السؤال 4 من بجروت الفيزياء — كهرباء ومغناطيسيّة — بجروت 2017 حسب خطّة الإصلاح

(هنا نحلّ هذا السؤال كاملًا. الأسئلة الموجودة في المصدر من هذا الامتحان هي أربعة فقط: السؤال 4 والسؤال 5 والسؤال 6 والسؤال 9، ونحلّها كلّها بأرقامها الأصليّة.)

نصّ السؤال

البرق تفريغ كهربائيّ فجائيّ بين الغيوم وسطح الأرض. أثناء حركة الغيمة تنفصل الشحنات فيها بسبب الاحتكاك بين جزيئات الثلج: الشحنات الموجبة تتجمّع غالبًا في أعلى الغيمة، والشحنات السالبة في أسفلها. وفي الوقت نفسه تنفصل الشحنات على سطح الأرض تحت الغيمة (الشكل). نتناول في السؤال غيمة من هذا النوع.

الشكل: الغيمة في الأعلى، والبرق، والأرض في الأسفل.

المعطيات:

- نعامل المنطقة بين سطح الأرض وأسفل الغيمة كمنطقة فيها حقل كهربائيّ متجانس.
- الجهد الكهربائيّ على عدّة ارتفاعات (انتبه للوحدات)، والارتفاع $y = 0$ على سطح الأرض:

y (m)	0	100	200	300	400	500
V (kV)	0	-20.6	-39	-60.8	-79.4	-101

- العلاقة بين شدّة الحقل المتجانس وفرق الجهد بين نقطتين فيه: $E = -\Delta V / \Delta x$.
- البعد بين أسفل الغيمة وسطح الأرض: $d = 500\ \text{m}$.
- في البند هـ: بروتون يغادر أسفل الغيمة بسرعة مقدارها $2 \cdot 10^5\ \text{m/s}$، ونهمل التغيّر في طاقة الوضع الجاذبيّة.

أ. المطلوب: لماذا تُشحن الأرض تحت الغيمة بشحنة موجبة؟

ب. المطلوب: صف خطوط الحقل الكهربائيّ الساكن والمسطّحات متساوية الجهد في المنطقة بين سطح الأرض والغيمة، مع تخطيط لها.

ج. المطلوب: ارسم رسمًا بيانيًّا للجهد الكهربائيّ كدالّة للارتفاع.

د. المطلوب: جد بمساعدة الرسم البيانيّ شدّة الحقل الكهربائيّ.

هـ. المطلوب: هل يستطيع البروتون الوصول إلى سطح الأرض؟ اشرح.

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.** حتّ: الشحنة السالبة في أسفل الغيمة تدفع إلكترونات الأرض بعيدًا

ب. خطوط مستقيمة متوازية رأسيّة من الأرض إلى الغيمة، والمسطّحات أفقيّة

ج. خطّ مستقيم يمرّ بنقطة الأصل وميله سالب **د.** $E \approx 202\ \mathrm{V/m}$ إلى أعلى

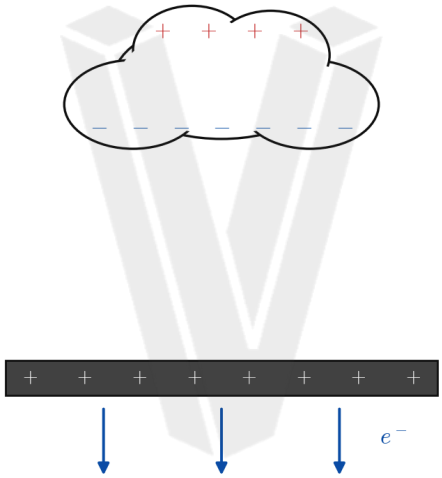
هـ. لا، طاقته الحركيّة أصغر بكثير من الطاقة اللازمة

(صياغة السؤال والرسومات والحلّ: فيفو · vevo.)

الحلّ الكامل:

البند أ

سطح الأرض موصل، وفيه إلكترونات حرّة تستطيع أن تتحرّك.



الشحنة السالبة في أسفل الغيمة تدفع الإلكترونات الحرّة في الأرض بعيدًا عنها، أي إلى الأسفل وإلى الجوانب.

يبقى في سطح الأرض القريب من الغيمة نقص في الإلكترونات، فيُشحن بشحنة موجبة. هذه الظاهرة هي الشحن بالحثّ.

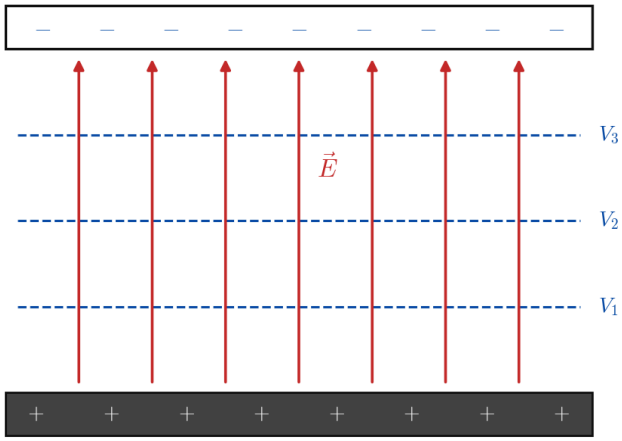
بالحثّ: الإلكترونات تُدفع بعيدًا فيبقى السطح موجبًا

الجواب النهائيّ للبند أ

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 ب

الحقل متجانس، لذلك خطوط الحقل مستقيمة ومتوازية والأبعاد بينها متساوية.



خطوط الحقل تخرج من الشحنة الموجبة وتدخل في الشحنة السالبة. إذن هي رأسيّة، من سطح الأرض الموجب إلى أسفل الغيمة السالب، أي إلى أعلى.

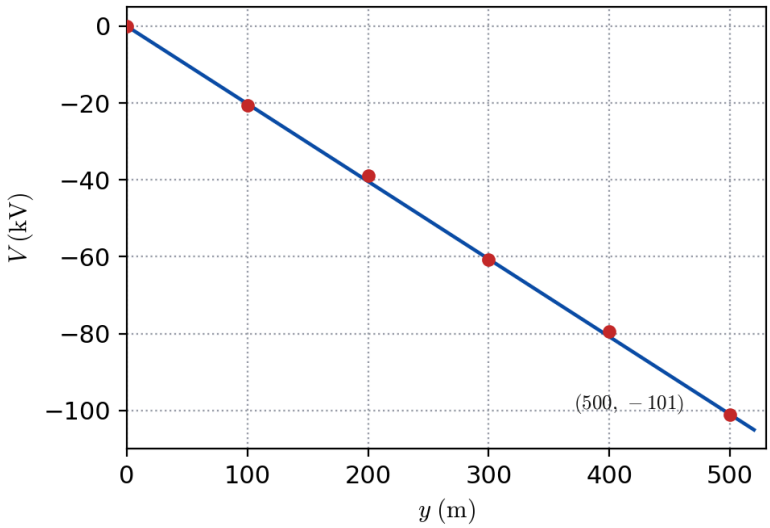
المسطّحات متساوية الجهد عموديّة على خطوط الحقل دائمًا. إذن هي مستويات أفقيّة موازية لسطح الأرض (الخطوط المتقطّعة في الرسم). الجهد ينخفض كلّما ارتفعنا.

خطوط رأسيّة إلى أعلى، ومسطّحات أفقيّة

الجواب النهائيّ للبند ب

البند ج

نرسم الارتفاع على المحور الأفقيّ بالأمتار، والجهد على المحور الرأسيّ بالكيلوفولط، ونضع النقاط الستّ من الجدول.



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.

النقاط تقع تقريبًا على خطّ مستقيم يمرّ بنقطة الأصل. الجهد يقلّ خطّيًّا كلّما زاد الارتفاع، وهذا ما نتوقّعه في حقل متجانس.

خطّ مستقيم بميل سالب يمرّ بنقطة الأصل

الجواب النهائيّ للبند ج

البند د

نحسب ميل الخطّ في الرسم. نأخذ نقطتين على الخطّ: نقطة الأصل والنقطة الأخيرة، ونحوّل الكيلوفولط إلى فولط:

$$\frac{\Delta V}{\Delta y} = \frac{-101 \cdot 10^{3} - 0}{500 - 0} = -202 \ \mathrm{V/m}$$

نعوّض في العلاقة المعطاة:

$$E = -\frac{\Delta V}{\Delta y} = -(-202) = 202 \ \mathrm{V/m} = 202 \ \mathrm{N/C}$$

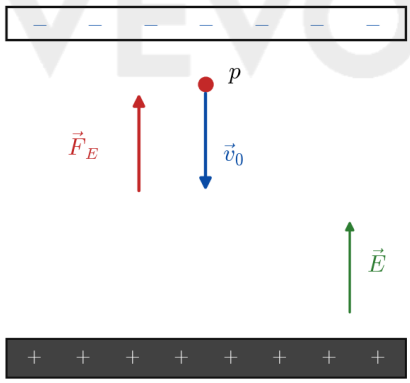
الإشارة الموجبة تعني أنّ الحقل في اتّجاه زيادة الارتفاع، أي إلى أعلى، من الأرض إلى الغيمة. هذا يتّفق مع البند ب.

$$E \approx 202 \ \mathrm{V/m}$$

الجواب النهائيّ للبند د

البند هـ

الحقل إلى أعلى، فالقوّة الكهربائيّة على البروتون الموجب إلى أعلى أيضًا. البروتون يتحرّك نحو الأرض عكس القوّة، فيتباطأ.



كتلة البروتون معروفة، ونكتبها هنا:

$$m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \ \mathrm{kg}$$

طاقته الحركيّة عند مغادرة الغيمة:

$$E_k = \tfrac{1}{2} m_p v_0^2 = \tfrac{1}{2} \cdot 1.67 \cdot 10^{-27} \cdot (2 \cdot 10^{5})^2 \approx 3.34 \cdot 10^{-17} \ \mathrm{J}$$

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.

فرق الجهد بين سطح الأرض وأسفل الغيمة:

$$V_{ground} - V_{cloud} = E\,d = 202 \cdot 500 = 1.01 \cdot 10^{5}\ \text{V}$$

ليصل البروتون إلى الأرض يجب أن تكفي طاقته الحركيّة للزيادة في طاقة الوضع الكهربائيّة:

$$\Delta U = q\,\Delta V = 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 1.01 \cdot 10^{5} \approx 1.62 \cdot 10^{-14}\ \text{J}$$

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

نقارن: الطاقة اللازمة أكبر من الطاقة الحركيّة بنحو خمسمئة مرّة.

$$E_k \approx 3.34 \cdot 10^{-17}\ \text{J} \ \ll\ \Delta U \approx 1.62 \cdot 10^{-14}\ \text{J}$$

البروتون يتوقّف بعد مسافة قصيرة جدًّا تحت الغيمة، ثمّ يعود إلى أعلى:

$$s_{max} = \frac{E_k}{qE} = \frac{3.34 \cdot 10^{-17}}{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 202} \approx 1.03\ \text{m}$$

إذن لا يستطيع البروتون أن يصل إلى سطح الأرض.

لا يصل: يتوقّف بعد نحو متر واحد ويعود

الجواب النهائيّ للبند هـ

نصّ الأسئلة والصور: وزارة التربية والتعليم، النموذج قديم، بجروت 2017 حسب خطّة الإصلاح — نموذج 36381. 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.