

السؤال 1 من بجروت الفيزياء — كهرباء ومغناطيسية — بجروت 1996

(هنا نحلّ هذا السؤال كاملاً.)

نص السؤال

طالب يبني جهازاً لقياس الشحنة الكهربائية. عنده كرتان موصلتان صغيرتان متماثلتان: الأولى معلقة بخيط، والثانية ملصقة على رأس عمود. الكرتان على نفس الارتفاع، والخيط والعمود من مادة عازلة كما في الرسم الأيمن.

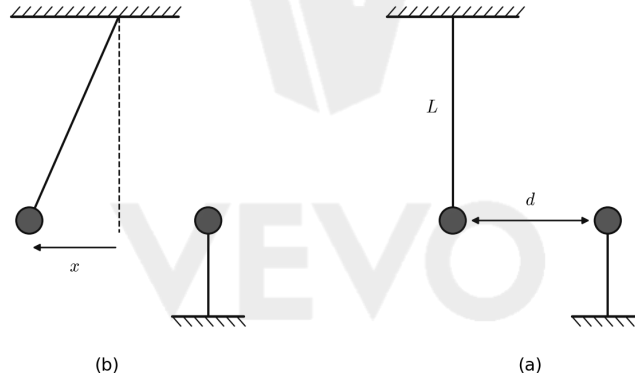
يشحن الطالب الكرتين بنفس الشحنة، فتبتعد الكرة المعلقة عن موضعها الأصلي مسافة أفقية كما في الرسم الأيسر. يغيّر الطالب البعد الابتدائي عدّة مرّات، ويقيس الإزاحة في كلّ مرّة.

المعطيات:

- طول الخيط L ، والبعد الابتدائي بين الكرتين d ، وإزاحة الكرة المعلقة x .
- شحنة كلّ كرة q .
- نتائج القياس:

d (m)	0.62	0.47	0.35	0.24	0.14
x (m)	0.02	0.03	0.05	0.08	0.12

- للبند d فقط: $L = 1$ m, $m = 10$ g



أ. المطلوب: نكمل الجدول بعمودين: البعد بين الكرتين بعد الإزاحة $r = d + x$ ومقلوب مربّعه. ثمّ نرسم الإزاحة كدالة لمقلوب مربّع البعد.

ب. المطلوب: نبيّن أنّه عندما تكون الإزاحة صغيرة جدّاً بالنسبة لطول الخيط (ارتفاع الكرة مهمل) فإنّ قوّة التنافر على الكرة المعلقة هي $F = mg \frac{x}{L}$ ، حيث m كتلة الكرة المعلقة.

ج. المطلوب: بالاعتماد على قانون كولون وعلى البند ب، نشرح شكل الرسم البيانيّ.

د. المطلوب: من الرسم البيانيّ نحسب مقدار الشحنة q .

الحل: أ. خط مستقيم يمرّ في نقطة الأصل ب. $F = mg \tan \theta \approx mg \frac{x}{L}$ ج. $x = \frac{kq^2 L}{mg} \cdot \frac{1}{r^2}$ د. $q \approx 3 \times 10^{-7} \text{ C}$

(صياغة السؤال والرسومات والحل: فيفو · vevo).

الحل الكامل:

البند أ

الكرة المعلقة تتبعد عن الكرة الثابتة، لذلك البعد بين مركزي الكرتين بعد الإزاحة هو مجموع البعد الابتدائي والإزاحة:

$$r = d + x$$

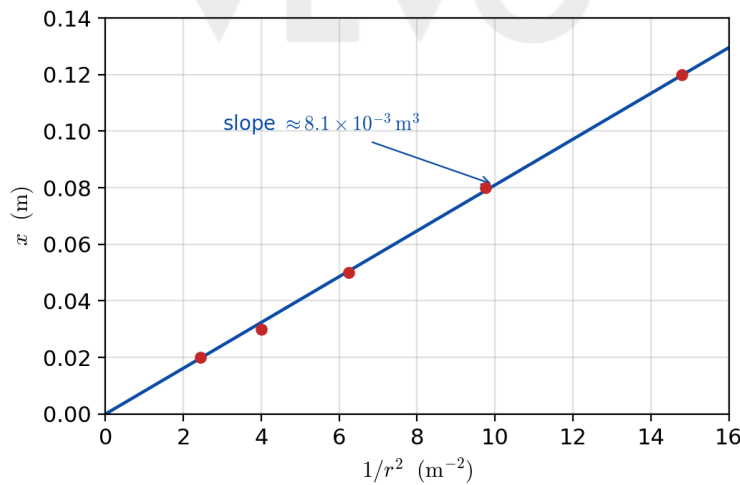
مثال للسطر الأوّل:

$$r = 0.62 + 0.02 = 0.64 \text{ m}, \quad \frac{1}{r^2} = \frac{1}{0.64^2} = 2.44 \text{ m}^{-2}$$

الجدول الكامل:

$d \text{ (m)}$	0.62	0.47	0.35	0.24	0.14
$x \text{ (m)}$	0.02	0.03	0.05	0.08	0.12
$r = d + x \text{ (m)}$	0.64	0.50	0.40	0.32	0.26
$1/r^2 \text{ (m}^{-2}\text{)}$	2.44	4.00	6.25	9.77	14.8

نرسم النقاط: على المحور الأفقيّ مقلوب مربع البعد، وعلى المحور العموديّ الإزاحة. النقاط تقع تقريبًا على خط مستقيم يمرّ في نقطة الأصل:

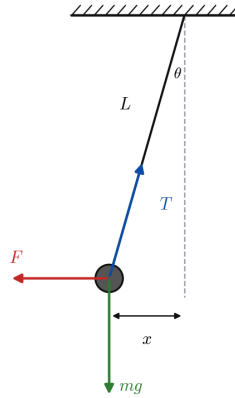


خط مستقيم يمرّ في نقطة الأصل

الجواب النهائي للبند أ

البندب

على الكرة المعلقة ثلاث قوى: الوزن إلى الأسفل، وقوة الشد في الخيط، وقوة التنافر الكهربائية أفقيًا. الكرة في حالة اتزان.



نحلل قوة الشد إلى مركبتين، الخيط يميل بزاوية θ عن الخط العمودي:

$$T \cos \theta = mg, \quad T \sin \theta = F$$

نقسم المعادلة الثانية على الأولى:

$$F = mg \tan \theta$$

الإزاحة صغيرة جدًا بالنسبة لطول الخيط، فالزاوية صغيرة، وارتفاع الكرة مهمل. عندها:

$$\tan \theta \approx \sin \theta = \frac{x}{L}$$

نعوض:

$$F = mg \frac{x}{L}$$

وهو المطلوب.

البندج

قوة التنافر بين الكرتين حسب قانون كولون:

$$F = k \frac{q \cdot q}{r^2} = \frac{kq^2}{r^2}$$

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

نساوي هذا التعبير بالتعبير من البندب:

$$mg \frac{x}{L} = \frac{kq^2}{r^2} \Rightarrow x = \frac{kq^2 L}{mg} \cdot \frac{1}{r^2}$$

المقدار $\frac{kq^2L}{mg}$ ثابت في كل القياسات. إذن الإزاحة تتناسب طرديًا مع مقلوب مربع البعد.

لذلك الرسم خط مستقيم يمر في نقطة الأصل، وميله يساوي هذا الثابت. الرسم يؤكد أن القوة الكهربائية تتناسب عكسيًا مع مربع البعد.

$$\text{slope} = \frac{kq^2L}{mg}$$

الجواب النهائي للبند ج: خط مستقيم من نقطة الأصل

البند د

نحسب ميل الخط من نقطة الأصل ومن نقطة بعيدة عليه، مثلًا النقطة الأخيرة:

$$\text{slope} = \frac{\Delta x}{\Delta(1/r^2)} = \frac{0.12 - 0}{14.8 - 0} \approx 8.1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

(الخط الأفضل عبر كل النقاط يعطي نفس الميل تقريبًا.)

من البند ج، الميل يساوي $\frac{kq^2L}{mg}$. نعزل مربع الشحنة، ونعوّض الكتلة بالكيلوغرام:

$$q^2 = \frac{\text{slope} \cdot mg}{kL} = \frac{8.1 \times 10^{-3} \cdot 0.01 \cdot 10}{9 \times 10^9 \cdot 1} = 9 \times 10^{-14} \text{ C}^2$$

نأخذ الجذر:

$$q = \sqrt{9 \times 10^{-14}} = 3 \times 10^{-7} \text{ C}$$

$$q \approx 3 \times 10^{-7} \text{ C}$$

الجواب النهائي للبند د

نص الأسئلة والصور: وزارة التربية والتعليم، النموذج قديم، بجروت 1996. صياغة الأسئلة والرسومات والحل: فيفو · vevo. حقوق الطبع للوزارة: «النسخ أو النشر ممنوعان إلا بإذن من وزارة التربية والتعليم».

VEVO