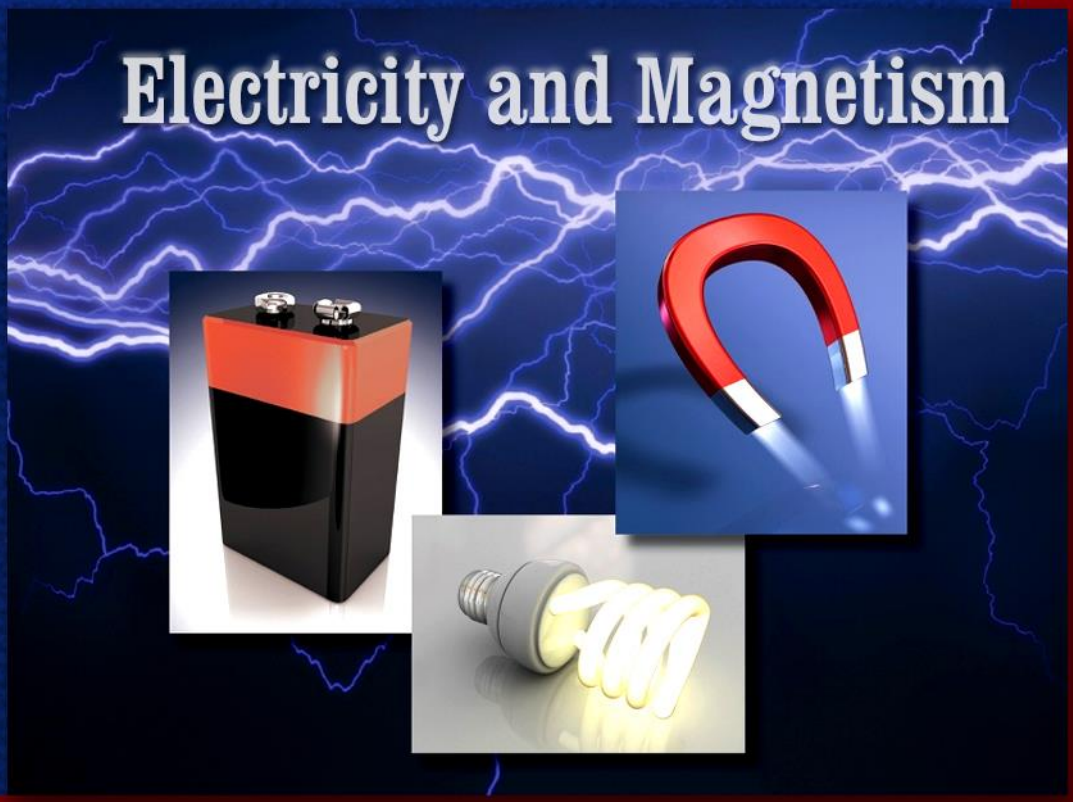
من اصدارات المركز العلمي للترجمة

الكهربية والمغناطيسية

الجزء الأول المجال الكهربي



ترجمة

الدكتور حازم فلاح سكيك

www.trgma.com

إهداء إلى أبنائي

وطلابي

ومحبي

الفيزياء

دكتور حازم فلاح سكيك

www.hazemsakeek.net

مقدمة

يعد علم الكهربية 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 الكهربية الساكنة ولتصبح الكهرباء عنصراً أساسياً في حياتنا العملية. في هذا الجزء من الكتاب سنقدم شرحا وافيا لخصائص الشحنة الكهربية وكيف نحسب القوة الكهربية المتبادلة بين شحنيتن او اكثر وكذلك سوف نتطرق لموضوع المجال الكهربي وطرق حسابه سواء لتوزيع منفصل او 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 مزيدا 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 الكهربية 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 الكهربية الساكنة. وتحميل شرائح العرض البوربوينت من موقع اكاديمية الفيزياء للتعليم الالكتروني www.physicsacademy.org.

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

مع خالص تحياتي

د. حازم فلاح سكيك

جامعة الأزهر سلطان غزة

غزة في 2013-12-1

www.hazemsakeek.net

الكهربية والمغناطيسية

Electricity and Magnetizm

ترجمة الدكتور حازم فلاح سكيك

القطار المغناطيسي المعلق في محطة شانغاهي الصينية. يعمل هذا القطار لا يلمس قضبان السكة الحيديدة على الطلاق انما يكون محمولا 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 دورا أساسيا 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 كلمةالكترون elecktron وهي الترجمة اليونانية لكلمة امبر amber. وكلمة مغناطيسية magnetic جاءت من ماغنيسيا Magnesia 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 الكهربي

Electric Fields

8	Properties of Electric Charges	1.1 خواص الشحنة الكهربية
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 الكهربي
37	Electric Field of a Continuous Charge Distribution	5.1 المجال الكهربي لتوزيع متصل من الشحنات
48	Electric Field Lines	6.1 خطوط المجال الكهربي
54	Motion of a Charged Particle in a Uniform Electric Field	7.1 حركة جسم مشحون في مجال كهربي منتظم

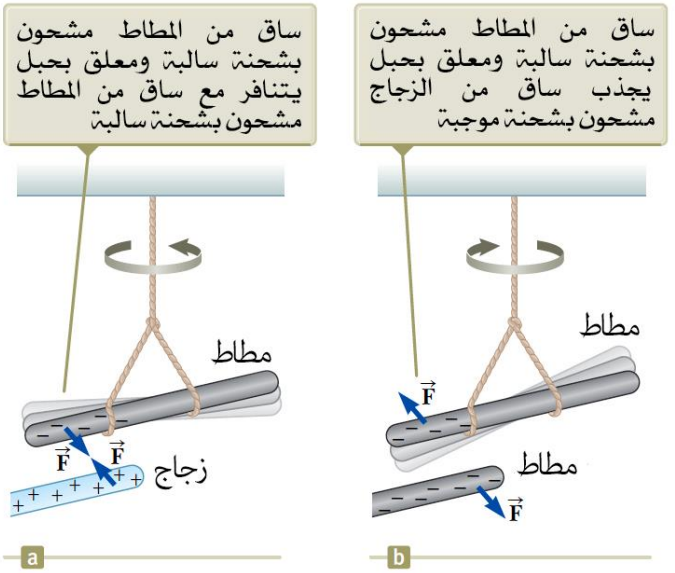
في هذا الجزء من الكتاب سوف نبدأ بدراسة الكهرومغناطيسية. تعتبر القوى الكهرومغناطيسية بين الجسيمات المشحونة واحدة من أنواع القوى الأساسية في الطبيعة. سوف نبدأ بوصف بعض الخواص الأساسية للقوة الكهربية من خلال قانون كولوم الذي يعتبر القانون الأساسي لوصف القوة الكهربية بين جسمين مشحونين. ثم سوف نقدم مبدأ المجال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

تعرض مجموعة من التجارب البسيطة وجود القوى الكهربية. على سبيل المثال عند دلك 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 بدلك حذائك بقطعة من الصوف.



الشكل 1.1 القوى الكهربية 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 الكهربية،

والتي أعطي لها العالم بنجيمين فرانكلين Benjamin Franklin اسم موجب positive وسالب negative (1706–1790). عرفت الالكترونات بامتلاكها شحنة سالبة والبروتونات شحنة موجبة. للتقق من وجود نوعين من الشحنات افترض ان ساق من المطاط تم دلكه بقطعة من الفرو وعلق بواسطة خيط كما هو موضح في الشكل 1.1. عندما تقوم بدلك ساق من الزجاج بقطعة من الحرير ووضع بجوار الساق المطاطي المعلق فان الساقين ينجذبان نحو بعضهما البعض (الشكل 1.1 a). على الجانب الأخر اذا شحن ساقين من المطاط (أو ساقين من الزجاج) بالدلك وقرب من بعضهما البعض كما هو موضح في الشكل 2.1 b فانهما 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 الكهربية دائما محفوظة في النظام المعزول. أي انه عندما نقوم بدلك جسمين مع بعضهما البعض فان الشحنة المتكونة لا تنشأ من العدم. حالة التكهرب (عملية الشحن) هي نتيجة لانتقال الشحنة من جسم إلى أخر. يكتسب جسم شحنة سالبة محددة في حين ان الجسم الثاني يكتسب شحنة موجبة بنفس المقدار. على سبيل المثال عندما يم دلك 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 دلك 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 مليكان Robert Millikan (1868–1953) ان الشحنة الكهربية المتكونة بالشحن عبارة عن عدد صحيح من شحنة الالكترون.

بالتعريف العصري نقول ان الشحنة الكهربية q مكممة، 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.

الشكل 2.1 عندما يتم دلك ساق من الزجاج بقطعة من الحرير، تنتقل الالكترونات من الزجاج إلى الحرير. كذلك وبسبب ان الشحنات تنتقل في حزم متقطعة فان الشحنات على الجسيمن 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 وB وضعوا مع بعض فانهما تنافرا. عندما وضع الجسمين B وC مع بعض فانهما تنافرا. أي من الجمل التالية صحيحة؟ (a) الجسمين A وC لهما شحنات بنفس الإشارة. (b) الجسمين A وC 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 الكتروناتها على الحركة داخل المادة:

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

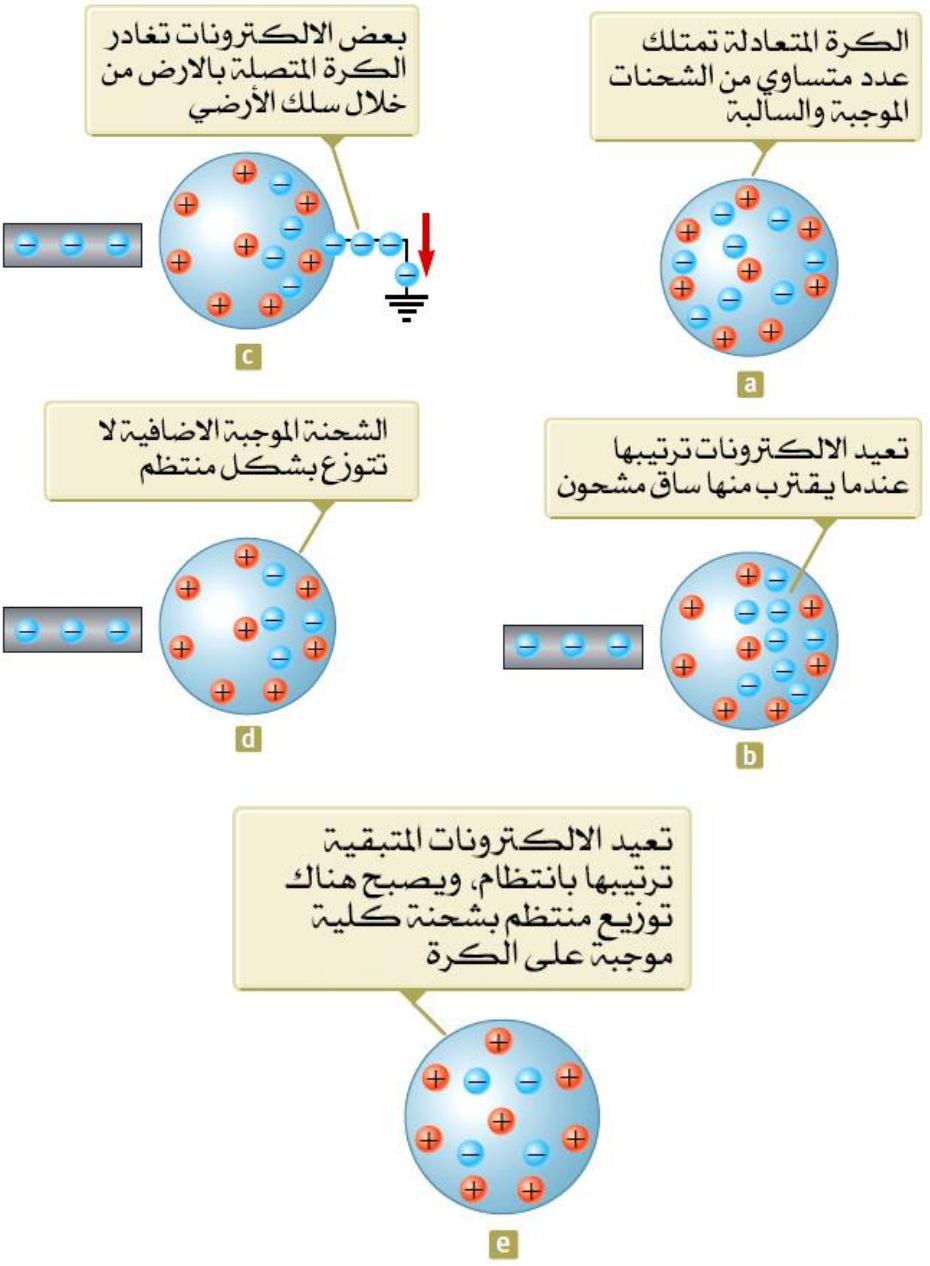
المواد مثل الزجاج والمطاط والخشب الجاف كلها تصنف على انها من المواد العازلة كهربيا. عندما يتم شحن مثل هذه المواد بالدلك فان المنطقة التي تعرضت للدكل تصبح مشحونة والجسيمات المشحونة لا تتستطيع الحركة من منطقة إلى أخرى على المادة.

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

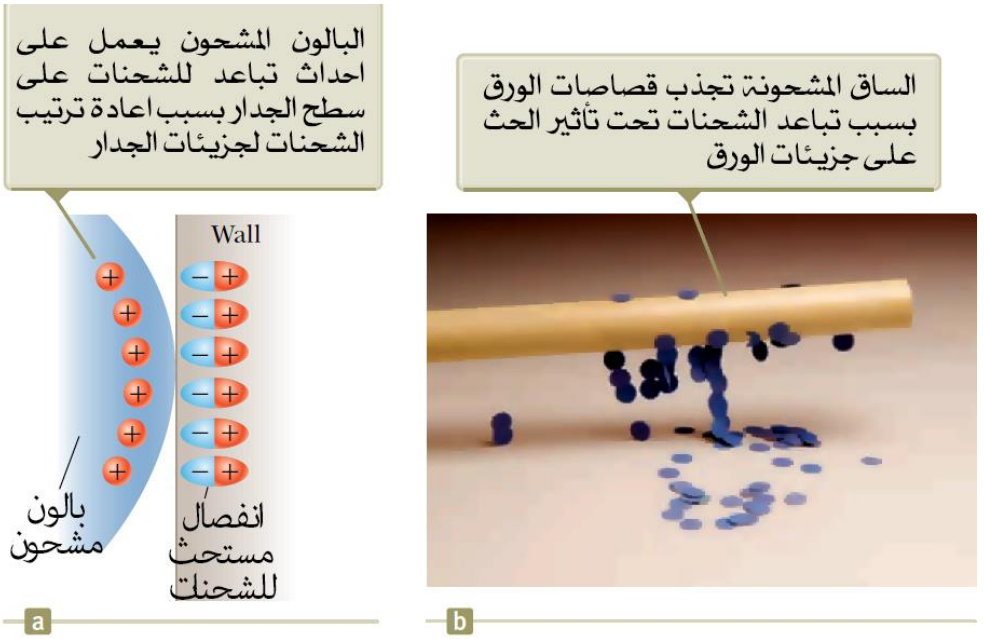
المواد شبه الموصلة semiconductor هي الفئة الثالثة من المواد وخواصها الكهربية تقع بين المواد العازلة والمواد الموصلة. السليكون والجرمانيوم هي امثلة على اشباه الموصلات وتستخدم في صناعة الرقائق الالكترونية المستخدمة في أجهزة الكمبيوتر، والهواتف النقالة وأنظمة الصوتيات والفيديو المنزلية. الخواص الكهربية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

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

لفهم كيفية شحن مادة موصلة فان هذا يتم من خلال علمية 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 تتنافر بقوة بسبب وجود الالكترونات السالبة على الساق المطاطية وتتحرك خارج الكرة عبر السلك ومن ثم تتسرب إلى الأرض. الرمز ⏚ 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.



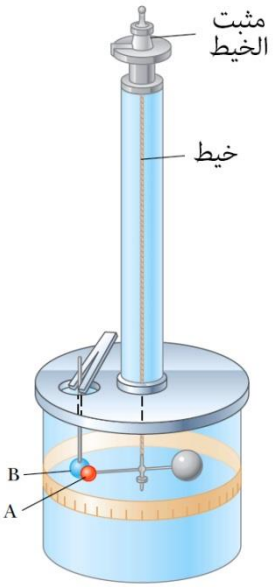
الشكل 4.1 (a) **بالون مشحون وضع بالقرب من جدار معزول.** (b) **ساق مشحونة وضعت بالقرب من قصاصات ورق.**

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 جزيئ في العازل قد تنزاح قليلا مما ينتج عنه وجود شحنة موجبة على احد جانبي الجزيء اكثر من الجانب الاخر. إعادة الترتيب للشحنة داخل كل جزيء من الجزيئات 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 للقوى الكهربية بين شحنتين.

سؤال للتفكير 2.1

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

لهما نفس الشحنة. (b) الجسمين A وC لهما 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 اللي الموضح في الشكل 5.1 الذي اخترعه كولوم. مبدأ عمل ميزان اللي مشابه للادوات التي استخدمها كافيدنش Cavendish لقياس ثابت الجاذبية، الا ان كولوم استبدل الكرتين المتعادلتين كهربيا 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 مستقريين.

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.

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

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 الكهربية هي الكولوم ويرمز لها بالرمز C. وثابت كولوم k_e بالوحدات القياسية SI له القيمة

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

كما يمكن كتابة الثابت k_e على النحو التالي

$$k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \qquad (3.3)$$

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

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

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

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

لهذا فان مقدار 1 C من الشحنة يعادل تقريبا شحنة 6.24×10^{18} الكترون 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 الدلك.

تشارلز كولوم Charles Coulomb

فيزيائي فرنسي (1736–1806)

كانت أكبر مساهمات العالم كولوم للعلم في مجال الكهرستاتيكية والمغناطيسية.

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

الجدول 1.1 شحنة وكتلة كلا من الالكترون والبروتون والنيوترون

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

مثال 1.1 ذرة الهيدروجين The Hydrogen atom

المسافة التي تفصل بين الالكترون والبروتون في ذرة الهيدروجين تقدر بـ 5.3×10^{-11} m. أوجد مقدار القوة الكهربية 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 الكهربية هي القوة المسيطرة في حالة البروتون والالكترون.

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

باستخدام قانون كولوم لايجاد مقدار القوة الكهربية:

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

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

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

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

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

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

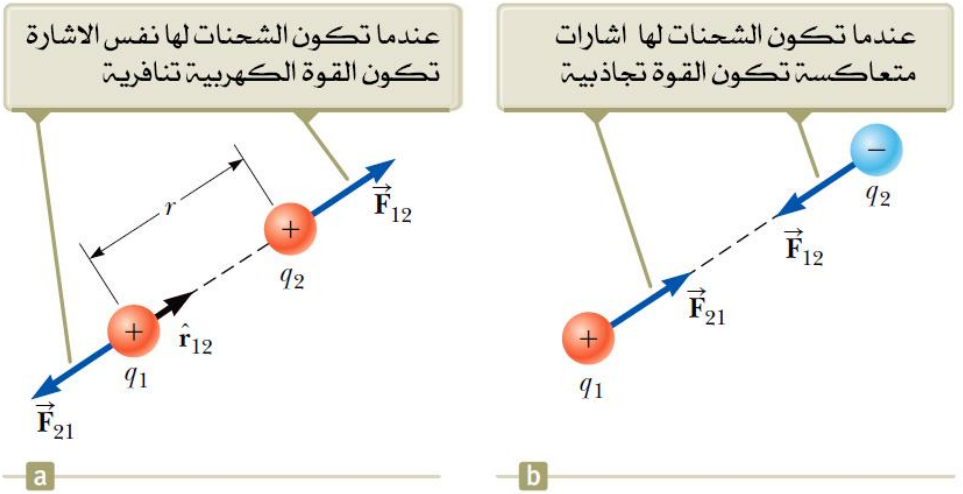
النسبة بين $F_e/F_g \approx 2 \times 10^{39}$. لهذا فان القوة الجاذبية بين الجسيمات الذرية المشحونة مهملة عندما نقارنها مع القوة الكهربية. لاحظ ان شكل قانون نيوتن للجذب العام يشبه قانون كولوم للقوة الكهربية.

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 الكهربية المبذولة على الشحنة q_1 على الشحنة q_2 نعبر عنها على النحو التالي:

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

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



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 بالمقادر وتعاكس في الاتجاه القوة $\vec{F}_{21}$ 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_1q_2 موجبا والقوة الكهربية على احد الجسيمين

يتجه مبتعدا عن الجسيم الاخر. اذا كانت الشحنة q_1 والشحنة q_2 لهما إشارة معاكسة كما في الشكل 6.1 b فان حاصل ضرب الشحنتين q_1q_2 يكون سالبا والقوة الكهربية على احد الجسيمين تتجه نحو الجسيم الاخر. هذه الإشارات تصف الاتجاه النسبي للقوة ولكن ليس الاتجاه المطلق. الإشارة السالبة تشير إلى ان القوة تجاذبية والاشارة الموجبة تشير الى 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 a 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 الكهربية المتبادلة بين زوج من الشحنات يعطى بالمعادلة 6.1. لهذا فان القوة المحصلة المؤثرة على واحدة من هذه الشحنات تساوي المجموع الاتجاهي للقوى المبذولة بواسطة الشحنات الأخرى. على سبيل المثال اذا كان هناك أربعة شحنات فان القوة المحصلة المبذولة بواسطة الجسيمات 2 و3 و4 على الجسيم 1 هي

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

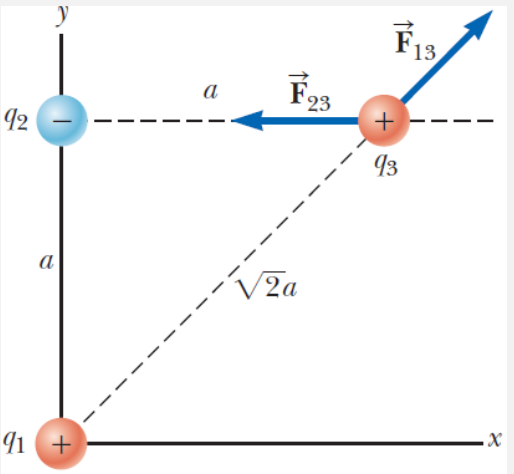
3.1سؤال للتفكير

جسم A يمتلك شحنة +2µC وجسم B يمتلك شحنة +6µC. أي من جملة صحيحة حول القوى الكهربية 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 شحنات موضوعة على اركان مثلث قائم الزاوية كما هو موضح في الشكل 7.1، حيث ان الشحنة $q_1=q_3=5.00$ µC والشحنة $q_2=-2.00$ µC والمسافة $a=0.100m$. أوجد القوة المحصلة المؤثرة على q_3.



الشكل 7.1 القوة المبذولة بواسطة الشحنة q_1 على الشحنة q_3 هي $\vec{F}_{13}$. القوة المبذولة 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 وq_2 موضح في الشكل 7.1. القوة $\vec{F}_{23}$ المبذولة على بواسطة q_2 على الشحنة q_3 هي قوة تجاذبية لان كلا من q_2 وq_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 $\vec{F}_{13}$ المبذولة 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^o مع محور x.

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

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

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

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

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

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

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

$$F_{13x} = F_{13} cos 45.0^o = 7.94N$$
$$F_{13y} = F_{13} sin 45.0^o = 7.94N$$

اوجد مركبات القوة المحصلة المؤثرة على الشحنة q3

$$F_{3x} = F_{13x} + F_{23x} = 7.94N + (-8.99N) = -1.04N$$
$$F_{3y} = F_{13y} + F_{23y} = 7.94N + 0 = 7.94N$$

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

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

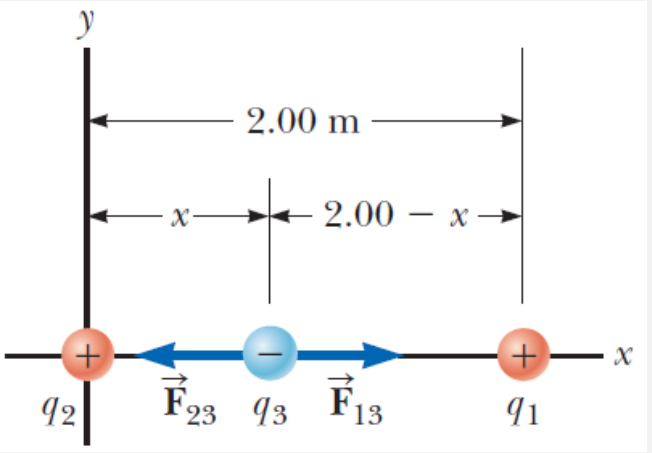
الخلاصة: القوة الكلية المؤثرة على q_3 للاعلى والى اليسار في الشكل 7.1. اذا تحركت الشحنة q_3 كاستجابة لهذه القوة فان المسافة بين q_3 والشحنات الأخرى سوف تتغير، وبالتالي فان القوة الكلية تتغير أيضا. لهذا اذا كانت الشحنة q_3 حرة الحركة فانها تعتبر كجسم يقع تحت تأثير قوة غير منتظمة.

ماذا لو؟ ماذا اذا 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 $q_1=15.0\mu C$ تقع عند $x=2.00$ m والشحنة الموجبة $q_2=6.00\mu C$ 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 كا 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 وq_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 الشحنات النقطية على انها جسيم في حالة الاتزان.

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

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

بنقل الحد الثاني إلى يمين المعادلة ومساواة معاملات متجه الوحدة $\hat{\imath}$ 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.

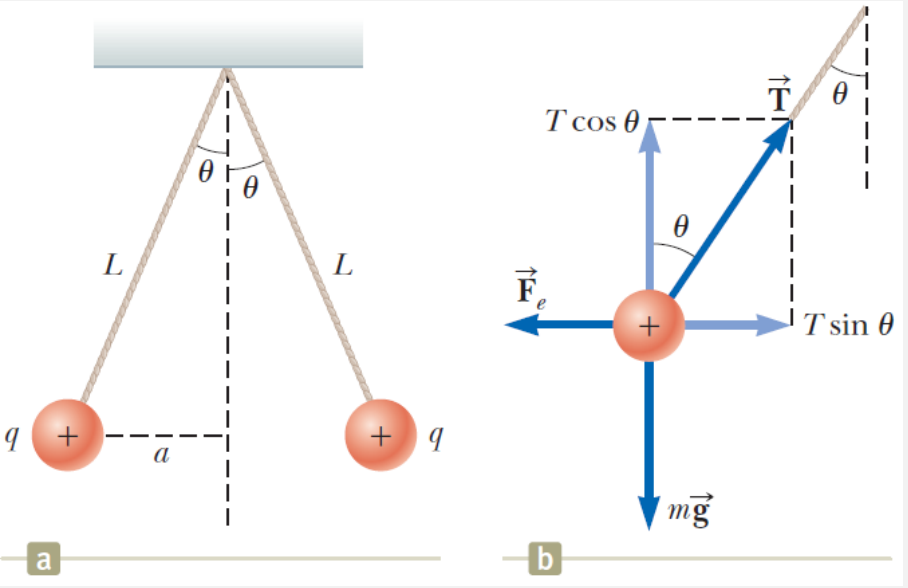
ماذا لو؟ افترض ان الشحنة q_3 مسموح لها بالحركة فقط على امتداد المحور x. من الموضع الابتدائي لها عند x=0.775m قد سحبت مسافة صغيرة على امتداد المحور x. عند تحريرها هل تعود إلى حالة الاتزان، أو انها تبتعد اكثر عن موضع الاتزان؟ هل يكون هذا الاتزان مستقرا او غير مستقرا؟

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 والاتزان 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 3.00×10^{-2} kg، علقتا في حالة اتزان كما في الشكل 9.1 a. طول كل خيط 0.150m، وكانت الزاوية θ تساوي 5.00^{o}. أوجد مقدار الشحنة على كل كرة.



الشكل 9.1 (a) كرتين متماثلتين على كل كرة نفس الشحنة q، علقتا 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 تبذلان 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 الكهربية F_e من الكرة الأخرى وقوة الجاذبية mg.

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

$$(1) \qquad \sum F_x = Tsin\theta - F_e = 0 \rightarrow Tsin\theta = F_e$$

$$(2) \qquad \sum F_y = Tcos\theta - mg = 0 \rightarrow Tcos\theta = mg$$

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

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

باستخدام الشكل الهندسي للمثلث القائم الزاوية في الشكل 9.1 a لايجاد العلاقة بين a وL وθ نحصل على:

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

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

$$q = \sqrt{\frac{F_e r^2}{k_e}} = \sqrt{\frac{F_e (2a)^2}{k_e}} = \sqrt{\frac{mgtan\theta (2Lsin\theta)^2}{k_e}}$$

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

$$q = \sqrt{\frac{(3.00 \times 10^{-2} kg)\left(\frac{9.8m}{s^2}\right)\tan(5.00)\,[2(0.150m)sin5.00)]^2}{\left(8.99 \times 10^{9} N.\frac{m^2}{C^2}\right)}}$$

$$= 4.42 \times 10^{-8}\text{C}$$

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 الرأسي 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 الكهربيتين 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 وq_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 الرأسي وتصبح المسألة اكثر تعقيدا.

4.1 المجال الكهربي The Electric Field

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

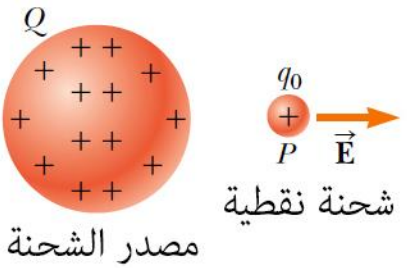
نعلم ان هناك نوعين من القوى هما قوى تلامس وقوى المجال. وقوى المجال مثل قوى الجاذبية والقوة الكهربائية. وكما نعلم ان قوى المجال تؤثر في الفراغ وتحدث تأثير حتى بدون تلامس فيزيائي بين الاجسام. يعرف مجال الجاذبية الأرضية $\vec{g}$ عند نقطة في الفراغ ناتجا عن جسيم على انه يساوي قوى الجاذبية $\vec{F}_g$ المؤثرة 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 الكهرية بطريقة عملية. في هذه الطريقة نقول ان المجال الكهربي electric field يوجد في الفراغ الذي يحيط بالجسم المشحون، أي مصدر الشحنة. عندما يدخل جسم اخر مشحون (شحنة اختبار) في نطاق هذا المجال الكهربي فانها سوف تتأثر بقوة كهربية. 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 الكهربي الناتج عن الشحنة الكبيرة عند موضع شحنة الاختبار على انه القوة الكهربية المؤثرة على شحنة الاختبار لكل وحدة شحنة او بأكثر تحديدا بان متجه المجال الكهربي $\vec{E}$ عند نقطة في الفراغ يعرف على انه القوة الكهربية $\vec{F}_e$ المؤثرة على شحنة اختبار موجبة موضوعة عند النقطة مقسومة على شحنة الاختبار.

$$\vec{E} \equiv \frac{\vec{F}_e}{q_o} \qquad (1.7)$$

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 الكهربية 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:

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



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 الكهربي، اعتبر شحنة نقطية q كمصدر للشحنة. هذه الشحنة سوف تنتج مجال كهربي 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 اننا سوف نقوم باستخدام شحنة الاختبار لتحديد اتجاه القوة الكهربي وبالتالي مجال الشحنة النقطية. طبقا لقانون كولوم فان القوة المبذولة بواسطة q على شحنة الاختبار هي

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

حيث ان $\hat{r}$ عبارة عن متجه الوحدة ويتجه من q إلى q_0. هذه القوة الموضحة في الشكل 11.1 a تتجه بعيدا عن الشحنة النقطية q. لان المجال الكهربي عند النقطة P، حيث موضع شحنة الاختبار يعرف على انه $\vec{\boldsymbol{E}} = \vec{\boldsymbol{F}}_e/q_o$، المجال الكهربي عند النقطة P الناتج عن الشحنة q هو

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

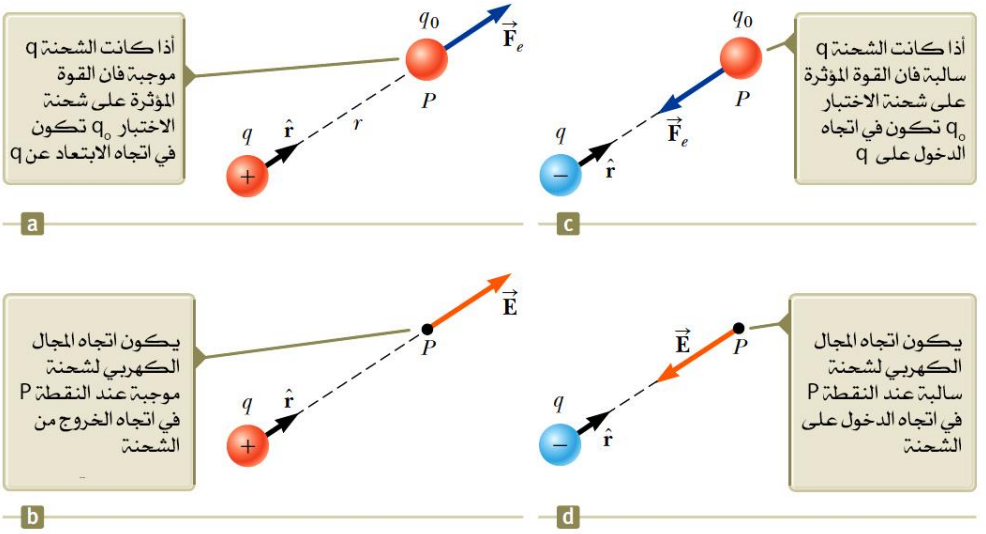
اذا كان مصدر الشحنة q موجبا، فان الشكل 11.1 b يوضح الحالة في حالة عدم وجود شحنة الاختبار: ينشيء مصدر الشحنة مجالا كهربيا عند النقطة P، تتجه مبتعدة عن عن q (أي في اتجاه الخروج من الشحنة الموجبة). اذا كانت الشحنة q سالبة كما في الشكل 11.1 c فان القوة المؤثرة على شحنة الاختبار تكون في اتجاه الشحنة المصدر، وبالتالي فان المجال الكهربي عند النقطة P يكون يتجه نحو الشحنة المصدر (أي في اتجاه الدخول على الشحنة السالبة) كما في الشكل 11.1 d.

لحساب المجال الكهربي عند نقطة P ناتجا عن مجموعة من الشحنات النقطية فاننا نحسب في البداية متجهات المجال الكهربي عند النقطة P كل متجه بشكل منفصل باستخدام المعادلة 9.1 ومن ثم نقوم بجمعهم جمعا اتجاهيا. بمعنى انه عند أي نقطة P فان محصلة المجال الكهربي الناتج عن مجموعة من الشحنات النقطية يساوي المجموع الاتجاهي للمجالات الكهربية لكل الشحنات. هذا هو مبدأ التجميع المطبق على المجالات والذي يتبع الجمع الاتجاهي للقوى الكهربية. لهذا فان المجال الكهربي عند

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

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

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(c) **عند النقطة** P **بالقرب من مصدر الشحنة** q **يوجد مجال كهربي.**

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

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

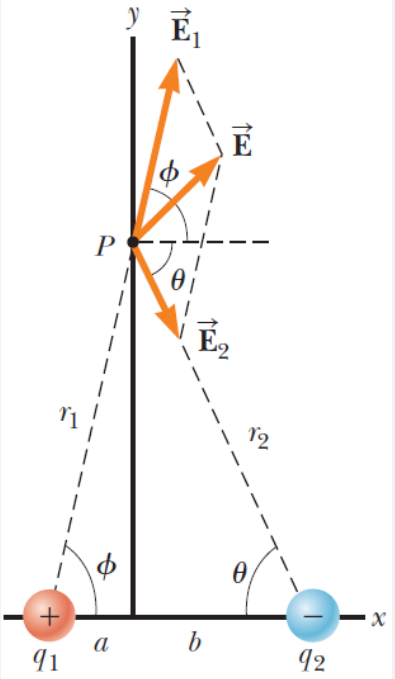
4.1 سؤال للتفكير

شحنة اختبار مقدارها +3μC موضوعة عند النقطة P حيث يوجد مجال كهربي متجه ناحية اليمين ومقداره 4×10^6N/C. اذا استبدلت شحنة الاختبار بشحنة اختبار أخرى مقدارها -3μC، ماذا يحدث للمجال الكهربي عند النقطة P؟ (a) لا يتأثر. (b) يعكس اتجاهه. (c) يتغير بطريقة لا يمكن تحديدها.

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

شحنتين q_1 وq_2 موضوعتين على محور x، عند مسافة a وb على التوالي من نقطة الأصل كما في الشكل 12.1.

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



الشكل 12.1 المجال الكهربي 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 الكهربي الناتج عن الشحنة الموجبة q_1 و$\vec{E}_2$ عبارة عن المجال الكهربي 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 الكهربي لايجاد محصلة المجال الكهربي عند نقطة في الفراغ.

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

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

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

$$E_2 = k_e \frac{|q_2|}{{r_2}^2} = k_e \frac{|q_1|}{b^2 + y^2}$$

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

$$\vec{\boldsymbol{E}}_1 = k_e \frac{|q_1|}{a^2 + y^2} cos\emptyset \hat{\imath} + k_e \frac{|q_1|}{a^2 + y^2} sin\emptyset \hat{\jmath}$$

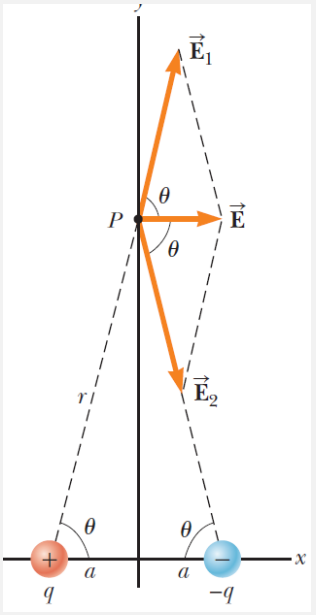
$$\vec{\boldsymbol{E}}_2 = k_e \frac{|q_2|}{b^2 + y^2} cos\theta \hat{\imath} + k_e \frac{|q_2|}{b^2 + y^2} sin\theta \hat{\jmath}$$

بكتابة مركبات محصلة متجه المجال الكهربي نحصل على:

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

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

(B) احسب المجال الكهربي 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، فان 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 $\phi=\theta$

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

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

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

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

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 الكهربي الناتج عن ثنائي القطب الكهربي عند النقطة P اذا كانت المسافة y>>a من نقطة الأصل.

الحل

في حالة الجزء (B) نجد انه عندما تكون y>>a فاننا نهمل a2 بالمقارنة مع y2 ونكتب المعادلة للمجال الكهربي في هذه الحالة على النحو التالي:

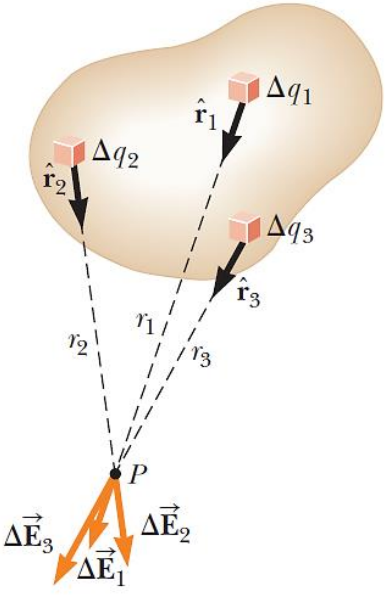
$$E_x \approx k_e \frac{2aq}{y^3} \qquad (5)$$

الخلاصة: من المعادلة (5) نلاحظ انه عند نقاط تبعد كثيرا عن ثنائي القطب الكهربي ولكن على امتداد المنصف العمودي للخط الواصل بين الشحنتين، يكون مقدار المجال الكهربي الناتج عن ثنائي القطب الكهربي 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 الكهربي لتوزيع متصل من الشحنات Electric Field of a Continuous 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 الكهربي 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 الكهربي 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 الكهربي عند النقطة P الناتج عن توزيع متصل من الشحنات هو المجموع الاتجاهي للمجالات الكهربية $\Delta\vec{E}_i$ 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 الكهربي الناتج عن عنصر من عناصر الشحنة عند النقطة P. في النهاية نقوم بحساب محصلة المجال الكهربي عند النقطة P الناتج عن توزيع الشحنات من خلال تجميع كل مشاركات عناصر الشحنة (أي نطبق مبدأ التجميع).

المجال الكهربي 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 الكهربي 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 الكهربي عند النقطة P في نهاية Δq_i عندما تؤول إلى الصفر هو على النحو التالي:

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

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

$$\rho \equiv \frac{Q}{V}$$ 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

$$\sigma \equiv \frac{Q}{A}$$ 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

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

حيث σ 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:

$$dq = \rho\, dV \qquad dq = \sigma\, dA \qquad dq = \lambda\, dl$$

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

نوصي باتباع الطريقة التالية لحل المسائل التي تتضمن حساب المجال الكهربي 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 الكهربي الناتج عنها. احرص على البحث عن أي تماثل في ترتيب الشحنات لتساعدك في تخيل المجال الكهربي.

2. **تصنيف المسألة**: هل انت بصدد التعامل مع مجموعة من الشحنات المنفصلة او مع توزيع متصل من الشحنات؟ الإجابة على هذا التساؤل يخبرك 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 الكهربي 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.

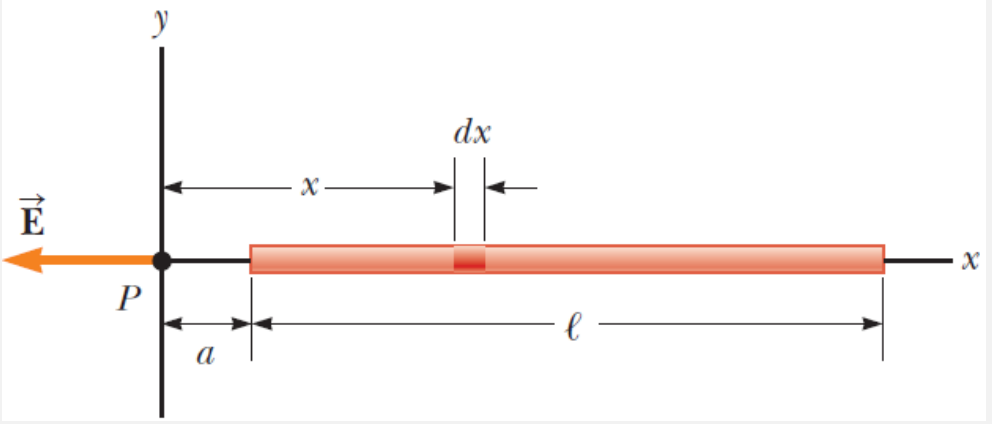
(b) اذا كانت المسألة تتعلق بتوزيع متصل من الشحنات عليك ان تستبدل إشارة الجمع الاتجاهي لحساب محصلة المجال الكهربي لشحنات منفصلة بالتكامل الاتجاهي. قسم التوزيع المتصل للشحنة إلى عناصر متناهية في الصغر، والمجموع الاتجاهي يتم هنا باجراء عملية التكامل على كامل توزيع الشحنة (المعادلة 11.1). الأمثلة على هذا الامر هي 6.1 و7.1 و8.1 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 الكهربي 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 الكهربي الناتج عن ساق مشحون The Electric Field Due to a Charged Rod

ساق طوله l عليه شحنة موجبة منتظمة لكل وحدة طول λ وشحنة كلية Q. احسب المجال الكهربي 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 الكهربي الناتج عن ساق مشحون بانتظام عند النقطة P على امتداد محور x.

الحل

تصور المسألة: المجال الكهربي $d\vec{E}$ 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 (لانها كلها في نفس الاتجاه).

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

بإيجاد مقدار المجال الكهربي 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 الكهربي 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

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

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

$$\therefore E = \frac{k_eQ}{a(l+a)} \qquad (1)$$

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.

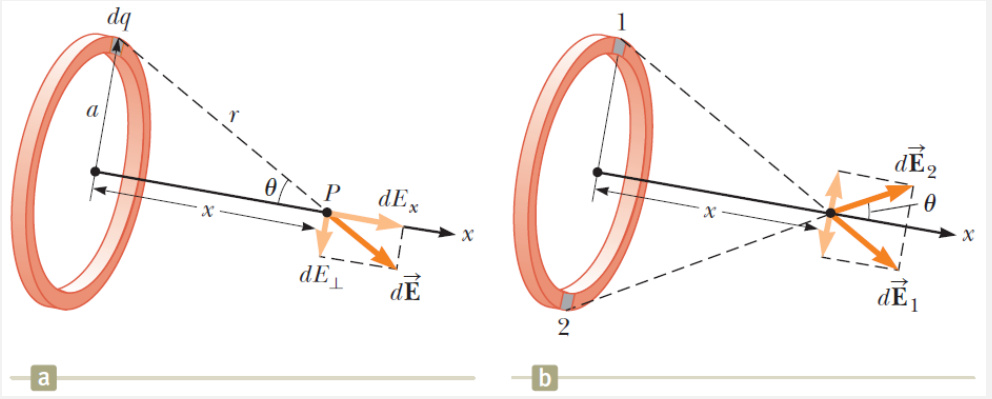
ماذا لو؟ افترض ان النقطة P بعيدة جدا عن الساق. ما هي طبيعة المجال الكهربي عند مثل هذه النقطة؟

الإجابة: اذا كانت P بعيدة جدا عن الساق فهذا يعني ان $a>>l$ وبالتالي فان l في مقام المعادلة (1) يمكن ان تهمل ويصبح المجال $E\approx k_eQ/a^2$. وهذا بالضبط هو المجال الكهربي 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 الكهربي 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 الكهربي 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 الكهربي عند P على محور x الناتج عن عنصر الشحنة dq. (b) المجال الكهربي الكلي عند النقطة P على امتداد المحور x. المركبة العمودية للمجال الكهربي عند P الناتج عن العنصر 1 يتلاشي بواسطة المركبة العمودية للعنصر 2.

الحل

تصور المسألة: يوضح الشكل 16.1 a المجال الكهربي $d\vec{E}$ عند النقطة P الناتج عن عنصر شحنة عند اعلى 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 الكهربي الناتج عن عنصري شحنة على جانبين متقابلين من الحلقة. بسبب التماثل في هذه الحالة فان 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 الكهربي الناتج عن توزيع متصل للشحنة.

التحليل: نحسب مركبة المجال الكهربي 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 a يمكن إيجاد $cos\theta$:

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

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

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

كل عناصر الشحنة للحلقة سوف تساهم في المجال الكهربي عند النقطة P لانها تبعد مسافات متساوية عن هذه النقطة. باجراء التكامل للحصول على محصلة المجال الكهربي 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 الكهربي يكون صفرا عند $x=0$. هل هذا يتفق مع التماثل في المسألة؟ علاوة على ذلك نلاحظ ان المعادلة (3) تختزل إلى k_eQ/x^2 اذا كانت $x>>a$، 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 $x<<a$ على امتداد المحور x. عندما تتحرر الشحنة، ما نوع حركة الشحنة التي تقوم بها في هذه الحالة.

الإجابة: في صيغة المجال الكهربي الناتج عن الحلقة المشحونة نفترض ان $x<<a$ وهذا يعني ان

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

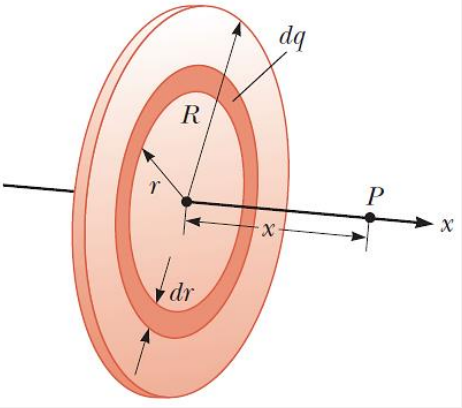
لهذا نستنتج من المعادلة 8.1 ان القوة المؤثرة على الشحنة $-q$ الموضوعة بالقرب من مركز الحلقة هو

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

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

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

قرص نصف قطره R يمتلك شحنة سطحية منتظمة بكثافة σ. احسب المجال الكهربي 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 الكهربي 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 الكهربي الناتج عن حلقة نصف قطرها a وبجمع مساهمات كل الحلقات المكونة للقرص. من التماثل فان المجال الكهربي عند النقطة المحورية P يجب ان يكون على امتداد المحور المركزي.

تصنيف المسألة: لان القرص متصل فاننا نحسب المجال الكهربي 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 وQ بـ dq) لايجاد المجال الكهربي الناتج عن الحلقة:

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

للحصول على المجال الكهربي 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:

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

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

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

الخلاصة: هذه النتيجة متحققة لكل القيمة $x>0$. يمكننا ان نحسب المجال الكهربي بالقرب من القرص على امتداد المحور بافتراض ان $R>>x$، ولهذا فان الصيغة بين القوسين تختزل إلى الوحدة لتعطي تقريب للمجال الكهربي 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 الكهربي الناتج عن مستوى لانهائي مشحون بشحنة منتظمة بكثافة توزيع سطحية منتظمة.

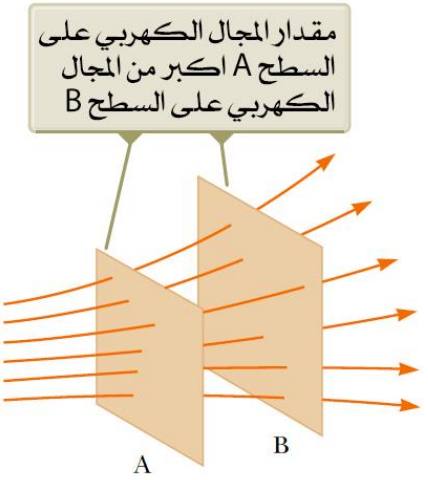
6.1 خطوط المجال الكهربي Electric Field Lines

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

- متجه المجال الكهربي $\vec{E}$ هو المماس لخط المجال الكهربي عند كل نقطة. يمتلك الخط اتجاه يحدد باسهم لها نفس مقدار متجه المجال الكهربي. 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 الكهربي في تلك المنطقة. لهذا فان

خطوط المجال الكهربي تكون اقرب من بعضها البعض عندما يكون المجال الكهربي قويا وتكون خطوط المجال الكهربي متباعدة عن بعضها البعض عندما يكون المجال الكهربي 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 الكهربي اكبر على السطح A من السطح B. علاوة على انه بسبب ان الخطوط عند مواقع مختلفة تشير إلى اتجاهات مختلفة فان المجال الكهربي يكون غير منتظما.

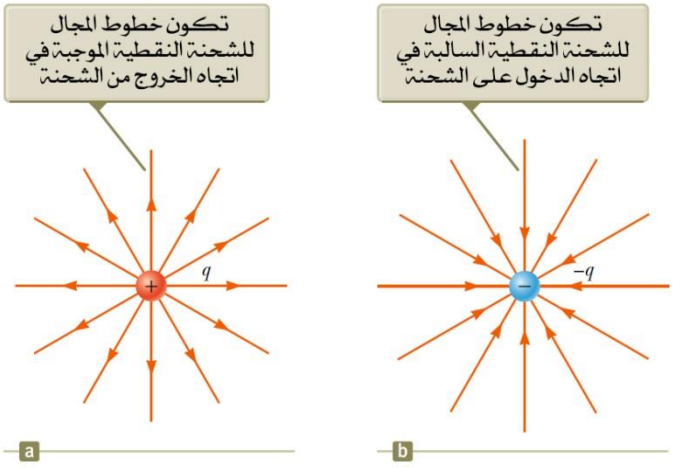


الشكل 18.1 خطوط المجال الكهربي تخترق سطحين

هل تجد ان هذه العلاقة التي تربط بين شدة المجال الكهربي وكثافة خطوط المجال تتفق مع المعادلة 9.1، وهي الصيغة التي حصلنا عليها للمجال الكهربي E باستخدام قانون كولوم؟ للإجابة على هذا السؤال، اعتبر سطح كروي نصف قطره r مركزها عند شحنة نقطية. من التماثل نلاحظ ان مقدار المجال الكهربي 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 الكهربي 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 الكهربي الممثلة للمجال الناتج عن شحنة نقطية موجبة موضحة في الشكل 19.1 a. يمثل هذا الشكل رسم لخطوط المجال الكهربي في بعدين أي خطوط المجال الكهربي التي تقع على مستوى الصفحة الذي يمر في الشحنة النقطية.



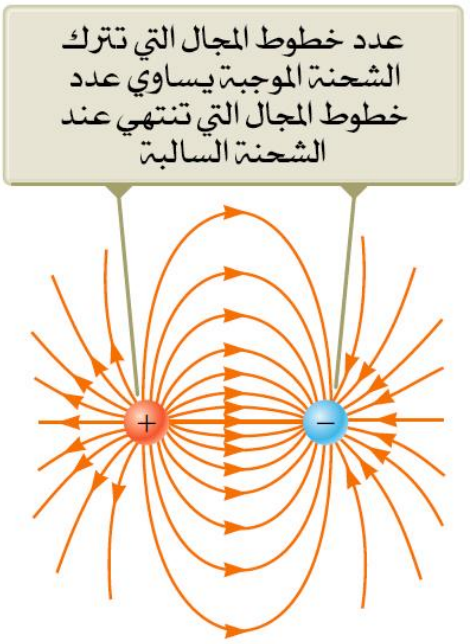
الشكل 19.1 خطوط المجال الكهربي لشحنة نقطية. لاحظ ان الشكلين يوضحان خطوط المجال الكهربي التي تقع على مستوى الصفحة.

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

من مصدر الشحنة الموجبة. خطوط المجال الكهربي التي تمثل المجال الكهربي 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 المالانهاية. لاحظ ان خطوط المجال تصبح متقاربة من بعضها البعض عندما تصل إلى الشحنة، مما يشير إلى ان شدة المجال الكهربي تزداد كلما اقتربنا من مصدر الشحنة.

القواعد المتبعة لرسم خطوط المجال الكهربي هي على النحو التالي:

- تبدأ خطوط المجال الكهربي 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 كهربي ان يتقاطعا.

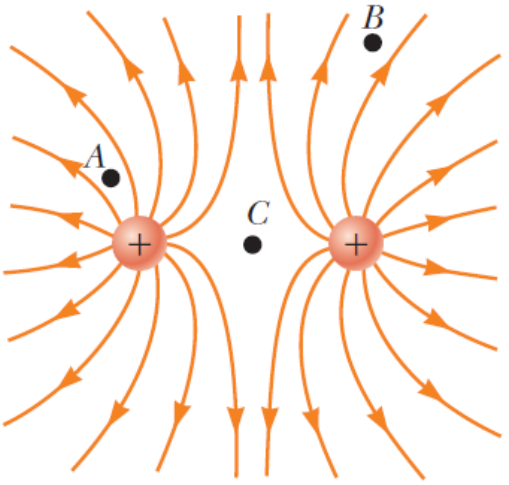


الشكل 20.1 خطوط المجال الكهربي لشحنتين نقطيتين متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الإشارة (ثنائي قطب كهربي).

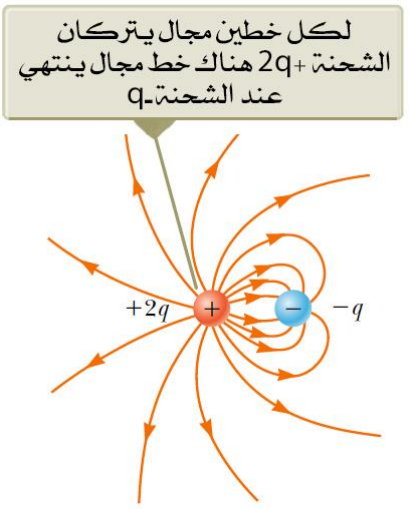
لقد اخترنا عدد من خطوط المجال تبدأ من أي جسم يحمل شحنة موجبة q_+ إلى ان تكون Cq_+ وعدد الخطوط التي تنتهي على أي جسم مشحون بشحنة سالبة q_- لتكون $C|q_-|$ حيث C هو عبارة عن ثابت اختياري للتناسب. بمجرد اختيار C فان عدد الخطوط يكون ثابتا. على سبيل المثال في نظام من شحنتين، اذا كان الجسم 1 يمتلك شحنة والجسم 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 الكهربي 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 الكهربي تنتهي في المالانهائية. عند مسافات كبيرة جدا من الشحنتين، فان المجال الكهربي يكون مساويا تقريبا لشحنة نقطية مقدارها $2q$.

نقطة أخيرة، يوضح الشكل 22.1 مخطط لخطوط المجال الكهربي 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 الكهربي لشحنتين نقطيتين موجبتين. (المواقع A، وB، وC وردت في سؤال التفكير 5.1.



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

5.1 سؤال للتفكير

رتب مقادير المجال الكهربي عند النقاط A وB وC الموضحة في الشكل 21.1 (الأكبر في الأول).

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

عندما يوضع جسيم كتلته m ومشحون بشحنة q في مجال كهربي $\vec{E}$ فان القوة الكهربية المبذولة على الشحنة هي $q\vec{E}$ طبقا للمعادلة 8.1. اذا كانت هذه هي القوة الوحيدة التي تؤثر على الجسيم، فانها ستكون القوة المحصلة وتتسبب في تسارع الجسيم ولهذا فان

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

وتسارع الجسيم هو

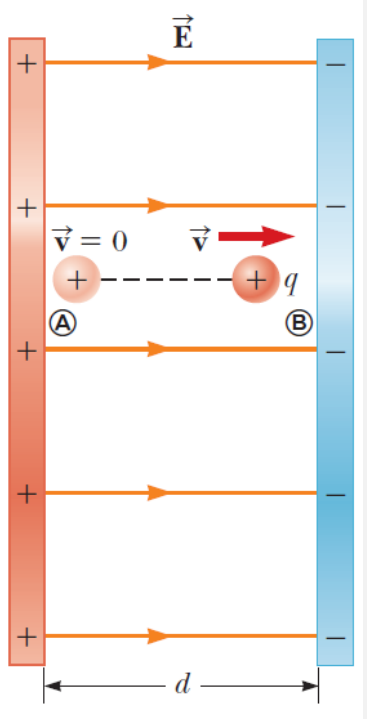
$$\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$$

اذا كانت $\vec{E}$ منتظمة (أي ان لها مقدار واتجاه ثابت) فان القوة الكهربية المؤثرة على الجسيم تكون ثابتة ويمكن تطبيق قوانين الحركة عند ثبوت التسارع. اذا كان الجسيم يمتلك شحنة موجبة فان تسارعه سيكون في اتجاه المجال الكهربي. اذا كان الجسيم يمتلك شحنة سالبة فان تسارعه سيكون في عكس اتجاه المجال الكهربي.

مثال 9.1 تسارع شحنة موجبة An Accelerating Positive Charge

مجال كهربي 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 اطلقت من السكون عند النقطة A بالقرب من اللوح الموجب وتسارعت إلى النقطة B بالقرب من اللوح السالب.

(A) اوجد سرعة الجسيم عند النقطة B.



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

الحل

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

تصنيف المسألة: لان المجال الكهربي منتظم فان قوة كهربية منتظمة تؤثر على الشحنة. لهذا يمكن اعتبار الجسيم المشحون على انه جسيم يتحرك تحت تأثير تسارع ثابت.

التحليل: استخدم معادلات الحركة تحت تأثير تسارع ثابت لايجاد سرعة الجسيم كدالة في الموضع.

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

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 الكهربية 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 الحفاظ على الطاقة لنظام الجسيم المشحون

$$W = \Delta K$$

باستبدال الشغل وطاقة الحركة بالقيم المناسبة لهذه الحالة

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

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

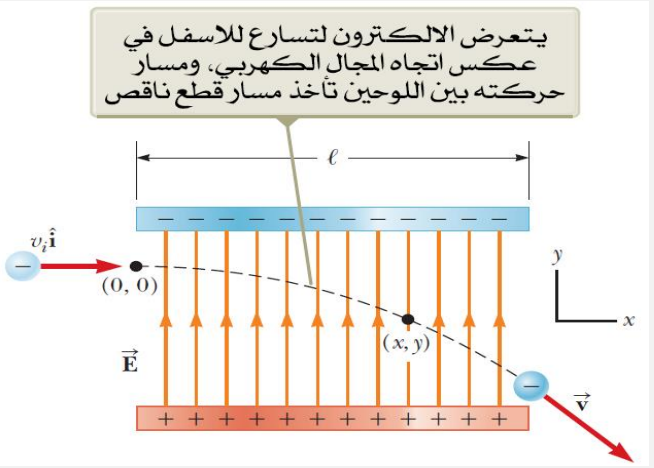
بالتعويض عن القوة الكهربية F_e والازاحة Δx نحصل على:

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

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 $v_i=3.00\times10^6$m/s وشدة المجال الكهربي 200N/C. الطول الافقي للوح $l=0.100$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 الجسيم المشحون تكون في البداية عمودية على خطوط المجال الكهربي. (في المثال 9.1 كانت سرعة الجسيم 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 ننمذج الالكترون على انه جسيم يتعرض لقوى محصلة.

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

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

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

بالتعويض عن قيم المتغيرات نحصل على

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

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

تصنيف المسألة: لان المجال الكهربي يؤثر فقط على الاتجاه الرأسي في الشكل 24.1 فان حركة الجسيم 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

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

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 الجسيم في الاتجاه الرأسي يمكن ان ننمذجها 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:

$$y_f = 0 + 0 + \frac{1}{2}(-3.51 \times 10^{13}\text{m}/s^2)(3.33 \times 10^{-8}\text{s})^2$$

$$= -0.0195\ \text{m} = -1.95\text{cm}$$

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 اهملنا 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 و10^9 للبروتون.

مبادئ ومفاهيم Concepts and Principles

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

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

تمتلك الشحنات الكهربية 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 الكهربية المبذولة بواسطة شحنة نقطية q_1 على شحنة نقطية ثانية q_2 هو

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

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 $k_e=8.99\times10^9 \text{N.m}^2/\text{C}^2$.

القوة الكهربية المؤثرة على شحنة q موضوعة في مجال كهربي $\vec{E}$

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

عند مسافة r من الشحنة النقطية q فان المجال الكهربي الناتج عن الشحنة هو

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

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

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

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

المجال الكهربي عند نقطة ما نتيجة لتوزيع متصل من الشحنات هو

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

حيث ان dq هي عنصر من الشحنة المتصلة وr هي المسافة من العنصر إلى النقطة المراد إيجاد المجال الكهربي عندها.

أسئلة موضوعية Objective Questions

1. مقدار القوة الكهربية بين بروتونين هي 2.30×10^{-26}N. ما مقادر المسافة بينهما؟
(a) 0.100m (b) 0.022m (c) 3.10m (d) 0.0057m (e) 0.480m.

2. احسب مقدار المجال الكهربي الناتج عن بروتون في ذرة الهيدروجين عن مسافة 5.29×10^{-11}m، حيث يتوقع ان يكون الالكترون في الذرة.
(a) 10^{-11}N/C (b) 10^{8}N/C (c) 10^{14}N/C (d) 10^{6}N/C (e) 10^{12}N/C.

3. كرة صغيرة جدا كتلتها 5.00×10-3kg وتحمل شحنة مقدارها 4.00μC. ما مقدار المجال الكهربي المتجه للاعلى والذي سوف يعادل وزن الكرة بحيث تكون الكرة معلقة بدون حركة فوق الأرض؟ (a) 8.21×10^{2}N/C (b) 1.22×10^{4}N/C (c) 2.00×10^{-2}N/C (d) 5.11×10^{6}N/C (e) 3.72×10^{3}N/C.

4. الكترون سرعته 3.00×10^{6}m/s يدخل مجال كهربي منتظم مقداره 1.00×10^{3}N/m. حيث ان خطوط المجال الكهربي توازي سرعة الالكترون وفي نفس اتجاه سرعته. ما مقدار المسافة التي يتحركها الالكترون 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)m. ما مقدار المركبة x للمجال الكهربي الناتج عن الشحنة النقطية عند (4.00, -2.00)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 كهربية مقدارها F. اذا قمنا بتقليل مقدار الشحنة على احدهما إلى ثلث قيمتها الاصلية وزادت المسافة

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

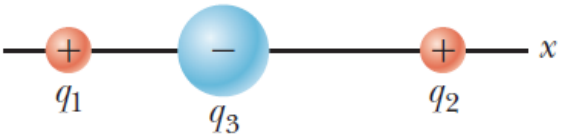
7. ماذا يحدث عندما يوضع مادة عازلة مشحونة بالقرب من جسم معدني غير مشحون؟ (a) يتنافران مع بعضها البعض. (b) يتجاذبان مع بعضهما البعض. (c) ربما يتجاذبان او يتنافران مع بعضهما البعض بالاعتماد على اذا ما كانت الشحنة على المادة العازلة موجبة او سالبة. (d) لا يبذلان أي نوع من القوة الكهروستاتيكية على بعضهما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

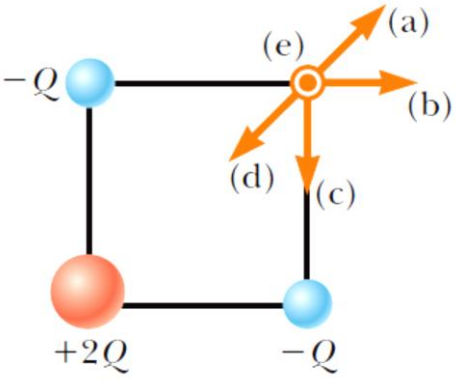
10. افترض اجسام مشحونة وثابتة كما في الشكل OQ1.10 . لاحظ عدم وجود إمكانية ان ترى الشحنة q_2 الشحنة q_1. اذا كنت عند الشحنة q_1 فانك

لن تستطيع ان ترى الشحنة q_2 لانها تقع خلف الشحنة q_3. كيف تحسب القوة الكهربية 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

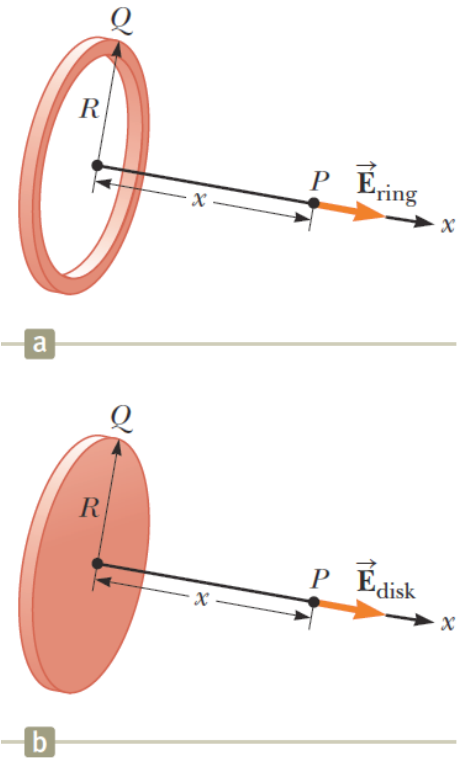
11. ثلاثة جسيمات مشحونة مرتبة على اركان مربع كما هو موضح في الشكل OQ1.11. (i) ما هو اتجاه المجال الكهربي عند الركن العلوي الأيمن؟ (a) للاعلى وإلى اليمين. (b) إلى اليمين. (c) للاسفل. (d) للاسفل وإلى اليسار. (e) عمودي على المستوى الصفحة وللخارج. (ii) افترض ان الشحنة $+2Q$ عند الركن السفلي الايسر قد ازيلت. هل يتغير مقدار المجال الكهربي 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 الكهربي عند مركز الحلقة؟ (a) 0 (b) $k_e q^2/b$ (c) $k_e q/b^2$ (d) $k_e q^2/b^2$ (e) لا توجد إجابة صحيحة.

13. افترض حلقة مشحونة بانتظام نصف قطرها R وتحمل شحنة Q تنتج مجال كهربي E_{ring} عند النقطة P على محورها عند مسافة تبعد x من مركز الحلقة كما هو موضح في الشكل OQ1.13a. الان 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 الكهربي للقرص E_{disk} عند النقطة P مع المجال الكهربي 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.



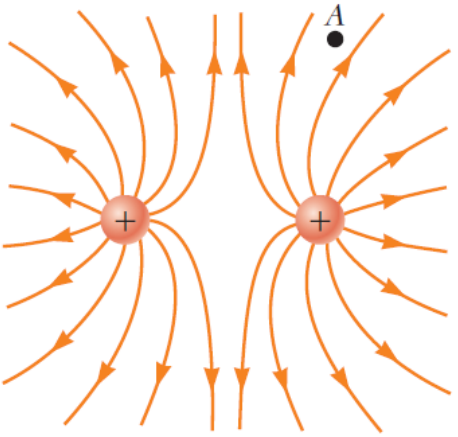
الشكل OQ1.13

14. جسم مشحون بشحنة سالبة موضوع في مجال كهربي يتجه رأسيا إلى الأعلى. ما هو اتجاه القوة الكهربية المؤثرة على هذا الجسم المشحون؟ (a) للاعلى. (b) للاسفل. (c) لا توجد قوة. (d) القوة قد تكون في أي اتجاه.

15. حرر الكترون حر وبروتون حر في مجالين كهربيين متماثلين. (i) قارن بين مقدار القوة الكهربية المبذولة على الجسمين؟ (a) اكبر بملايين المرات للالكترون. (b) اكبر بالاف المرات للالكترون. (c) متساويين. (d) اصغر بالاف المرات للالكترون. (e) اصغر بملايين المرات للالكترون. (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 اضيف بروتونات إلى الجسم او ان الكترونات 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 شُحن؟ 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 كهربي عند سطح الأرض يتجه للأسفل نحو الارض. ما هي إشارة الشحنة الكهربية 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 الكهربي في الفراغ. كل ثنائي قطب يمتلك شحنة كلية تساوي صفر. (a) هل توجد قوة كهربية بين ثنائي القطب الكهربيين، أي هل يمكن لجسمين يمتلكان شحنة كلية تساوي صفر ان يبذلا قوة كهربية على بعضهما البعض؟ (b) اذا كان الامر كذلك هل تكون القوة من نوع قوة التجاذب او التنافر؟
11. (a) هل تتغير الحياة اذا الالكترون كان يحمل شحنة موجبة والبروتون

يحمل شحنة سالبة؟ (b) هل اختيار الشحنات له أي تأثير على الخواص الفيزيائية والتفاعلات الكي ميائية؟ 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. اقتراح: 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 كادميوم ثنائية التأين $Ca^{++}=Ca^{2+}$ (e) مركز جزيء امونيا وتمثل بايون N^{3-} (f) ذرة نيتروجين رباعية التأين 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. جزيئ DNA طوله 2.17μm. 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.

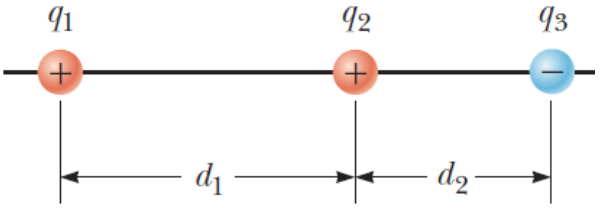
4. ذكر العالم ريتشارد فاينمان Richard Feyman انه اذا شخصين وقفا على مسافة ذراع من بعضهما البعض وكل شخص امتلك 1% الكترونات اكثر من البروتونات، فان قوة التنافر بينهما ستكون كافية لرفع وزن يساوي الكرة الأرضية. قم بحسابات تقديرية لتوضيح هذه الفرضية.

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

6. Q|C (a) اوجد مقدار القوة الكهربية 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.

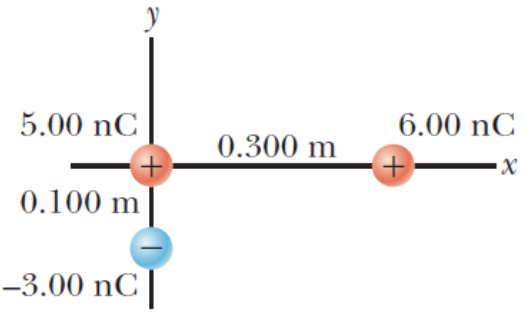
7. Q|C (a) بروتونين في جزيء منفصلين بمسافة مقدارها $3.80\times10^{-10}m$. أوجد مقدار القوة الكهربية التي يبذلها بروتون على الاخر. (b) اذكر كيف ان مقدار هذه القوة يقارن مع قوة الجاذبية بينهما. (c) ماذا لو؟ ماذا يجب ان تكون نسبة الشحنة الى الكتلة للجسيم اذا مقدار القوة الجاذبية بين اثنين من هذه الجسيمات تساوي مقدار القوة الكهربية بينهما؟

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



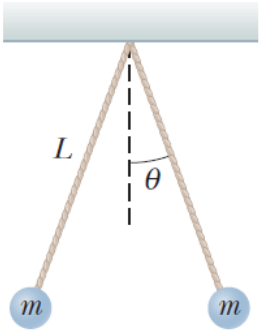
الشكل P1.8

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



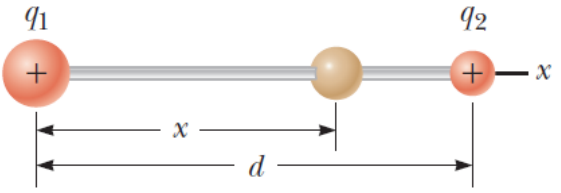
الشكل P1.9

10. كرتين معدنيتين صغيرتين كتلة كل كرة $m=0.200g$، علقتا 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 $\theta=5.00^o$ مع الرأسي. ما مقدار طول الخيط؟



الشكل P1.10

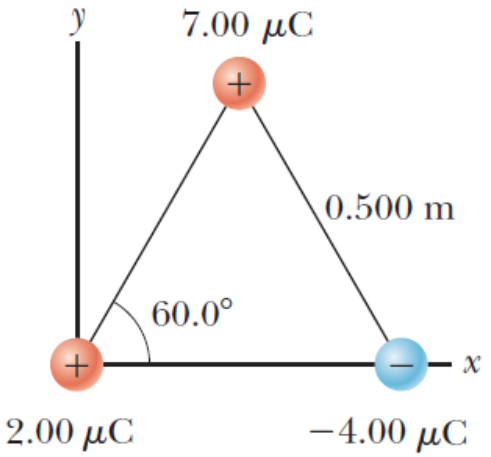
.11 Q|C كرتين صغيرتين تمتلكان شحنة موجبة $q_1=3q$ و$q_2=q$ مثبتتين على طرفين متقابلين من ساق افقي معزول طوله $d=1.50m$. الكرة ذات الشحنة q_1 عند نقطة الأصل. كما هو موضح في الشكل P1.11، اذا وضعت كرة صغيرة ثالثة على الساق بحيث تكون حرة الحركة. (a) ما هو الموضع x للشحنة الثالثة الذي تكون عنده في حالة اتزان؟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



الشكل P1.11

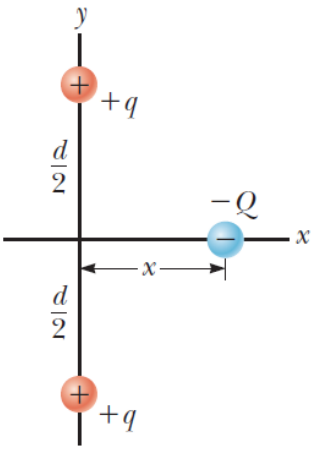
.12 S Q|C كرتين صغيرتين تمتلكان شحنات q_1 وq_2 لهما نفس الإشارة مثبتتين على طرفين متقابلين من ساق افقي معزول طوله d. الكرة ذات الشحنة q_1 عند نقطة الأصل. كما هو موضح في الشكل P1.11، اذا وضعت كرة صغيرة ثالثة على الساق بحيث تكون حرة الحركة. (a) ما هو الموضع x للشحنة الثالثة الذي تكون عنده في حالة اتزان؟ (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 7.00μC.



الشكل P1.13

S .14 جسيمين متماثلين كل واحد يمتلك شحنة مقدارها q+، مثبتين 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<<d من نقطة الوسط؟



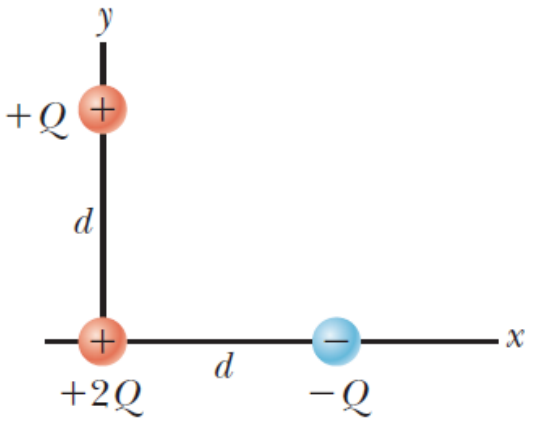
الشكل P1.14

15. في نظرية بور لذرة الهيدروجين، يتحرك الالكترون في مسار دائري حول البروتون، حيث نصف قطر المدار الدائري هو 5.29×10^{-11}m. (a) اوجد مقدار القوة الكهربية المبذولة على كل جسيم. (b) اذا كانت هذه القوة تتسبب في التسارع المركزي للالكترون ما مقدار السرعة التي يتحرك بها الالكترون؟

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

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

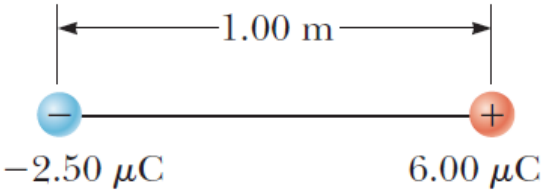
18. لماذا الحالة التالية مستحيلة؟ جسيمان من التراب متماثلين كتلة كل جسيم 1.00μg تسبح في الفراغ، بعيدا عن تأثير أي كلا من المجال الكهربي او الجاذبية الأرضية ومستقرة بالنسبة للجسيم الاخر. كلا الجسيمين يحملان شحنات كهربية متماثلة في المقدار والاشارة. القوة الكهربي والجاذبية بينهما وجد ان لها نفس المقدار أي ان الجسيمين 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 واعطي للاخرى شحنة مقدارها -18.0nC. (a) أوجد القوة الكهربية المبذولة بواسطة احد الكرتين على الأخرى. (b) ماذا لو؟ تم توصيل الكرتين بسلك موصل. اوجد القوة الكهربية التي تؤثر بها احدى الكرتين على الأخرى بعد ان وصلا لحالة الاتزان.

الجزء 4.1 المجال الكهربي The Electric Field

20. جسم صغير كتلته 3.80g وشحنته -18.0μC معلق بدون حركة فوق الأرض عندما تعرض لمجال كهربي منتظم عمودي على الأرض. ما مقدار واتجاه المجال الكهربي؟

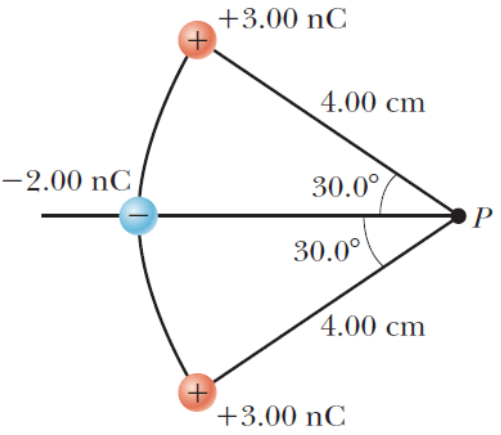
M 21. في الشكل P1.21 حدد النقطة التي ينعدم عندها المجال الكهربي.



الشكل P1.21

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

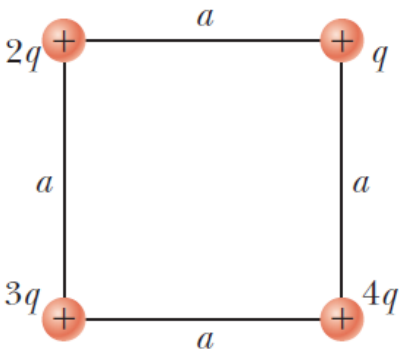
23. ثلاثة شحنات نقطية موضوعة على قوس دائري كما هو موضح في الشكل P1.23. (a) ما هو محصلة المجال الكهربي عند النقطة P، عند مركز القوس؟ (b) اوجد القوة الكهربية المبذولة على الشحنة 5.00nC- الموضوعة عند النقطة P.



الشكل P1.23

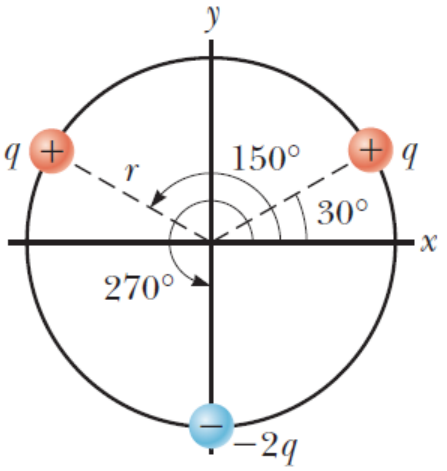
24. S Q|C جسمين مشحونين موضوعين على محور x. الجسيم الأول مشحون بشحنة $+Q$ عند $x=-a$. والجسيم الثاني غير معلوم الشحنة وموضوع عند $x=+3a$. محصلة المجال الكهربي لهذه الشحنات عند نقطة الأصل له قيمة تساوي $2k_eQ/a^2$. كم عدد المتغيرات الممكنة للشحنة المجهولة مع الشرح واوجد القيم الممكنة.

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



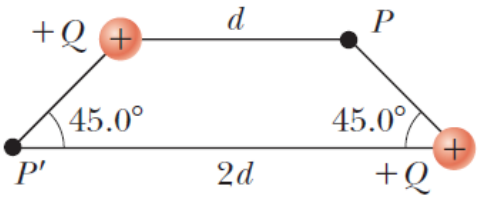
الشكل P1.25

S .26 تقع ثلاثة شحنات على محيط دائرة نصف قطرها عند الزوايا 30° و150° و270° كما هو موضح في الشكل P1.26. أوجد صيغة محصلة المجال الكهربي عند مركز الدائرة.



الشكل P1.26

S .27 جسيمين مشحونين بشحنة متساوية عند ركنين متقابلين لشبه منحرف كما هو موضح في الشكل P1.27. أوجد الصيغة لمحصلة المجال الكهربي عند (a) 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 الكهربي 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 الكهربي لتوزيع متصل من الشحنات Electric Field of a Continuous Charge Distribution

29. ساق طوله 14.0cm مشحون بانتظام ويمتلك شحنة كلية مقدارها -22µC. حدد (a) مقدار و(b) اتجاه المجال الكهربي على امتداد محور الساق عند نقطة تبعد 36.0 سم من مركزه.

30. قرص نصف قطره 35.0cm مشحون بانتظام بكثافة شحنة مقدارها $7.90\times10^{-3}C/m^2$. احسب المجال الكهربي 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 75.0µC. اوجد المجال الكهربي على محور الحلقة عند عند (a) 1.00cm و(b) 5.0cm و(c) 30.0cm و(d) 100cm من مركز الحلقة.

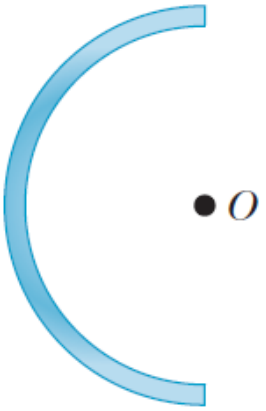
32. Q|C يشتق المثال 8.1 الصيغة اللازمة لايجاد المجال الكهربي عند نقطة على محور قرص مشحون بانتظام. اعتبر قرص نصف قطره R=3.00cm يمتلك شحنة موزعة بانتظام مقدارها +5.20μC. (a) باستخدام نتيجة المثال 8.1 احسب المجال الكهربي عند نقطة على المحور وتبعد مسافة 3.00mm من المركز. (b) **ماذا لو؟** اشرح كيف ان إجابة الجزء (a) تقارن مع المجال الكهربي المحسوب بالتقريب للمجال القريب والذي يساوي $E=\sigma/2\varepsilon_0$. (سوف نشتق هذه العلاقة في الجزء القادم من الكتاب). (c) باستخدام نتيجة المثال 8.1 احسب المجال الكهربي عند نقطة على المحور وتبعد مسافة 30.0cm من مركز القرص. (d) **ماذا لو؟** اشرك كيف ان إجابة الجزء (c) تقارن مع المجال الكهربي الناتج عن اعتبار القرص كجسيم مشحون بشحنة +5.20μC عند مسافة 30.0cm.

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

34. S المجال الكهربي على امتداد محور قرص مشحون بانتظام نصف قطره R ويمحل شحنة كلية Q تم حسابها كما ورد في المثال 8.1. اثبت ان المجال الكهربي عند مسافة x اكبر بكثير من R يؤول إلى مقدار المجال الكهربي 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 $\delta<<1$.

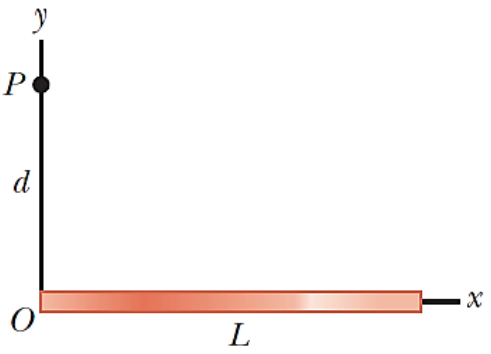
35. M ساق معزول ومشحون بانتظام طوله 14.0cm ثني ليأخذ شكل نصف دائرة كما هو موضح في الشكل P1.35. يمتلك الساق شحنة كلية مقدارها -7.50μC. أوجد

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



الشكل P1.35

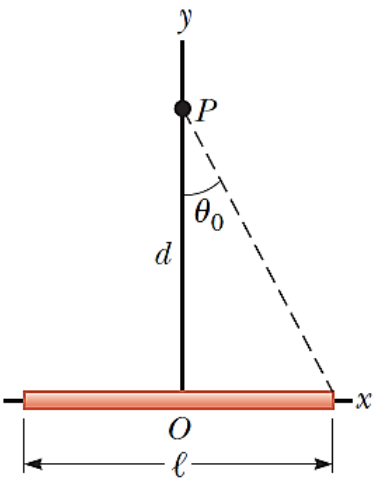
36. S Q|C ساق مشحونة بانتظام طوله L ويحمل شحنة كلية مقدارها Q موضوع على امتداد محور x كما هو موضح في الشكل P1.36. (a) أوجد مركبات المجال الكهربي عند النقطة P على محور y على مسافة d من نقطة الأصل. (b) ما هي القيم التقريبية لمركبات المجال الكهربي عندما $d >> L$؟ اشرح لماذا تلك النتائج كانت متوقعة.



الشكل P1.36

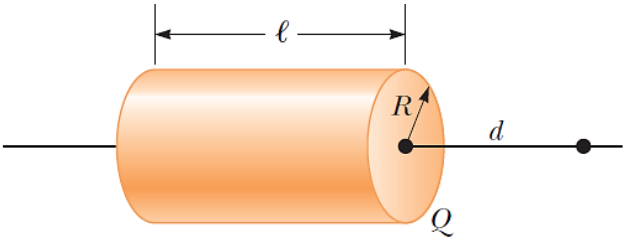
37. S ساق رفيع طوله l ويحمل شحنة منتظمة لكل وحدة طول مقدارها λ تقع على امتداد المحور x كما هو موضح في الشكل P1.37. (a) اثبت ان المجال الكهربي عند

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 الكهربي لساق لانهائي هو $E=2k_e\lambda/d$.



الشكل P1.37

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

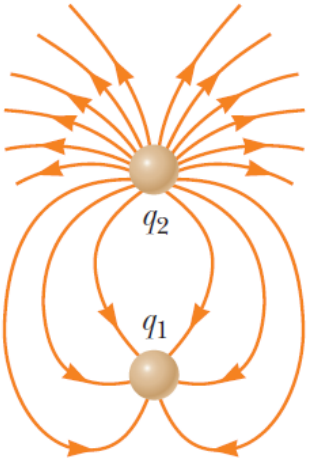


الشكل P1.38

الجزء 6.1 خطوط المجال الكهربي Electric Field Lins

39. ساق مشحونة بشحنة سالبة موزعة بانتظام لكل وحدة طول. ارسم مخطط لخطوط المجال الكهربي 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 الكهربي في مستوى عمودي على مستوى القرص ويمر بمركزه.

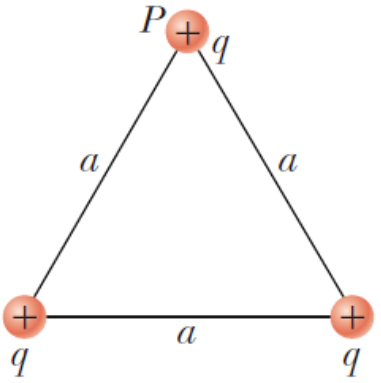


الشكل P1.41

41. يوضح الشكل P1.41 خطوط المجال الكهربي لجسيمين مشحونين منفصلين بواسطة مسافة صغيرة. (a) حدد النسبة q_1/q_2. (b) ما هي إشارة كلا من q_1 وq_2؟

S 42. 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 الكهربي في مستوى الشحنات. (b) اوجد موضع النقطة التي يكون عندها المجال الكهربي يساوي صفر. ما (c) مقدار و(d) اتجاه

المجال الكهربي عند P الناتج عن الشحنتين على قاعدة المثلث؟



الشكل P1.42

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

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

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

45. M يتسارع بروتون من السكون في مجال كهربي 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

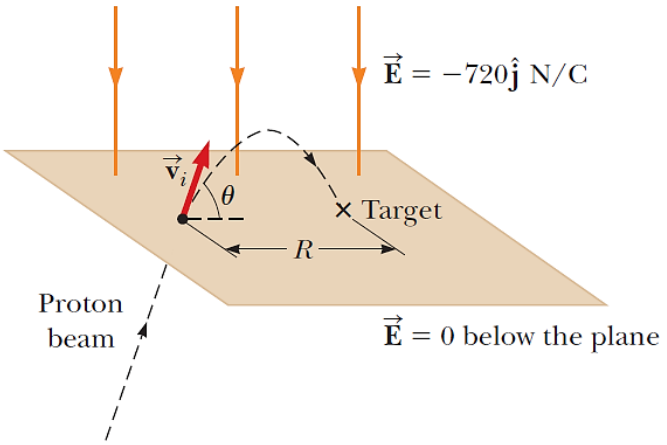
الزمينة؟

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 $2.00\times10^{-3}N/C$ في الفراغ بينهما. جسيم كتلته $2.00\times10^{-16}kg$ ومشحون بشحنة موجبة مقدارها $1.00\times10^{-6}C$ تنطلق من مركز اللوح السفلي السالب الشحنة بسرعة ابتدائية مقدارها $1.00\times10^{5}m/s$ عند زاوية 37.0^{o} 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=9.55km/s من منطقة خالية من المجال الكهربي خلال مستوى وفي منطقة يوجد فيها مجال كهربي منتظم $\vec{E} = -720\hat{j}N/C$ 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=1.27mm من نقطة التي 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 وE وشحنة وكتلة البروتون والزاوية θ. (d)

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



الشكل P1.48

M 49. يتحرك بروتون بسرعة 4.50×10^5m/s في الاتجاه الافقي. يدخل في مجال كهربي رأسي مقداره 9.60×10^3N/C. باهمال أي تأثير لقوى الجاذبية الأرضية اوجد (a) الزمن اللازم للبروتون ليتحرك مسافة مقدارها 5.00cm افقيا، (b) مقدار ازاحته الرأسية خلال الفترة الزمنية التي احتاجها ليتحرك مسافة 5.00cm افقيا. (c) المركبات الافقية والرأسية لسرعته بعد ان تحرك مسافة 5.00cm افقيا.

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

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

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

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

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

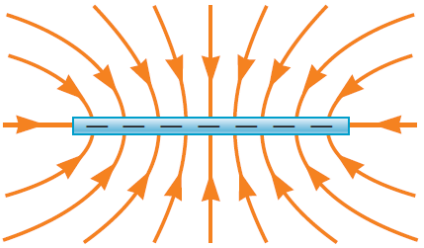
31. (a) 6.64×10^6 N/C (b) 2.41×10^7 N/C

(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/s^2 (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**i** + 102**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 و2008-2007
- ✶ 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 اكاديمية 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