 . لاحظ عدم وجود إمكانية ان ترى الشحنة q_2 الشحنة q_1 . اذا كنت عند الشحنة q_1 فانك

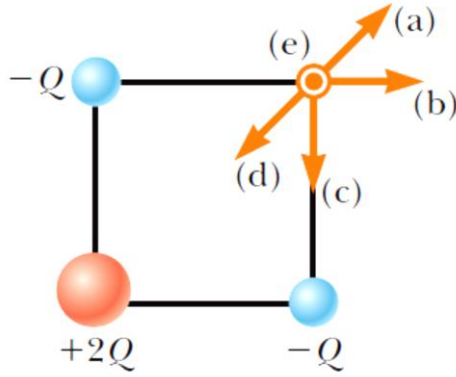


لن تستطيع ان ترى الشحنة q_2 لانها تقع خلف الشحنة q_3 . كيف تحسب القوة الكهربائية المبذولة على الشحنة q_1 ؟ (a) نحسب القوة المبذولة بواسطة الشحنة q_2 على الشحنة q_1 فقط. (b) نحسب القوة المبذولة بواسطة الشحنة q_3 على الشحنة q_1 . (c) نجمع القوة التي تبذلها الشحنة q_2 على الشحنة q_1 مع القوة التي تبذلها الشحنة q_3 على الشحنة q_1 . (d) نجمع القوة التي تبذلها الشحنة q_3 على جزء محدد من القوة q_2 التي تبذلها. (e) لا يوجد طريقة محددة لحساب القوة المؤثرة على الشحنة q_1 .



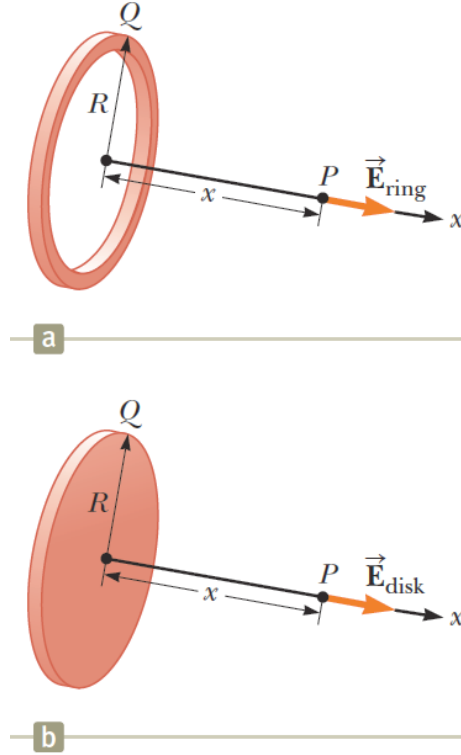
الشكل OQ1.10

11. ثلاثة جسيمات مشحونة مرتبة على اركان مربع كما هو موضح في الشكل OQ1.11. (i) ما هو اتجاه المجال الكهربائي عند الركن العلوي الأيمن؟ (a) للأعلى وإلى اليمين. (b) إلى اليمين. (c) للأسفل. (d) للأسفل وإلى اليسار. (e) عمودي على المستوى الصفحة وللخارج. (ii) افترض ان الشحنة $+2Q$ عند الركن السفلي الايسر قد ازيلت. هل يتغير مقدار المجال الكهربائي عند الركن العلوي الأيمن (a) يصبح اكبر، (b) يصبح اقل، (c) يبقى كما هو، (d) يتغير بشكل لا يمكن توقعه؟



الشكل OQ1.11

12. حلقة دائرية مشحونة نصف قطرها b وتحمل شحنة كلية مقدارها q موزعة عليها بانتظام. ما مقدار المجال الكهربائي عند مركز الحلقة؟ (a) 0 (b) $k_e q/b^2$ (c) $k_e q^2/b^2$ (d) $k_e q^2/b$ (e) لا توجد إجابة صحيحة.
13. افترض حلقة مشحونة بانتظام نصف قطرها R وتحمل شحنة Q تنتج مجال كهربائي E_{ring} عند النقطة P على محورها عند مسافة تبعد x من مركز الحلقة كما هو موضح في الشكل OQ1.13a. الآن نفس الشحنة Q انتشرت بانتظام على المساحة الدائرية المحاطة بالحلقة، مكونة قرص مشحون بنفس نصف القطر كما في الشكل OQ1.13b. كيف تقارن بين المجال الكهربائي للقرص E_{disk} عند النقطة P مع المجال الكهربائي الناتج عن الحلقة عند نفس النقطة؟ (a) $E_{disk} < E_{ring}$ (b) $E_{disk} = E_{ring}$ (c) $E_{disk} > E_{ring}$ (d) لا يمكن تحديده.



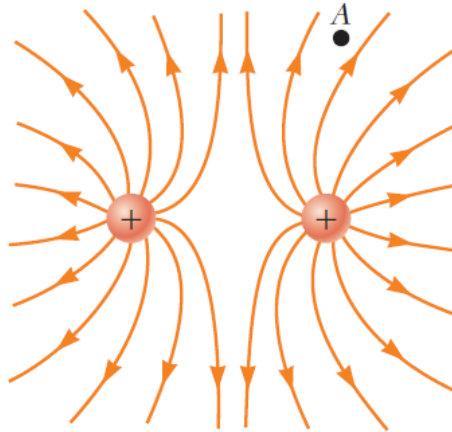
الشكل OQ1.13

14. جسم مشحون بشحنة سالبة موضوع في مجال كهربائي يتجه رأسياً إلى الأعلى. ما هو اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة على هذا الجسم المشحون؟ (a) للأعلى. (b) للأسفل. (c) لا توجد قوة. (d) القوة قد تكون في أي اتجاه.
15. حرر إلكترون حر وبروتون حر في مجالين كهربائيين متماثلين. (i) قارن بين مقدار القوة الكهربائية المبذولة على الجسمين؟ (a) أكبر بملايين المرات للإلكترون. (b) أكبر بالآلاف المرات للإلكترون. (c) متساويين. (d) أصغر بالآلاف المرات للإلكترون. (e) أصغر بملايين المرات للإلكترون. (ii) قارن بين مقدار تسارعهما. اختر من الخيارات في الجزء (i)



أسئلة نظرية Conceptual Questions

1. جسم من الزجاج شحن بالدلك بشحنة موجبة من خلال قطعة من الحرير. في عملية الدلك هل اضعف بروتونات إلى الجسم او ان الكترولونات فقدت منه إلى قطعة الحرير؟
2. لماذا يجب على العاملين في المستشفى ارتداء احذية موصلة للكهرباء عند العمل في مناطق بها اكسجين في غرف العمليات؟ ماذا يمكن ان يحدث اذا ارتدى العاملون احذية بنعل مطاطي؟
3. وضع شخص في كرة معدنية كبيرة مجوفة معزولة عن الأرض. اذا وضعت شحنة كبيرة على الكرة، هل يتضرر الشخص عندما يلمس السطح الداخلي للكرة.
4. عاش طالب في منطقة استوائية ولم يتعرض طوال تلك الفترة لاي تأثير لشرارة كهربية الا عندما انتقل إلى منطقة شتوية. اشرح السبب.
5. اذا كان جسم معلق A ينجذب إلى جسم مشحون B، هل نستنتج من ذلك ان الجسم A قد سُحن؟ وضح مع الشرح.
6. اعتبر النقطة A في الشكل CQ1.6 عند مسافة من شحنتين نقطيتين موجبتين. (a) هل من الممكن للمجال الكهربي ان يوجد عند النقطة A في الفراغ؟ اشرح. (b) هل توجد شحنة عند تلك النقطة. (c) هل توجد قوة عند تلك النقطة؟ اشرح.



الشكل CQ1.6

7. اذا وجد مجال كهربائي عند سطح الأرض يتجه للأسفل نحو الأرض. ما هي إشارة الشحنة الكهربائية على الأرض في هذه الحالة؟
8. مشط مشحون في الغالب يجذب قطع ورق جافة صغيرة ومن ثم تنطلق بعيدا عندما تلمس المشط. اشرح لماذا يحدث ذلك.
9. بالون يلتصق بالسقف بعد شحنه بشحنة سالبة بواسطة الدلك. (a) هل يحدث هذا بسبب ان السقف مشحون بشحنة موجبة؟ (b) لماذا يسقط البالون في نهاية الامر؟
10. اعتبر وجود اثنين من ثنائي القطب الكهربائي في الفراغ. كل ثنائي قطب يمتلك شحنة كلية تساوي صفر. (a) هل توجد قوة كهربائية بين ثنائي القطب الكهربائيين، أي هل يمكن لجسمين يمتلكان شحنة كلية تساوي صفر ان يبذلا قوة كهربائية على بعضهما البعض؟ (b) اذا كان الامر كذلك هل تكون القوة من نوع قوة التجاذب او التنافر؟
11. (a) هل تتغير الحياة اذا الالكترتون كان يحمل شحنة موجبة والبروتون



يحمل شحنة سالبة؟ (b) هل اختيار الشحنات له أي تأثير على الخواص الفيزيائية والتفاعلات الكي مائية؟ اشرح اجابتك.

مسائل Problems

1. تشير لمسائل تطبيق مباشر 2. تشير لمسائل متوسطة الصعوبة 3. تشير إلى مسائل تحدي

1. مسائل لها حل مفصل في دليل الطالب الإرشادي 1. تشير إلى مسائل لها حل مفصل فيديو على موقع داعم للكتاب. Q/C تشير إلى مسائل تحتاج إلى حل وتفسير S تشير إلى مسائل رمزية تتطلب تفسير M تشير إلى مسائل لها توضيح على الموقع الداعم للكتاب GP تشير إلى مسائل إرشادية Shaded تشير إلى مسائل مزدوجة تطور مفاهيم برموز وقيم عددية.

الجزء 1.1 خواص الشحنات الكهربية Properties of Electric Charges

1. اوجد الشحنة والكتلة للجسيمات التالي. اقترح: ابدأ بالبحث عن كتلة الذرة المتعادلة في الجدول الدوري للعناصر. (a) ذرة هيدروجين متأينة H^+ (b) ذرة صوديوم متأينة Na^+ (c) ايون كلور Cl^- (d) ذرة كاديوم ثنائية التأيين $Ca^{++}=Ca^{2+}$ (e) مركز جزيء امونيا وتمثل بايون N^{3-} (f) ذرة نيتروجين رباعية التأيين N^{4+} (g) نواة ذرة نيتروجين (h) ايون H_2O^- .

2. (a) احسب عدد الالكترونات في قطعة متعادلة كهربيا من الفضة كتلتها 10.0g. تمتلك الفضة 47 الكترون في كل ذرة وكتلتها المولية 107.87g/mol. (b) تخيل انك اضفت الكترونات إلى قطعة الفضة حتى أصبحت سالبة الشحنة وقيمتها 1.00mC. كم عدد الالكترونات التي أضيفت لكل 10^9 الكترون موجودة من قبل؟



الجزء 2.1 شحن الاجسام بالحث Charging Objects by Induction

الجزء 3.1 قانون كولوم Coulomb's Law

3. جزيء DNA طوله $2.17\mu\text{m}$. نهايتي الجزيء تصبح أحادية التأين أي طرف سالب والطرف الاخر موجب. اذا علمت ان الشكل الحلزوني للجزيء يتصرف مثل زنبرك مضغوط بمقدار 1.00% نتيجة للشحنات على طرفيه. احسب ثابت الزنبرك للجزيء.

4. ذكر العالم ريتشارد فاينمان Richard Feynman انه اذا شخصين وقفا على مسافة ذراع من بعضهما البعض وكل شخص امتلك 1% الكترولونات اكثر من البروتونات، فان قوة التنافر بينهما ستكون كافية لرفع وزن يساوي الكرة الأرضية. قم بحسابات تقديرية لتوضيح هذه الفرضية.

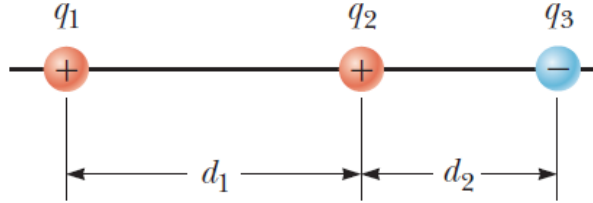
5. شحنة نقطية مقدارها 7.50nC موضوعة على بعد 1.80m من شحنة نقطية مقدارها 4.20nC . (a) اوجد مقدار القوة الكهربائية التي يؤثر بها جسيم على الاخر. (b) هل القوة تجاذبية او تنافرية؟

6. (a) اوجد مقدار القوة الكهربائية بين ايون Na^+ وايون Cl^- منفصلين بمسافة 0.50nm . (b) هل الإجابة تتغير اذا ايون الصوديوم استبدل بـ Li^+ وايون الكلوريد استبدل بـ Br^- ؟ اشرح اجابتك.

7. (a) بروتونين في جزيء منفصلين بمسافة مقدارها $3.80 \times 10^{-10}\text{m}$. اوجد مقدار القوة الكهربائية التي يبذلها بروتون على الاخر. (b) اذكر كيف ان مقدار هذه القوة يقارن مع قوة الجاذبية بينهما. (c) ماذا لو؟ ماذا يجب ان تكون نسبة الشحنة الى الكتلة للجسيم اذا مقدار القوة الجاذبية بين اثنين من هذه الجسيمات تساوي مقدار القوة الكهربائية بينهما؟

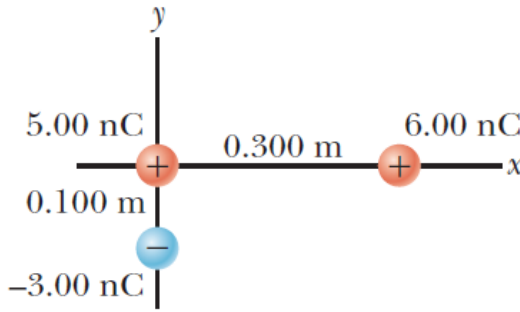


8. ثلاثة شحنات نقطية موضوعة على امتداد خط مستقيم كما هو موضح في الشكل P1.8، حيث ان الشحنة $q_1=6.00\mu\text{C}$ والشحنة $q_2=1.50\mu\text{C}$ والشحنة $q_3=-2.00\mu\text{C}$. المسافات الفاصلة بينهم هي $d_1=3.00\text{cm}$ و $d_2=2.00\text{cm}$. احسب مقدار واتجاه حصلة القوة الكهربية على (a) الشحنة q_1 و (b) الشحنة q_2 و (c) الشحنة q_3 .



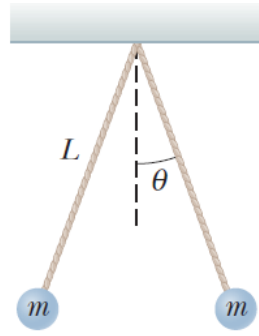
الشكل P1.8

9. ثلاثة شحنات نقطية مرتبة كما في الشكل P1.9. اوجد (a) مقدار و (b) اتجاه القوة الكهربية على الجسم الموجود عند نقطة الأصل في الشكل.



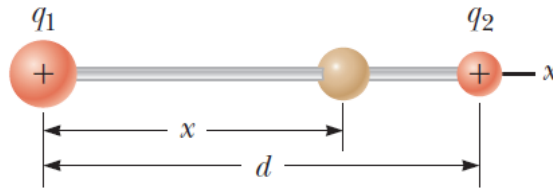
الشكل P1.9

10. كرتين معدنيتين صغيرتين كتلة كل كرة $m=0.200\text{g}$ ، علقنا كبندول بواسطة خيط رفيع طوله L كما هو موضح في الشكل P1.10. اعطي للكرتين نفس الشحنة ومقدارها 7.2nC ، واصبحتا في حالة اتزان عندما كانت زاوية كل خيط هي $\theta=5.00^\circ$ مع الرأس. ما مقدار طول الخيط؟



الشكل P1.10

11. **QIC** كرتين صغيرتين تمتلكان شحنة موجبة $q_1=3q$ و $q_2=q$ مثبتتين على طرفين متقابلين من ساق افقي معزول طوله $d=1.50\text{m}$. الكرة ذات الشحنة q_1 عند نقطة الأصل. كما هو موضح في الشكل P1.11، اذا وضعت كرة صغيرة ثالثة على الساق بحيث تكون حرة الحركة. (a) ما هو الموضع x للشحنة الثالثة الذي تكون عنده في حالة اتزان؟ (b) هل الاتزان مستقرا؟



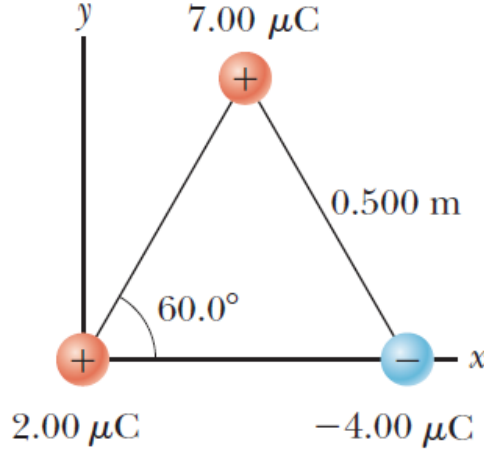
الشكل P1.11

12. **S QIC** كرتين صغيرتين تمتلكان شحنات q_1 و q_2 لهما نفس الإشارة مثبتتين على طرفين متقابلين من ساق افقي معزول طوله d . الكرة ذات الشحنة q_1 عند نقطة الأصل. كما هو موضح في الشكل P1.11، اذا وضعت كرة صغيرة ثالثة على الساق بحيث تكون حرة الحركة. (a) ما هو الموضع x للشحنة الثالثة الذي تكون عنده في حالة اتزان؟ (b) هل الاتزان مستقرا؟



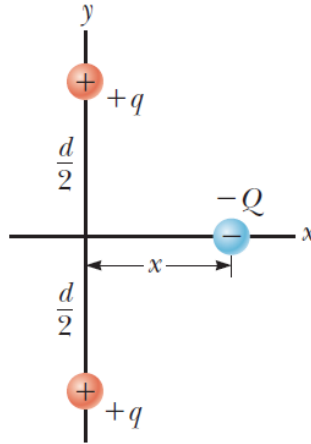
M.13 ثلاثة جسيمات مشحونة موضوعة على اركان مثلث متساوي الاضلاع كما هو

موضح في الشكل P1.13. احسب محصلة القوة الكهربية على الشحنة $7.00\mu\text{C}$.



الشكل P1.13

S.14 جسيمين متماثلين كل واحد يمتلك شحنة مقدارها $+q$ ، مثبتتين في الفراغ والمسافة بينهما d . شحنة ثالثة حرة الحركة تحمل شحنة مقدارها $-Q$ في حالة سكون عند المنصف العمودي للشحنتين الثابتتين على مسافة مقدارها x من نقطة النصف بين الشحنتين (الشكل P1.14). (a) اثبت انه اذا كانت المسافة x صغيرة جدا بالمقارنة مع المسافة d ، فان حركة الشحنة $-Q$ هي حركة توافقية بسيطة على امتداد المنصف العمودي. (b) حدد الزمن الدوري للحركة. (c) ما السرعة التي تتحرك بها الشحنة $-Q$ عندما تكون عند نقطة الوسط بين الشحنتين الثابتتين اذا حررت من السكون عند مسافة $a \ll d$ من نقطة الوسط؟



الشكل P1.14

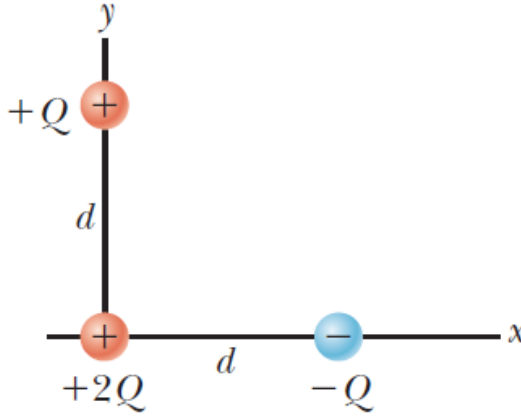
15. في نظرية بور لذرة الهيدروجين، يتحرك الإلكترون في مسار دائري حول البروتون، حيث نصف قطر المدار الدائري هو $5.29 \times 10^{-11} \text{m}$. (a) اوجد مقدار القوة الكهربائية المبذولة على كل جسيم. (b) اذا كانت هذه القوة تسبب في التسارع المركزي للإلكترون ما مقدار السرعة التي يتحرك بها الإلكترون؟

16. GP جسيم A يحمل شحنة مقدارها $3.00 \times 10^{-4} \text{C}$ عند نقطة الأصل، وجسيم B بشحنة مقدارها $-6.00 \times 10^{-4} \text{C}$ عند $(4.00 \text{m}, 0)$ ، والجسيم C يحمل شحنة مقدارها $1.00 \times 10^{-4} \text{C}$ عند $(0, 3.00)$. نرغب في إيجاد محصلة القوة الكهربائية عند الجسيم C. (a) ما هي المركبة x للقوة الكهربائية المبذولة بواسطة الجسيم A على الجسيم C؟ (b) ما هي المركبة y للقوة المبذولة بواسطة الجسيم A على الجسيم C؟ (c) اوجد مقدار القوة المبذولة بواسطة الجسيم B على الجسيم C. (d) احسب المركبة x للقوة المبذولة بواسطة الجسيم B على الجسيم C. (e) احسب المركبة y للقوة الكهربائية المبذولة بواسطة الجسيم B على الجسيم C. (f) اجمع مركبات x من الجزئين (a) و (d) للحصول على المركبة x لمحصلة القوة الكهربائية المؤثرة على الجسيم C. (g) بالمثل اوجد المركبة y لمحصلة القوة



الكهربية المؤثرة على الجسم C. (h) أوجد مقدار واتجاه محصلة القوة الكهربية المؤثرة على الجسم C.

17. S شحنة نقطية مقدارها $+2Q$ موضوعة عند نقطة الأصل والشحنة النقطية $-Q$ موضوعة على امتداد محور x عند $x=d$ كما هو موضح في الشكل P1.17. أوجد الصيغة التي تعبر عن القوة المحصلة المؤثرة على شحنة نقطية ثالثة $+Q$ موضوعة على امتداد المحور y عند $y=d$.



الشكل P1.17

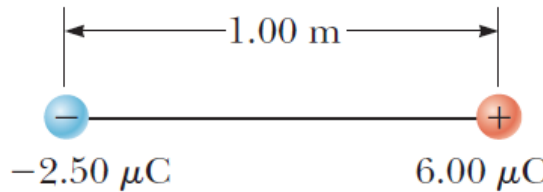
18. لماذا الحالة التالية مستحيلة؟ جسيان من التراب متماثلين كتلة كل جسيم $1.00\mu\text{g}$ تسبح في الفراغ، بعيدا عن تأثير أي كلا من المجال الكهربي او الجاذبية الأرضية ومستقرة بالنسبة للجسيم الاخر. كلا الجسمين يحملان شحنات كهربية متماثلة في المقدار والاشارة. القوة الكهربي والجاذبية بينهما وجد ان لها نفس المقدار أي ان الجسمين يتعرضان لنفس لقوة محصلة تساوي صفر وتبقى وبالتالي تبقى المسافة بينهما ثابتة.

19. كرتين صغيرتين موصلتين متماثلتين المسافة بين مركزيهما 0.300m. اعطي لكرة منهما شحنة مقدارها 12.0nC و اعطي للآخرى شحنة مقدارها -18.0nC. (a) أوجد القوة الكهربائية المبذولة بواسطة احد الكرتين على الأخرى. (b) ماذا لو؟ تم توصيل الكرتين بسلك موصل. اوجد القوة الكهربائية التي تؤثر بها احدى الكرتين على الأخرى بعد ان وصلا لحالة الاتزان.

الجزء 4.1 المجال الكهربائي The Electric Field

20. جسم صغير كتلته 3.80g وشحنته $-18.0\mu\text{C}$ معلق بدون حركة فوق الأرض عندما تعرض لمجال كهربائي منتظم عمودي على الأرض. ما مقدار واتجاه المجال الكهربائي؟

21. M في الشكل P1.21 حدد النقطة التي ينعدم عندها المجال الكهربائي.

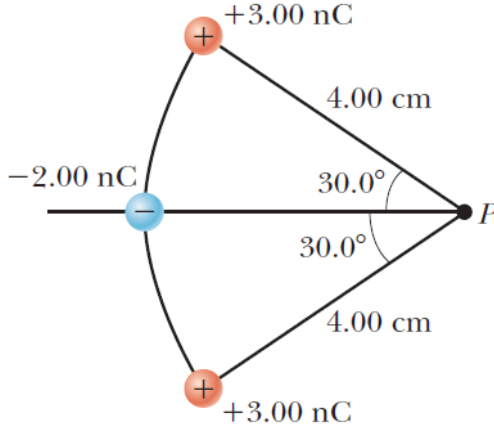


الشكل P1.21

22. ثلاثة جسيمات مشحونة موضوعة على اركان مثلث متساوي الاضلاع كما هو موضح في الشكل P1.13. (a) احسب المجال الكهربائي عند الشحنة $2.00\mu\text{C}$ الناتج عن الشحنتين $7.00\mu\text{C}$ و $-4.00\mu\text{C}$. (b) استخدم اجابتك على الجزء (a) لتحديد القوة المؤثرة على الشحنة $2.00\mu\text{C}$.



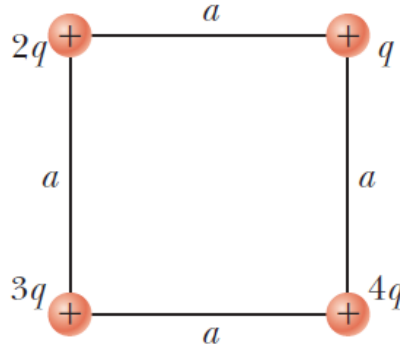
23. ثلاثة شحنات نقطية موضوعة على قوس دائري كما هو موضح في الشكل P1.23. (a) ما هو محصلة المجال الكهربائي عند النقطة P، عند مركز القوس؟ (b) اوجد القوة الكهربائية المبذولة على الشحنة -5.00nC الموضوعة عند النقطة P.



الشكل P1.23

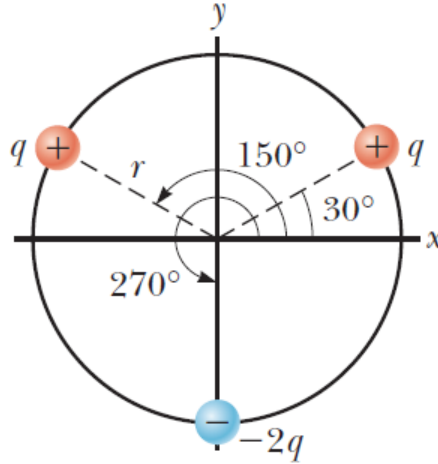
24. **SQIC** جسمين مشحونين موضوعين على محور x . الجسم الأول مشحون بشحنة $+Q$ عند $x=-a$. والجسيم الثاني غير معلوم الشحنة وموضوع عند $x=+3a$. محصلة المجال الكهربائي لهذه الشحنات عند نقطة الأصل له قيمة تساوي $2k_eQ/a^2$. كم عدد المتغيرات الممكنة للشحنة المجهولة مع الشرح و اوجد القيم الممكنة.

25. **S** أربعة جسيمات مشحونة عند اركان مربع طول ضلعه a كما هو موضح في الشكل P1.25. حدد (a) المجال الكهربائي عند الشحنة q . (b) اوجد محصلة القوة الكهربائية المؤثرة على الشحنة q .



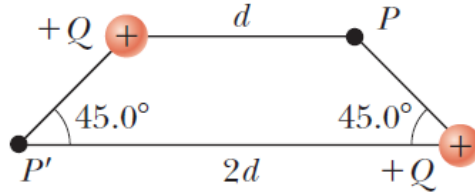
الشكل P1.25

26. S تقع ثلاثة شحنات على محيط دائرة نصف قطرها عند الزوايا 30° و 150° و 270° كما هو موضح في الشكل P1.26. أوجد صيغة محصلة المجال الكهربائي عند مركز الدائرة.



الشكل P1.26

27. S جسيمين مشحونين بشحنة متساوية عند ركنين متقابلين لشبه منحرف كما هو موضح في الشكل P1.27. أوجد الصيغة لمحصلة المجال الكهربائي عند النقطة P و (b) عند النقطة P'.



الشكل P1.27

28. **Q/C** اعتبر عدد n من الجسيمات المشحونة بشحنة موجبة كل منها بمقدار Q/n موضوعة بشكل متماثل على محيط دائرة نصف قطرها a . (a) احسب مقدار المجال الكهربائي عند مسافة x من مركز الدائرة وعلى الخط المار بمركزها وعمودي على مستوى الدائرة. (b) اشرح لماذا هذه النتيجة مماثلة تماما للنتيجة حساب المثال 7.1.

الجزء 5.1 المجال الكهربائي لتوزيع متصل من الشحنات Electric Field of a Continuous Charge Distribution

29. ساق طوله 14.0cm مشحون بانتظام ويمتلك شحنة كلية مقدارها $-22\mu\text{C}$. حدد (a) مقدار و (b) اتجاه المجال الكهربائي على امتداد محور الساق عند نقطة تبعد 36.0cm من مركزه.

30. قرص نصف قطره 35.0cm مشحون بانتظام بكثافة شحنة مقدارها $7.90 \times 10^{-3}\text{C/m}^2$. احسب المجال الكهربائي عيل محور القرص عند (a) 5.00cm و (b) 10.0cm و (c) 50.0cm و (d) 200cm من مركز القرص.

31. **M** حلقة نصف قطرها 10.0cm تمتلك شحنة كلية مقدارها $75.0\mu\text{C}$. اوجد المجال الكهربائي على محور الحلقة عند (a) 1.00cm و (b) 5.0cm و (c) 30.0cm و (d) 100cm من مركز الحلقة.



Q1C.32 يشق المثال 8.1 الصيغة اللازمة ليجاد المجال الكهربائي عند نقطة على محور قرص مشحون بانتظام. اعتبر قرص نصف قطره $R=3.00\text{cm}$ يمتلك شحنة موزعة بانتظام مقدارها $+5.20\mu\text{C}$. (a) باستخدام نتيجة المثال 8.1 احسب المجال الكهربائي عند نقطة على المحور وتبعد مسافة 3.00mm من المركز. (b) ماذا لو؟ اشرح كيف ان إجابة الجزء (a) تقارن مع المجال الكهربائي المحسوب بالتقريب للمجال القريب والذي يساوي $E=\sigma/2\epsilon_0$. (سوف نشق هذه العلاقة في الجزء القادم من الكتاب). (c) باستخدام نتيجة المثال 8.1 احسب المجال الكهربائي عند نقطة على المحور وتبعد مسافة 30.0cm من مركز القرص. (d) ماذا لو؟ اشرح كيف ان إجابة الجزء (c) تقارن مع المجال الكهربائي الناتج عن اعتبار القرص كجسيم مشحون بشحنة $+5.20\mu\text{C}$ عند مسافة 30.0cm .

S.33 خط متواصل مشحون على امتداد المحور x يمتد من $x=+x_0$ إلى المالا نهائية. يحمل الخط شحنة بتوزيع منتظم بكثافة شحنة λ_0 . ما هو (a) مقدار و (b) اتجاه المجال الكهربائي عند نقطة الأصل.

S.34 المجال الكهربائي على امتداد محور قرص مشحون بانتظام نصف قطره R ويمحل شحنة كلية Q تم حسابها كما ورد في المثال 8.1. اثبت ان المجال الكهربائي عند مسافة x اكبر بكثير من R يؤول إلى مقدار المجال الكهربائي لجسيم مشحون بشحنة $Q=\sigma\pi R^2$. اقتراح: اثبت في البداية ان $x/(x^2+R^2)^{1/2}=(1+R^2/x^2)^{-1/2}$ واستخدم العلاقة $(1+\delta)^n \approx 1+n\delta$ عندما تكون $\delta \ll 1$.

M.35 ساق معزول ومشحون بانتظام طوله 14.0cm ثني ليأخذ شكل نصف دائرة كما هو موضح في الشكل P1.35. يمتلك الساق شحنة كلية مقدارها $-7.50\mu\text{C}$. أوجد

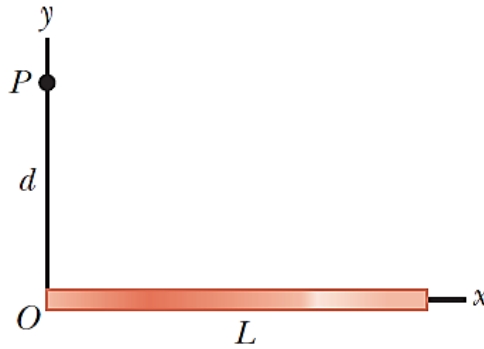


(a) مقدار و (b) اتجاه المجال الكهربائي عند النقطة O في مركز نصف الدائرة.



الشكل P1.35

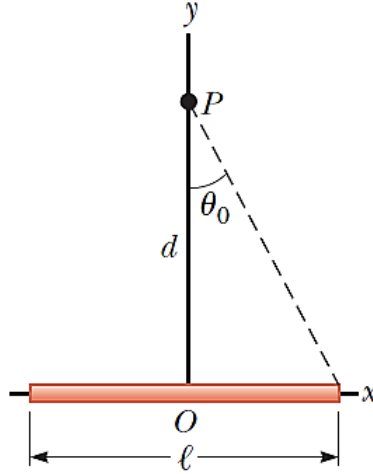
36. **SQIC** ساق مشحونة بانتظام بطوله L ويحمل شحنة كلية مقدارها Q موضوع على امتداد محور x كما هو موضح في الشكل P1.36. (a) أوجد مركبات المجال الكهربائي عند النقطة P على محور y على مسافة d من نقطة الأصل. (b) ما هي القيم التقريبية لمركبات المجال الكهربائي عندما $d \gg L$ ؟ اشرح لماذا تلك النتائج كانت متوقعة.



الشكل P1.36

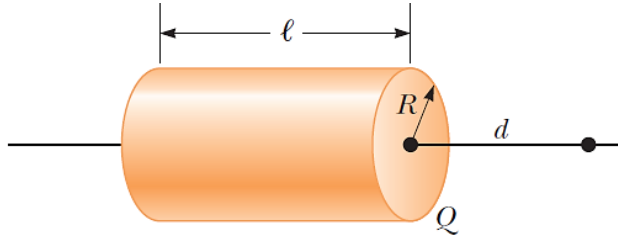
37. **S** ساق رفيع طوله l ويحمل شحنة منتظمة لكل وحدة طول مقدارها λ تقع على امتداد المحور x كما هو موضح في الشكل P1.37. (a) اثبت ان المجال الكهربائي عند

النقطة P ، على مسافة d من الساق على امتداد المحور العمودي المنصف للساق، لا يمتلك مركبة x ويعطى بـ $E=2k_e\lambda\sin\theta_0/d$. (b) ماذا لو؟ باستخدام نتيجة الجزء (a) اثبت ان المجال الكهربائي لساق لانهايي هو $E=2k_e\lambda/d$.



الشكل P1.37

38. S (a) اعتبر قشرة اسطوانية رقيقة الجدران مشحونة بانتظام وتمتلك شحنة كلية مقدارها Q ، ونصف قطرها R ، وطولها l . حدد المجال الكهربائي عند نقطة تبعد مسافة d من الجانب الأيمن للأسطوانة كما هو موضح في الشكل P1.38. اقترح: استخدم نتيجة المثال 7.1 وتعامل مع الأسطوانة على انها مجموعة من الحلقات المشحونة. (b) ماذا لو؟ اعتبر الان أسطوانة مصممة بنفس الابعاد وتحمل نفس الشحنة. استخدم نتيجة المثال 8.1 لايجاد المجال الكهربائي الناتج عنها عند نفس النقطة.

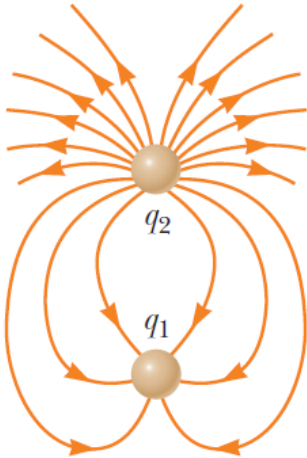


الشكل P1.38

الجزء 6.1 خطوط المجال الكهربائي Electric Field Lins

39. ساق مشحونة بشحنة سالبة موزعة بانتظام لكل وحدة طول. ارسم مخطط لخطوط المجال الكهربائي في مستوى يحتوي على الساق.

40. قرص مشحون بشحنة موجبة موزعة بانتظام لكل وحدة مساحة σ كما هو موضح في المثال 8.1. ارسم خطوط المجال الكهربائي في مستوى عمودي على مستوى القرص ويمر بمركزه.



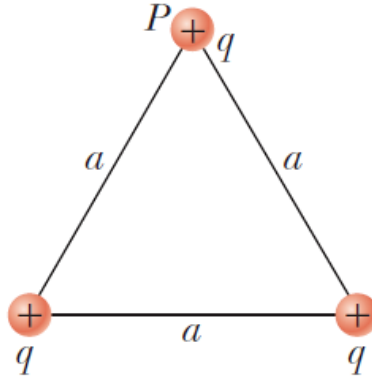
الشكل P1.41

41. يوضح الشكل P1.41 خطوط المجال الكهربائي لجسيمين مشحونين منفصلين بواسطة مسافة صغيرة. (a) حدد النسبة q_1/q_2 . (b) ما هي إشارة كلا من q_1 و q_2 ؟

42. S ثلاثة شحنات موجبة متساوية مقدار كل منها q موضوعة عند اركان مثلث متساوي الاضلاع طول ضلعه a

كما هو موضح في الشكل P1.42. افترض ان الشحنات الثلاثة مع بعضها البعض تنشأ مجالا كهربيا. (a) ارسم خطوط المجال الكهربائي في مستوى الشحنات. (b) اوجد موضع النقطة التي يكون عندها المجال الكهربائي يساوي صفر. ما (c) مقدار و (d) اتجاه

المجال الكهربائي عند P الناتج عن الشحنتين على قاعدة المثلث؟



الشكل P1.42

الجزء 7.1 حركة جسيم مشحون في مجال كهربائي منتظم Motion of a Charged Particle in a Uniform Electric Field

43. إلكترون وبروتون موضوعين في حالة سكون في مجال كهربائي منتظم مقداره 520 N/C . احسب سرعة كل جسيم بعد تحريره بمدة 48.0 ns .

44. اطلق بروتون في اتجاه محور x الموجب في منطقة مجال كهربائي منتظم $\vec{E} = (-6.00 \times 10^5) \hat{i} \text{ N/C}$ عند الزمن $t = 0$. يتحرك البروتون مسافة 7.00 cm ويتوقف. حدد (a) تسارع البروتون، و (b) سرعته الابتدائية، و (c) الفترة الزمنية التي تحرك فيه البروتون حتى توقف.

45. يتسارع بروتون من السكون في مجال كهربائي منتظم مقدارها 640 N/C . عند لحظة أخرى كانت سرعته 1.20 Mm/s . (a) اوجد تسارع البروتون. (b) ما هي الفترة الزمنية التي احتاجها البروتون للوصول إلى هذه السرعة. (c) ما مقدار المسافة التي قطعها البروتون خلال هذه الفترة الزمنية؟ (d) ما هي طاقة حركته عند نهاية الفترة



الزمينة؟

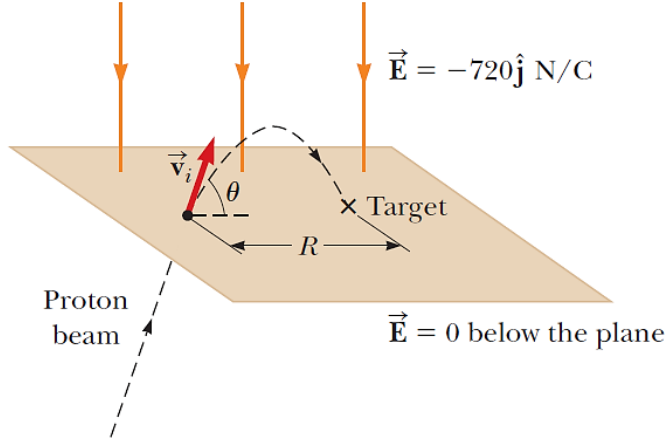
46. **Q/C** لوحين معدنيين في اتجاه افقي مساحة كل لوح 10cm^2 ويبعدان بمسافة 1.00cm عن بعضهما البعض حيث احدهما فوق الاخر. اعطي لهما شحنات متساوي في المقدار ومختلفة في الإشارة حتى تكون مجال كهربي للاسفل مقداره $2.00 \times 10^{-3}\text{N/C}$ في الفراغ بينهما. جسيم كتلته $2.00 \times 10^{-16}\text{kg}$ ومشحون بشحنة موجبة مقدارها $1.00 \times 10^{-6}\text{C}$ تنطلق من مركز اللوح السفلي السالب الشحنة بسرعة ابتدائية مقدارها $1.00 \times 10^5\text{m/s}$ عند زاوية 37.0° فوق الافقي. (a) أوصل مسار حركة الجسيم، و (b) في أي لوح سوف يصطدم به الجسيم؟ (c) اين يصطدم بالنسبة لنقطة الانطلاق؟

47. **S** الكترونات في شعاع الكتروني تمتلك طاقة حركة K . ما هي (a) مقدار و (b) اتجاه المجال الكهربي الذي سوف يعمل على إيقاف هذه الالكترونات في مسافة مقدارها d .

48. **GP** اطلقت بروتونات بسرعة ابتدائية $v_i = 9.55\text{km/s}$ من منطقة خالية من المجال الكهربي خلال مستوى وفي منطقة يوجد فيها مجال كهربي منتظم $\vec{E} = -720\hat{j}\text{N/C}$ موجود فوق المستوى كما هو موضح في الشكل P1.48. متجه السرعة الابتدائية للبروتونات يصنع زاوية مقدارها θ مع المستوى. البروتونات التي تصدم الهدف هي تلك التي تقع على مسافة افقية مقدارها $R = 1.27\text{mm}$ من نقطة تقطع عندها البروتونات المستوى وتدخل المجال الكهربي. نرغب في إيجاد الزاوية θ التي عندها يجب ان تمر البروتونات من خلال المستوى وتصطدم بالهدف. (a) ما هو النموذج التحليلي الذي يصف الحركة الافقية للبروتونات فوق المستوى؟ (b) ما هو النموذج التحليلي الذي يصف الحركة الافقية للبروتونات فوق المستوى؟ (c) اكتب صيغة للتعبير عن علاقة R بدلالة كلا من v_i و E وشحنة وكتلة البروتون والزاوية θ . (d)



أوجد قيمتين ممكنتين للزاوية θ . (e) أوجد الفترة الزمنية التي خلالها يكون البروتون فوق المستوى في الشكل P1.48 لكل من الزاويتين θ الممكنتين.



الشكل P1.48

49. M يتحرك بروتون بسرعة $4.50 \times 10^5 \text{ m/s}$ في الاتجاه الأفقي. يدخل في مجال كهربائي رأسي مقداره $9.60 \times 10^3 \text{ N/C}$. باهمال أي تأثير لقوى الجاذبية الأرضية أوجد (a) الزمن اللازم للبروتون ليتحرك مسافة مقدارها 5.00 cm أفقياً، (b) مقدار ازاحته الرأسية خلال الفترة الزمنية التي احتاجها ليتحرك مسافة 5.00 cm أفقياً. (c) المركبات الأفقية والرأسية لسرعته بعد أن تحرك مسافة 5.00 cm أفقياً.



إجابات أسئلة للتفكير

1. (a), (c), (e)
2. (e)
3. (b)
4. (a)
5. A, B, C

إجابات المسائل الفردية

1. (a) $+1.60 \times 10^{-19}$ C, 1.67×10^{-27} kg
(b) $+1.60 \times 10^{-19}$ C, 3.82×10^{-26} kg
(c) $+1.60 \times 10^{-19}$ C, 5.89×10^{-26} kg
(d) $+3.20 \times 10^{-19}$ C, 6.65×10^{-26} kg
(e) -4.80×10^{-19} C, 2.33×10^{-26} kg
(f) $+6.40 \times 10^{-19}$ C, 2.33×10^{-26} kg
(g) $+1.12 \times 10^{-18}$ C, 2.33×10^{-26} kg
(h) -1.60×10^{-19} C, 2.99×10^{-26} kg
3. 2.25×10^{-9} N/m
5. (a) 8.74×10^{-8} N (b) repulsive
7. (a) 1.60×10^{-9} N (b) 1.24×10^{36} times larger
(c) 8.62×10^{-11} C/kg
9. (a) 1.38×10^{-5} N (b) 77.5° below the negative x axis
11. (a) 0.951 m (b) yes, if the third bead has positive charge
13. 0.872 N at 330°
15. (a) 8.24×10^{-8} N (b) 2.19×10^6 m/s

17. $k_e \frac{Q^2}{d^2} \left[\frac{1}{2\sqrt{2}} \hat{i} + \left(2 - \frac{1}{2\sqrt{2}} \right) \hat{j} \right]$



19. (a) 2.16×10^{-5} N toward the other (b) 8.99×10^{-7} N away from the other

21. 1.82 m to the left of the -2.50-mC charge

23. (a) 1.80×10^4 N/C to the right (b) 8.98×10^{-5} N to the left

25. (a) $\frac{k_e q}{a^2} (3.06\hat{i} + 5.06\hat{j})$ (b) $\frac{k_e q^2}{a^2} (3.06\hat{i} + 5.06\hat{j})$

(a) $k_e \frac{Q}{d^2} [(1 - \sqrt{2})\hat{i} + \sqrt{2}\hat{j}]$

27. (b) $-k_e \frac{Q}{4d^2} [(1 + 4\sqrt{2})\hat{i} + 4\sqrt{2}\hat{j}]$

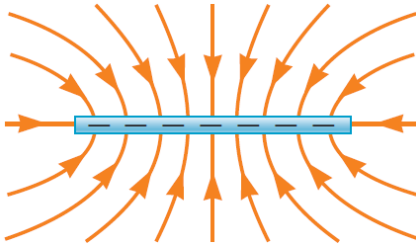
29. (a) 1.59×10^6 N/C (b) toward the rod

31. (a) 6.64×10^6 N/C (b) 2.41×10^7 N/C

(c) 6.39×10^6 N/C (d) 6.64×10^5 N/C

33. (a) $k_e \frac{\lambda_0}{x_0}$ (b) to the left

35. (a) 2.16×10^7 N/C (b) to the left



39.

41. (a) -1/3 (b) q_1 is negative, and q_2 is positive.

43. 4.38×10^6 m/s for the electron; 2.39×10^3 m/s for the Proton

45. (a) 6.13×10^{10} m/s² (b) 1.96×10^{-5} s (c) 11.7 m (d) 1.20×10^{-15} J

47. (a) K/ed (b) in the direction of the velocity of the electron

49. (a) 111 ns (b) 5.68 mm (c) $(450\hat{i} + 102\hat{j})$ km/s



د. حازم فلاح سكيك

استاذ الفيزياء المشارك بجامعة الازهر - غزة

- ★ رئيس قسم الفيزياء بجامعة الازهر - غزة في الفترة 1998-1993
- ★ مؤسس وعميد كلية الدراسات المتوسطة بجامعة الازهر - غزة من الفترة 2005-1996
- ★ عميد القبول والتسجيل بجامعة الازهر - غزة في الفترتين 2000-1998 و 2007-2008
- ★ مدير الحاسب الالي بجامعة الازهر - غزة في الفترة من 2000-1994
- ★ رئيس وحدة تكنولوجيا المعلومات بجامعة الازهر - غزة في الفترة من 2005-2000

- ★ مؤسس موقع الفيزياء التعليمي
- ★ مؤسس اكااديمية الفيزياء للتعليم الالكتروني
- ★ مؤسس مركز الترجمة العلمي
- ★ مؤسس قناة الفيزياء التعليمي على اليوتيوب
- ★ مؤسس ورئيس تحرير مجلة الفيزياء العصرية

لمزيد من المعلومات يرجى زيارة

المؤسسة الإعلامية لشبكة الفيزياء التعليمية

www.hazemsakeek.net

