

1.5 Electrostatic Force (Part 1/2)

2024-09-22

Quick review:

Fill in the blanks:

- 1) (.....
Charging by
conduction.....): Charges will flow between two objects with a different net charge connected by a conductive path.
- 2) (.....
Electrostatic
Charging.....): Transfer of charge.
- 3) (.....
Charging by
Induction.....): A method to charge objects temporarily.

Electric Force:

An attractive **electrostatic force** acts between the positively charged strands of hair and the negatively charged balloon.



Electric Force:

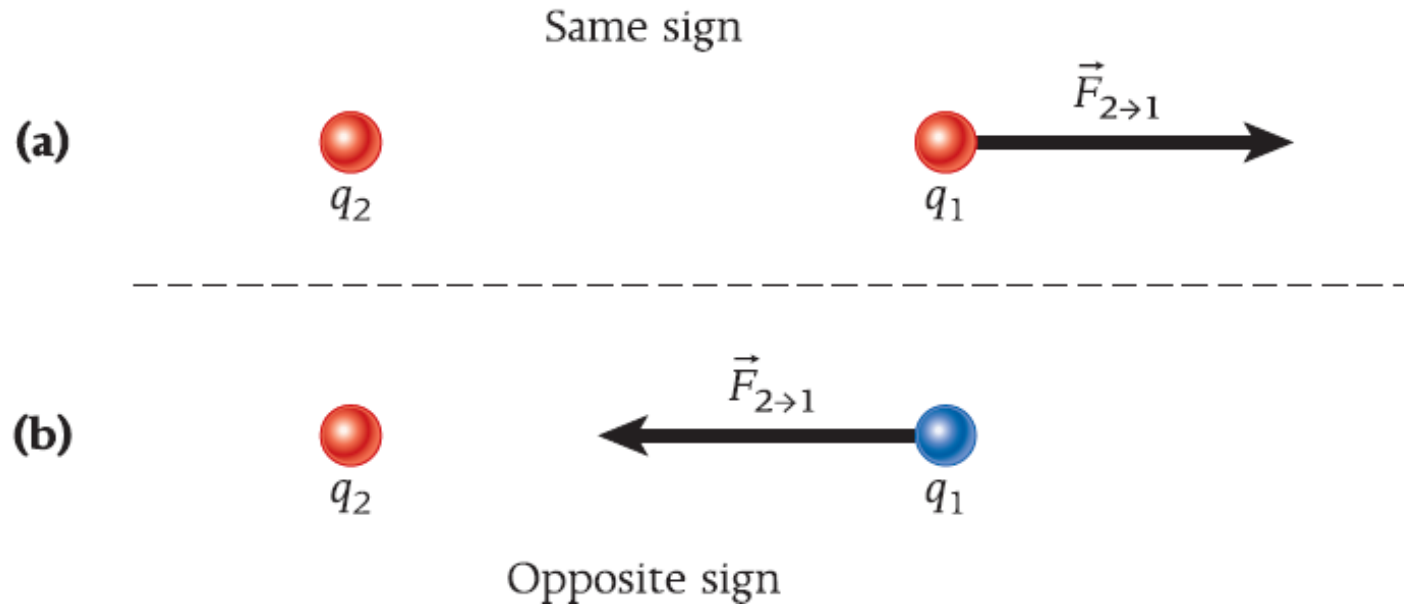


FIGURE 1.13 The force exerted by charge 2 on charge 1: (a) two charges with the same sign; (b) two charges with opposite signs.

Coulomb's Law:

Charge

The magnitude of the electrostatic force linearly depends on the magnitudes of **each charge**.

$$F \propto |q_1 q_2|$$

Separation Distance

The electrostatic force depends on the inverse of the square of the **distance between the objects**.

$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

This relationship is known as the **inverse square law** and it is a common relationship in physics.

$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

where (q_1) and (q_2) are electric charges, (r) is the distance between them, and (k) is **Coulomb constant** = $8.99 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2$

Coulomb's Law:

$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r^2}.$$

Where ϵ_0 is the **electric permittivity of free space** and is equal to $8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$

Coulomb's Law:

$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

What happens to the electrostatic force when you:

1) Increase q_1 .

The force increase.

2) Increase q_2 .

The force increase.

3) Decrease q_1 .

The force decrease.

4) Increase r .

The force decrease.

5) Decrease r .

The force increase.

Coulomb's Law:

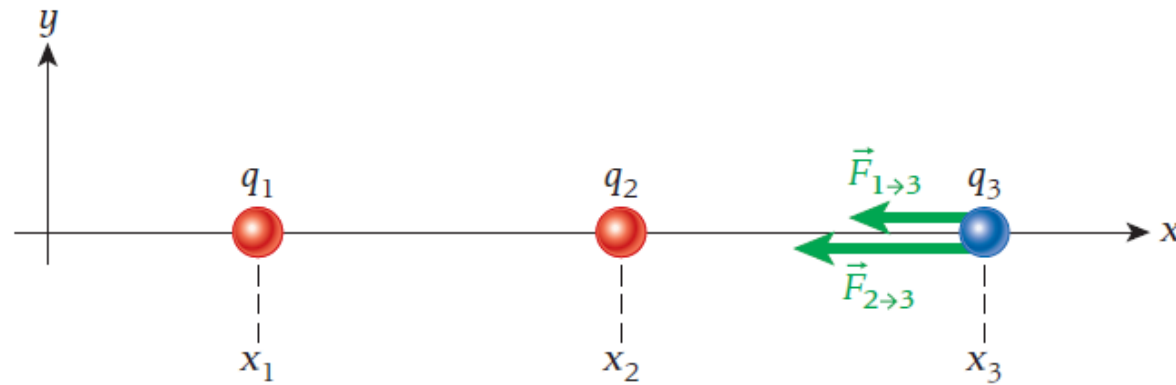


FIGURE 1.15 The forces exerted on charge 3 by charge 1 and charge 2.

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

Activity 1: (Page: 10)

$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

Concept Check 1.3

You place two charges a distance r apart. Then you double each charge and double the distance between the charges. How does the force between the two charges change?

- a) The new force is twice as large.
- b) The new force is half as large.
- c) The new force is four times larger.
- d) The new force is four times smaller.
- e) The new force is the same.

مراجعة المفاهيم 1.3

إذا وضعت شحنتين بحيث تفصل بينهما مسافة r ، ثم ضاعفت كلًا من الشحنتين وضاعفت المسافة بينهما، فكيف سيتغير مقدار القوة المبذولة بين الشحنتين؟

- a) ستكون القوة الجديدة ضعف هذا المقدار.
- b) ستكون القوة الجديدة نصف هذا المقدار.
- c) سيزيد مقدار القوة الجديدة بأربعة أضعاف.
- d) سيقبل مقدار القوة الجديدة بأربعة أضعاف.
- e) ستكون القوة الجديدة بالمقدار نفسه.

Activity 2: (Page: 11)

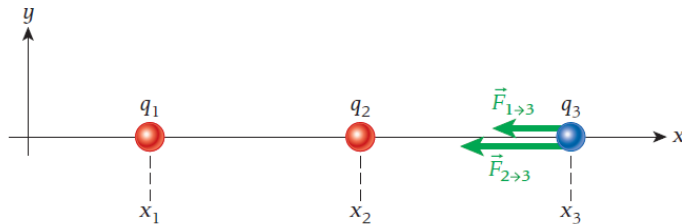


FIGURE 1.15 The forces exerted on charge 3 by charge 1 and charge 2.

Concept Check 1.5

Assuming that the lengths of the vectors in Figure 1.15 are proportional to the magnitudes of the forces they represent, what do they indicate about the magnitudes of the charges q_1 and q_2 ? (Hint: The distance between x_1 and x_2 is the same as the distance between x_2 and x_3 .)

a) $|q_1| < |q_2|$

b) $|q_1| = |q_2|$

c) $|q_1| > |q_2|$

d) The answer cannot be determined from the information given in the figure.

مراجعة المفاهيم 1.5

إذا افترضنا أن طول كل متجه من المتجهين في الشكل 1.15 يتناسب مع مقدار القوة الذي يمثله، فما الذي يشير إليه المتجهان بخصوص مقدار الشحنتين q_1 و q_2 ؟ (تلميح: المسافة بين x_1 و x_2 هي نفسها المسافة بين x_2 و x_3 .)

a) $|q_1| < |q_2|$

b) $|q_1| = |q_2|$

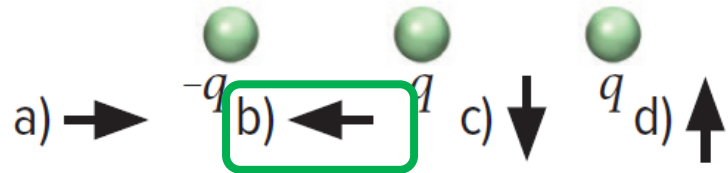
c) $|q_1| > |q_2|$

d) لا يمكن تحديد الإجابة من المعلومات المعطاة في الشكل.

Activity 3: (Page: 12)

Concept Check 1.6

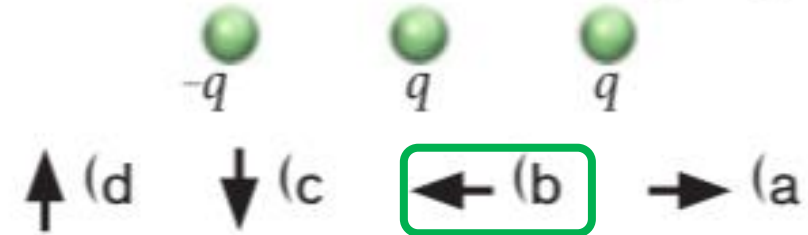
Three charges are arranged on a straight line as shown in the figure. What is the direction of the electrostatic force on the *middle* charge?



e) There is no force on that charge.

مراجعة المفاهيم 1.6

يوضح الشكل ثلاث شحنات مرتبة على خط مستقيم. ما اتجاه القوة الكهروستاتيكية المؤثرة في الشحنة الوسطى؟

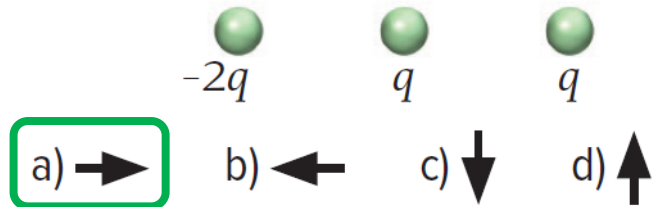


e) لا توجد قوة مؤثرة في هذه الشحنة.

Activity 3: (Page: 12)

Concept Check 1.7

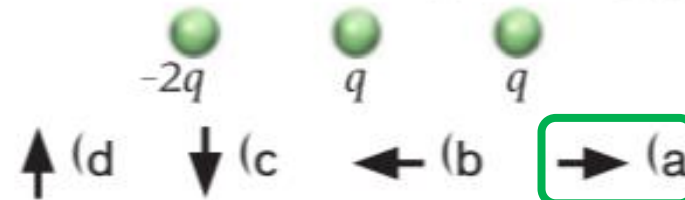
Three charges are arranged on a straight line as shown in the figure. What is the direction of the electrostatic force on the *right* charge? (Note that the left charge is double what it was in Concept Check 1.6.)



e) There is no force on that charge.

مراجعة المفاهيم 1.7

يوضح الشكل ثلاث شحنات مرتبة على خط مستقيم. ما اتجاه القوة الكهروستاتيكية المؤثرة في الشحنة اليمنى؟ (لاحظ أن مقدار الشحنة اليسرى يساوي ضعف مقدارها في مراجعة المفاهيم 1.6.)



e) لا توجد قوة مؤثرة في هذه الشحنة.

Activity 4: (Page: 12)

القوة الكهروستاتيكية داخل الذرة

مثال 1.2

المسألة 1

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

تفصل بين البروتونين مسافة مقدارها $r = 2 \times 10^{-15} \text{ m}$ تقريبًا.

EXAMPLE 1.2

Electrostatic Force inside the Atom

PROBLEM 1

What is the magnitude of the electrostatic force that the two protons inside the nucleus of a helium atom exert on each other?

A distance of approximately $r = 2 \times 10^{-15} \text{ m}$ separates the two protons.

Activity 5: (Page: 12)

المسألة 2

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

حيث إن شحنة الإلكترون هي $q_e = -e$ وشحنة نواة الذهب هي $q_N = +79e$.

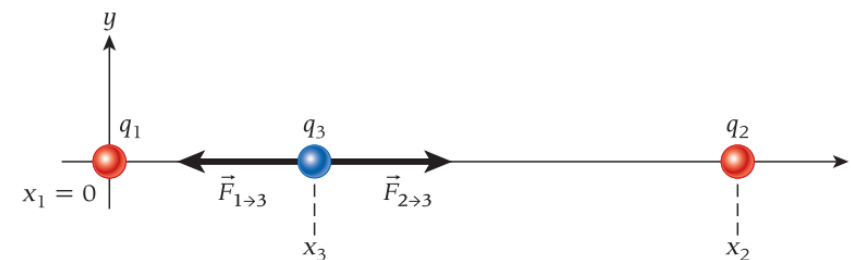
PROBLEM 2

What is the magnitude of the electrostatic force between a gold nucleus and an electron of the gold atom in an orbit with radius $4.88 \times 10^{-12} \text{ m}$?

The charge of the gold nucleus is $q_n = +79e$

المسألة

يوضح الشكل 1.16 موضع جسيمين مشحونين: يقع الجسيم $q_1 = 0.15 \mu\text{C}$ عند نقطة الأصل، ويقع الجسيم $q_2 = 0.35 \mu\text{C}$ على محور x الموجب عند النقطة $x_2 = 0.40 \text{ m}$. أين يجب أن يكون موضع الجسيم الثالث المشحون، q_3 ، ليكون عند نقطة اتزان (بحيث يكون مجموع القوى المؤثرة فيه صفراً)؟



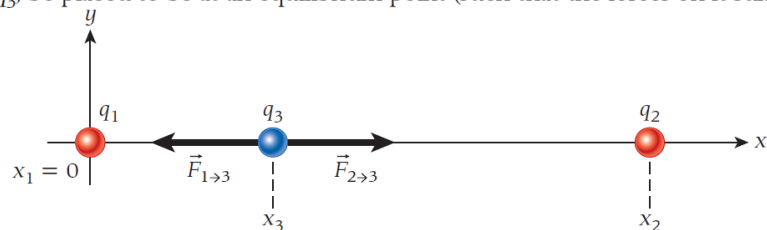
Example 1.3: (Page: 13)

EXAMPLE 1.3

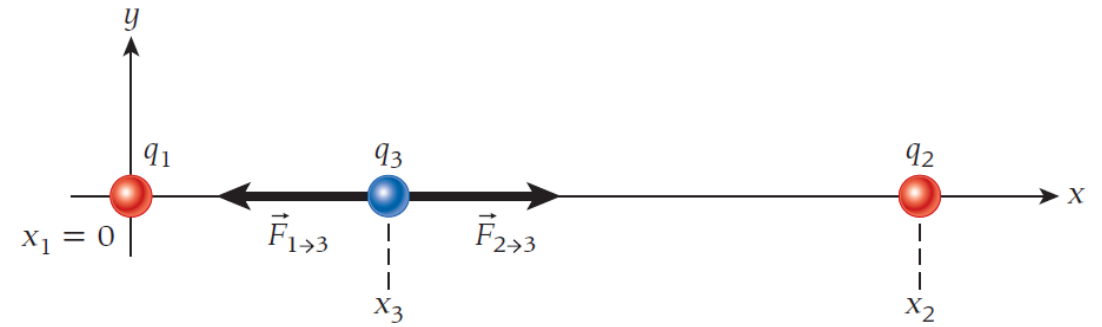
Equilibrium Position

PROBLEM

Two charged particles are placed as shown in Figure 1.16: $q_1 = 0.15 \mu\text{C}$ is located at the origin, and $q_2 = 0.35 \mu\text{C}$ is located on the positive x -axis at $x_2 = 0.40 \text{ m}$. Where should a third charged particle, q_3 , be placed to be at an equilibrium point (such that the forces on it sum to zero)?



Example 1.3: (Page: 13)



$$|\vec{F}_{1 \rightarrow 3}| = |\vec{F}_{2 \rightarrow 3}|,$$

which we can rewrite as

$$k \frac{|q_1 q_3|}{(x_3 - x_1)^2} = k \frac{|q_3 q_2|}{(x_2 - x_3)^2}.$$

We now see that the magnitude and sign of the third charge do not matter because that charge cancels out, as does the constant k , giving us

$$\frac{q_1}{(x_3 - x_1)^2} = \frac{q_2}{(x_2 - x_3)^2}$$

or

$$q_1(x_2 - x_3)^2 = q_2(x_3 - x_1)^2. \quad (\text{i})$$

Taking the square root of both sides and solving for x_3 , we find

$$\sqrt{q_1}(x_2 - x_3) = \sqrt{q_2}(x_3 - x_1),$$

or

$$x_3 = \frac{\sqrt{q_1}x_2 + \sqrt{q_2}x_1}{\sqrt{q_1} + \sqrt{q_2}}.$$

Example 1.3: (Page: 13)

We can take the square root of both sides of equation (i) because $x_1 < x_3 < x_2$, and so both of the roots, $x_2 - x_3$ and $x_3 - x_1$, are assured to be positive.

Inserting the numbers given in the problem statement, we obtain

$$x_3 = \frac{\sqrt{q_1}x_2 + \sqrt{q_2}x_1}{\sqrt{q_1} + \sqrt{q_2}} = \frac{\sqrt{0.15 \mu\text{C}}(0.4 \text{ m})}{\sqrt{0.15 \mu\text{C}} + \sqrt{0.35 \mu\text{C}}} = 0.16 \text{ m}.$$

This result makes sense because we expect the equilibrium point to reside closer to the smaller charge.

Activity 6:

$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

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

Find the force on q_2 where the distance between q_1 and q_2 is $2 \times 10^{-5} \text{m}$ and the distance between q_2 and q_3 is $3 \times 10^{-5} \text{m}$.

$$q_1 = -7.0 \mu\text{C}$$


$$q_2 = +3.0 \mu\text{C}$$


$$q_3 = -2.5 \mu\text{C}$$


Practice:

1.2 The force between a charge of $25\text{ }\mu\text{C}$ and a charge of $-10\text{ }\mu\text{C}$ is 8.0 N . What is the separation between the two charges?

- a) 0.28 m
- b) 0.53 m**
- c) 0.45 m
- d) 0.15 m

1.2 إذا كانت القوة المبذولة بين شحنة مقدارها $25\text{ }\mu\text{C}$ وشحنة مقدارها $-10\text{ }\mu\text{C}$ تساوي 8.0 N ، فما المسافة الفاصلة بين الشحنتين؟

- a) 0.28 m
- b) 0.53 m**
- c) 0.45 m
- d) 0.15 m

Practice:

1.3 A charge Q_1 is positioned on the x -axis at $x = a$. Where should a charge $Q_2 = -4Q_1$ be placed to produce a net electrostatic force of zero on a third charge, $Q_3 = Q_1$, located at the origin?

a) at the origin

c) at $x = -2a$

b) at $x = 2a$

d) at $x = -a$

1.3 وُضعت شحنة Q_1 على المحور x عند النقطة $x = a$. أين يجب أن توضع الشحنة $Q_2 = -4Q_1$ لبذل محصلة قوى كهروستاتيكية مقدارها صفر على شحنة ثالثة، $Q_3 = Q_1$ ، موجودة عند نقطة الأصل؟

(c) عند $x = -2a$

(a) عند نقطة الأصل

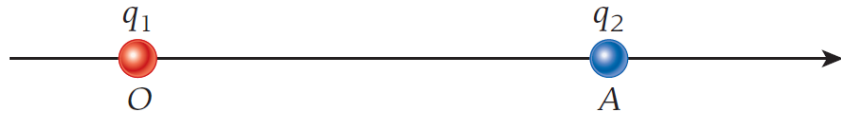
(d) عند $x = -a$

(b) عند $x = 2a$

Practice:

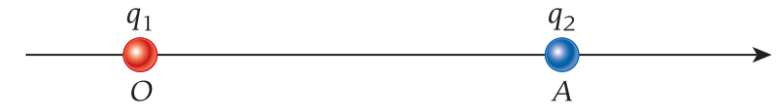
1.5 Two point charges are fixed on the x -axis: $q_1 = 6.0 \mu\text{C}$ is located at the origin, O , with $x_1 = 0.0 \text{ cm}$, and $q_2 = -3.0 \mu\text{C}$ is located at point A , with $x_2 = 8.0 \text{ cm}$. Where should a third charge, q_3 , be placed on the x -axis so that the total electrostatic force acting on it is zero?

- a) 19 cm
- b) 27 cm**
- c) 0.0 cm
- d) 8.0 cm
- e) -19 cm



1.5 شحنتان نقطيتان مثبتتان على المحور x : إذا كانت الشحنة $q_1 = 6.0 \mu\text{C}$ موضوعة عند نقطة الأصل، O ، حيث $x_1 = 0.0 \text{ cm}$ ، وكانت الشحنة $q_2 = -3.0 \mu\text{C}$ موضوعة عن النقطة A ، حيث $x_2 = 8.0 \text{ cm}$ ، فأين يجب أن توضع الشحنة الثالثة، q_3 ، على المحور x بحيث تكون محصلة القوة الكهروستاتيكية المؤثرة فيها صفراً؟

- a) 19 cm
- b) 27 cm**
- c) 0.0 cm
- d) 8.0 cm
- e) -19 cm



Practice:

1.6 Which of the following situations produces the largest net force on the charge Q ?

- a) Charge $Q = 1 \text{ C}$ is 1 m from a charge of -2 C .
- b) Charge $Q = 1 \text{ C}$ is 0.5 m from a charge of -1 C .
- c) Charge $Q = 1 \text{ C}$ is halfway between a charge of -1 C and a charge of 1 C that are 2 m apart.
- d) Charge $Q = 1 \text{ C}$ is halfway between two charges of -2 C that are 2 m apart.
- e) Charge $Q = 1 \text{ C}$ is a distance of 2 m from a charge of -4 C .

1.6 أي من الحالات التالية تنتج أكبر محصلة قوى تؤثر في الشحنة Q ؟

- (a) تبعد الشحنة $Q = 1 \text{ C}$ مسافة 1 m عن شحنة مقدارها -2 C .
- (b) تبعد الشحنة $Q = 1 \text{ C}$ مسافة 0.5 m عن شحنة مقدارها -1 C .
- (c) تقع الشحنة $Q = 1 \text{ C}$ في منتصف المسافة بين شحنة مقدارها -1 C وشحنة مقدارها 1 C تفصل بينهما مسافة 2 m.
- (d) تقع الشحنة $Q = 1 \text{ C}$ في منتصف المسافة بين شحنتين بمقدار -2 C تفصل بينهما مسافة 2 m.
- (e) تبعد الشحنة $Q = 1 \text{ C}$ مسافة 2 m عن شحنة مقدارها -4 C .

Practice:

1.15 If two charged particles (the charge on each is Q) are separated by a distance d , there is a force F between them. What is the force if the magnitude of each charge is doubled and the distance between them changes to $2d$?

1.15 إذا كانت هناك مسافة فاصلة d بين جسيمين مشحونين (شحنة كل منهما Q)، فستكون هناك قوة F بينهما. ما مقدار هذه القوة إذا تضاعف مقدار كل شحنة وكانت المسافة بينهما $2d$ ؟

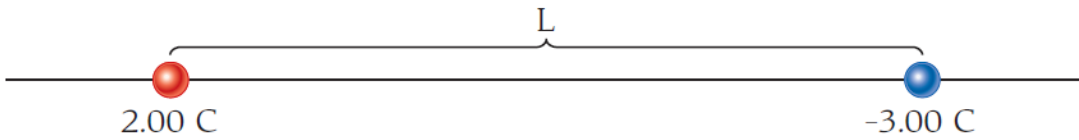
Practice:

1.21 Two charged spheres are initially a distance d apart. The magnitude of the force on each sphere is F . They are moved closer to each other such that the magnitude of the force on each of them is $9F$. By what factor has the distance between the two spheres changed?

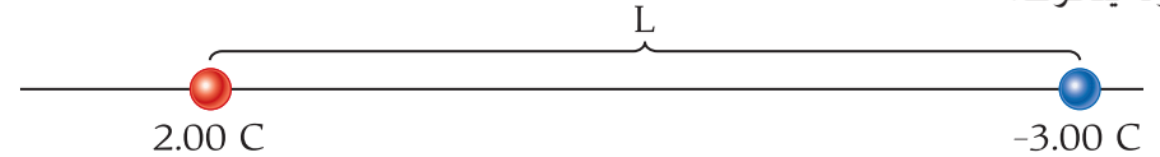
1.21 تفصل مسافة ابتدائية d بين كرتين مشحونتين. وكان مقدار القوة المؤثرة في كل كرة هو F . ثم اقتربت الكرتان إحداهما من الأخرى بحيث كان مقدار القوة المؤثرة في كل منهما $9F$. ما معامل التغير في المسافة بين الكرتين؟

Practice:

1.26 Two electric charges are placed on a line, as shown in the figure. Is it possible to place a charged particle (that is free to move) anywhere on the line between the two charges and have it not move?

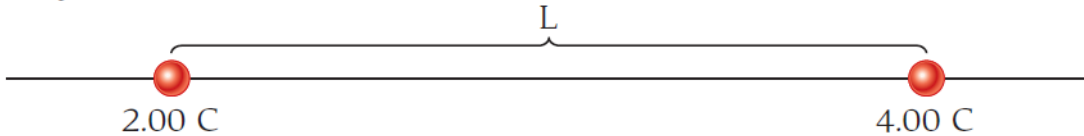


1.26 وضعت شحنتان كهربائيتان على خط مستقيم كما يوضح الشكل. هل يمكن وضع جسيم مشحون (حر الحركة) عند أي نقطة على الخط المستقيم بين الشحنتين ولا يتحرك؟

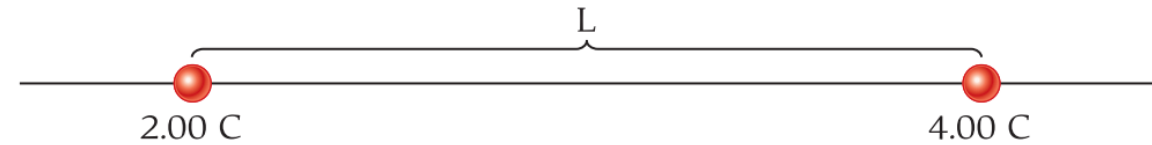


Practice:

1.27 Two electric charges are placed on a line as shown in the figure. Where on the line can a third charge be placed so that the force on that charge is zero? Does the sign or the magnitude of the third charge make any difference to the answer?



1.27 وضعت شحنتان كهربائيتان على خط مستقيم كما يوضح الشكل. أين يمكن وضع شحنة ثالثة على الخط المستقيم بحيث تكون القوة المؤثرة في هذه الشحنة صفراً؟ هل تُحدث إشارة الشحنة الثالثة أو مقدارها أي فرق في الإجابة؟



Practice:

1.38 Two charged spheres are 8.00 cm apart. They are moved closer to each other by enough that the force on each of them increases four times. How far apart are they now?

1.38 كرتان مشحونتان تفصل بينهما مسافة مقدارها 8.00 cm. إذا اقتربت الكرتان إحداهما من الأخرى بما يكفي لزيادة مقدار القوة المؤثرة في كل منهما بمعدل أربعة أضعاف، فما المسافة الفاصلة بينهما عندئذٍ؟

Practice:

1.39 جسيمان متماثلان مشحونان تفصل بينهما مسافة 1.00 m يتنافران بقوة مقدارها 1.00 N. ما مقدار الشحنتين؟

1.39 Two identically charged particles separated by a distance of 1.00 m repel each other with a force of 1.00 N. What is the magnitude of the charges?

Practice:

- **1.46** A point charge $+3q$ is located at the origin, and a point charge $-q$ is located on the x-axis at $D = 0.500$ m. At what location on the x-axis will a third charge, q_0 , experience no net force from the other two charges?

• **1.46** وُضعت شحنة نقطية $+3q$ عند نقطة الأصل، وشحنة نقطية $-q$ على المحور x عند النقطة $D = 0.500$ m. عند أي نقطة على المحور x ستكون محصلة القوى من الشحنتين الأخريين المؤثرة في شحنة q_0 ، مساويةً صفراً؟

Thank you

Link for slides in the description

For inquiries:

Telegram: [@Asmaa_Alhameed](#)

Email: a.a.alhameed@gmail.com

