السؤال 1 من بجروت الفيزياء — كهرباء ومغناطيسيّة — بجروت 1994

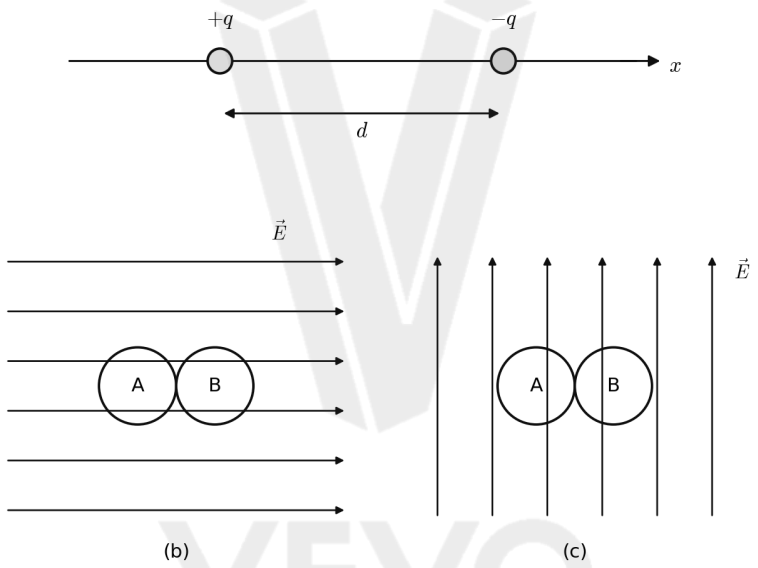
(هنا نحلّ هذا السؤال كاملًا.)

نصّ السؤال

شحنتان نقطيّتان متساويتان في المقدار ومختلفتان في الإشارة موضوعتان على محور x. في البند ج نضع كرتين موصلتين غير مشحونتين في حقل كهربائيّ منتظم.

المعطيات:

- الشحنة $+q$ والشحنة $-q$ على محور x، والبعد بينهما d.
- الكرة A والكرة B موصلتان غير مشحونتين ومتلامستان في البداية.
- في التخطيط (b) الحقل أفقيّ نحو اليمين (على امتداد الخطّ الذي يصل المركزين)، وفي التخطيط (c) الحقل عموديّ إلى أعلى.



أ. المطلوب: هل توجد نقطة على محور x فيها: (1) الحقل المحصّل صفر؟ (2) الجهد المحصّل صفر؟ نفحص القطعة بين الشحنتين والأجزاء خارجها، ونشرح.

ب. المطلوب: الشغل اللازم لإبعاد الشحنتين من البعد d إلى البعد $2d$، بدلالة معطيات السؤال.

ج. المطلوب: (1) في التخطيط (b) نفصل الكرتين وهما في الحقل. هل تبقيان مشحونتين؟ إذا نعم فما إشارة شحنة كلّ كرة؟ نعلّل. (2) السؤال نفسه للتخطيط (c).

حقوق النشر محفوظة لدى فيفو. يُحظر نشر أو توزيع أو نسخ أو تصوير أو إعادة كتابة هذه الحلول بأيّ أداة أو أيّ صورة، كلّها أو جزء منها، بدون إذن خطّيّ من فيفو.

الحلّ: **أ(1).** لا توجد نقطة حقلها صفر **أ(2).** نعم: منتصف القطعة $x = d/2$ فقط **ب.** $W = \dfrac{kq^2}{2d}$

ج(1). نعم: الكرة A سالبة والكرة B موجبة **ج(2).** لا: الكرتان متعادلتان

(صياغة السؤال والرسومات والحلّ: فيفو · vevo.)

الحلّ الكامل:

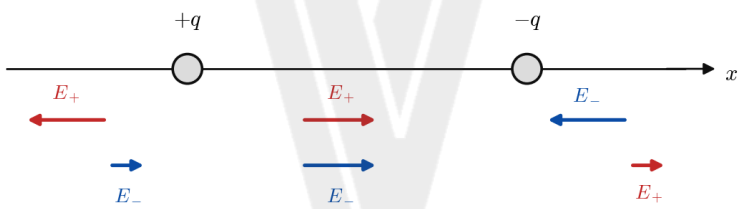
البند أ

نضع الشحنة $+q$ في $x = 0$ والشحنة $-q$ في $x = d$. حقل شحنة نقطيّة وجهدها:

$$E = \frac{k|Q|}{r^2}, \qquad V = \frac{kQ}{r}$$

(القانون موجود في لائحة القوانين التي تكون معك في الامتحان.)

(1) الحقل. نرسم اتّجاه الحقلين في المناطق الثلاث. حقل الشحنة الموجبة يبتعد عنها، وحقل الشحنة السالبة يتّجه نحوها.



- بين الشحنتين: الحقلان في الاتّجاه نفسه (نحو اليمين)، فهما يُجمعان ولا يلغي أحدهما الآخر.

- يسار الشحنة الموجبة: الحقلان متعاكسان، لكنّ هذه النقطة أقرب إلى $+q$. المقداران متساويان فقط إذا تساوى البعدان، وهذا مستحيل هنا:

$$\frac{kq}{r_+^2} > \frac{kq}{r_-^2} \quad \text{since} \quad r_+ < r_-$$

- يمين الشحنة السالبة: الشيء نفسه، النقطة أقرب إلى $-q$ فحقلها أكبر. إذن لا توجد نقطة على المحور حقلها صفر.

لا توجد نقطة حقلها صفر

الجواب النهائيّ للبند أ(1)

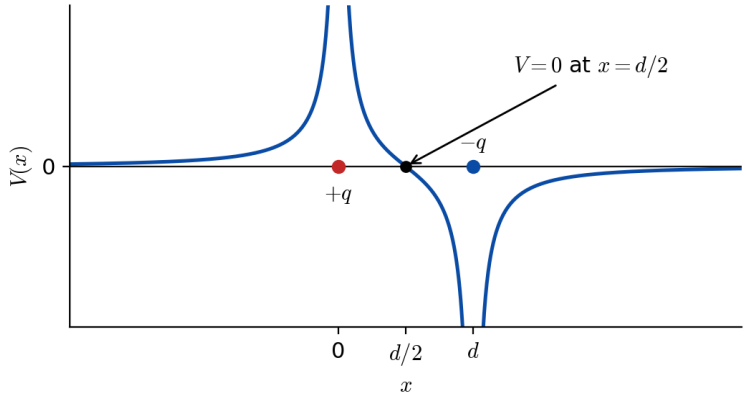
(2) الجهد. الجهد كمّيّة عدديّة (ليست متّجهًا)، فنجمع بالإشارات:

$$V(x) = \frac{kq}{r_+} - \frac{kq}{r_-} = 0 \;\Rightarrow\; r_+ = r_-$$

حقوق النشر محفوظة لدى فيفو. يُحظر نشر أو توزيع أو نسخ أو تصوير أو إعادة كتابة هذه الحلول بأيّ أداة أو أيّ صورة، كلّها أو جزء منها، بدون إذن خطّيّ من فيفو.

▪ بين الشحنتين: البعدان متساويان في منتصف القطعة $x = d/2$، فهناك الجهد صفر.

▪ خارج القطعة: لا يتساوى البعدان أبدًا. يسار $+q$ الجهد موجب، ويمين $-q$ الجهد سالب.



لاحظ: في منتصف القطعة الجهد صفر، لكنّ الحقل هناك ليس صفرًا:

$$E\left(\tfrac{d}{2}\right) = \frac{kq}{(d/2)^2} + \frac{kq}{(d/2)^2} = \frac{8kq}{d^2} \neq 0$$

$$\boxed{V = 0 \text{ at } x = d/2}$$

الجواب النهائيّ للبند أ(2): منتصف القطعة فقط

البند ب

الطاقة الكامنة الكهربائيّة لشحنتين نقطيّتين:

$$U = \frac{kq_1q_2}{r}$$

(القانون موجود في لائحة القوانين التي تكون معك في الامتحان.)

الشحنتان مختلفتان في الإشارة، فالطاقة سالبة:

$$U_i = -\frac{kq^2}{d}, \qquad U_f = -\frac{kq^2}{2d}$$

الشغل الذي نبذله (ببطء، بلا تغيّر في الطاقة الحركيّة) يساوي تغيّر الطاقة الكامنة:

$$W = U_f - U_i = -\frac{kq^2}{2d} + \frac{kq^2}{d} = \frac{kq^2}{2d}$$

الشغل موجب: الشحنتان تتجاذبان، فيجب أن نبذل شغلًا لنبعدهما.

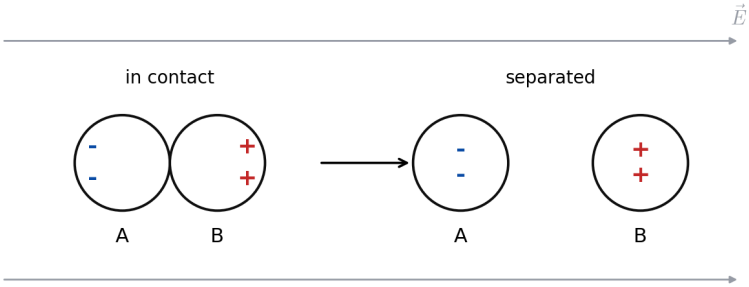
$$\boxed{W = \frac{kq^2}{2d}}$$

الجواب النهائيّ للبند ب

حقوق النشر محفوظة لدى فيفو. يُحظر نشر أو توزيع أو نسخ أو تصوير أو إعادة كتابة هذه الحلول بأيّ أداة أو أيّ صورة، كلّها أو جزء منها، بدون إذن خطّيّ من فيفو.

البند ج

(1) في التخطيط (b) الحقل نحو اليمين. الكرتان المتلامستان موصل واحد. الإلكترونات الحرّة تتحرّك عكس الحقل، أي نحو اليسار، فتتجمّع في الكرة A. وفي الكرة B يبقى نقص في الإلكترونات (شحنة موجبة). هذا شحن بالتأثير.

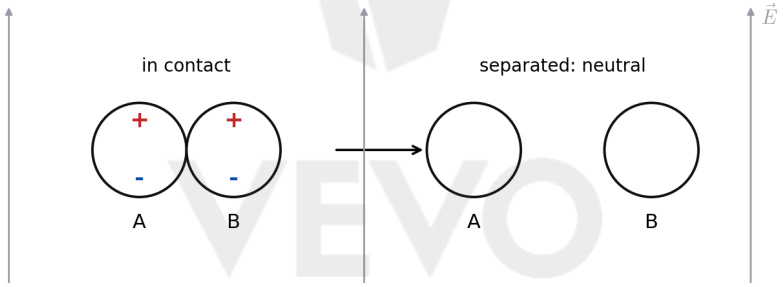


عندما نفصل الكرتين وهما ما زالتا في الحقل، لا تستطيع الشحنات أن تعود. كلّ كرة تبقى بشحنتها، والشحنتان متساويتان في المقدار (حفظ الشحنة).

نعم: الكرة A سالبة والكرة B موجبة

الجواب النهائيّ للبند ج(1)

(2) في التخطيط (c) الحقل إلى أعلى، أي عموديّ على الخطّ الذي يصل المركزين. الإلكترونات تتحرّك إلى أسفل في الكرتين معًا. كلّ كرة تستقطب: أعلاها موجب وأسفلها سالب، ولا تنتقل شحنة من كرة إلى أخرى.



بعد الفصل تبقى شحنة كلّ كرة الكلّيّة صفرًا (فيها استقطاب فقط ما دامت في الحقل).

لا: الكرتان تبقيان متعادلتين

الجواب النهائيّ للبند ج(2)

نصّ الأسئلة والصور: وزارة التربية والتعليم، النموذج قديم، بجروت 1994. صياغة الأسئلة والرسومات والحلّ: فيفو · vevo. حقوق الطبع للوزارة: «النسخ أو النشر ممنوعان إلا بإذن من وزارة التربية والتعليم».

حقوق النشر محفوظة لدى فيفو. يُحظر نشر أو توزيع أو نسخ أو تصوير أو إعادة كتابة هذه الحلول بأيّ أداة أو أيّ صورة، كلّها أو جزء منها، بدون إذن خطّيّ من فيفو.