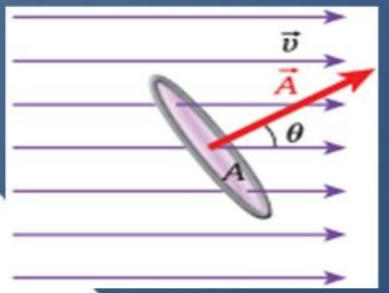
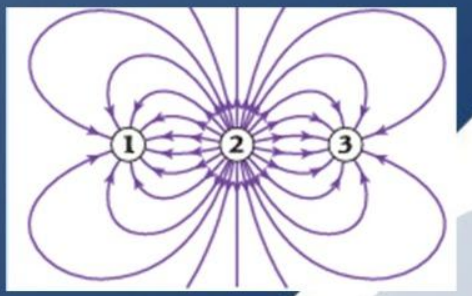
-12Advance -physics-2026-2027
الفيزياء للثاني عشر متقدم

PHYSICS MADE EASY

الوحدة الثانية:المجلات الكهربائية وقانون جاوس





أ. كمال الكركي
T. Kamal Alkaraki

أسم الطالب:

0508193273

الفصل الثاني: متجهات فيزيائية ومجالات كهربائية وقانون جاوس

فهرس القالب الموحد ومحاور الدراسة الشاملة

2.1 تعريف المجالات الكهربائية

2.2 خطوط المجالات الكهربائية

2.3 المجال الكهربائي الناتج عن الشحنات النقطية

2.4 قانون جاوس

2.5 التوزيعات العامة للشحنة

2.6 القوة الناتجة عن المجال الكهربائي

2.7 التدفق الكهربائي

2.8 نقطة 2.8

2.9 حالات خاصة في تماثل توزيع الشحنات

2.1 تعريف المجال الكهربائي

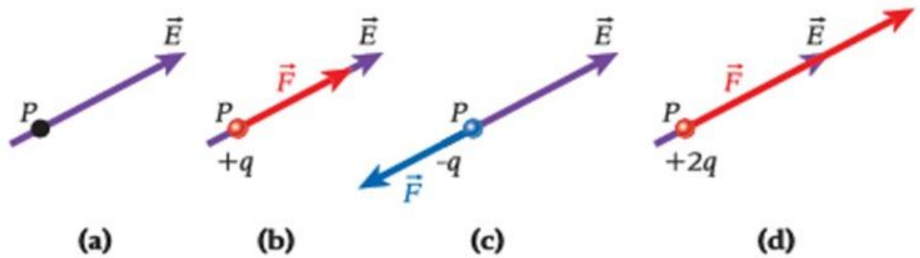
تعريف المجال الكهربائى : هو محصله القوه الكهربائيه المؤثره فى شحنه مقسوما على مقدار تلك الشحنه

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}(\vec{r})}{q}$$

$\vec{E}(\vec{r})$: شدة المجال الكهربائي

$\vec{F}(\vec{r})$: القوة الكهربائية المؤثرة في الشحنة q

وحده المجال الكهربائي هي نيوتن لكل كولوم (N/C)

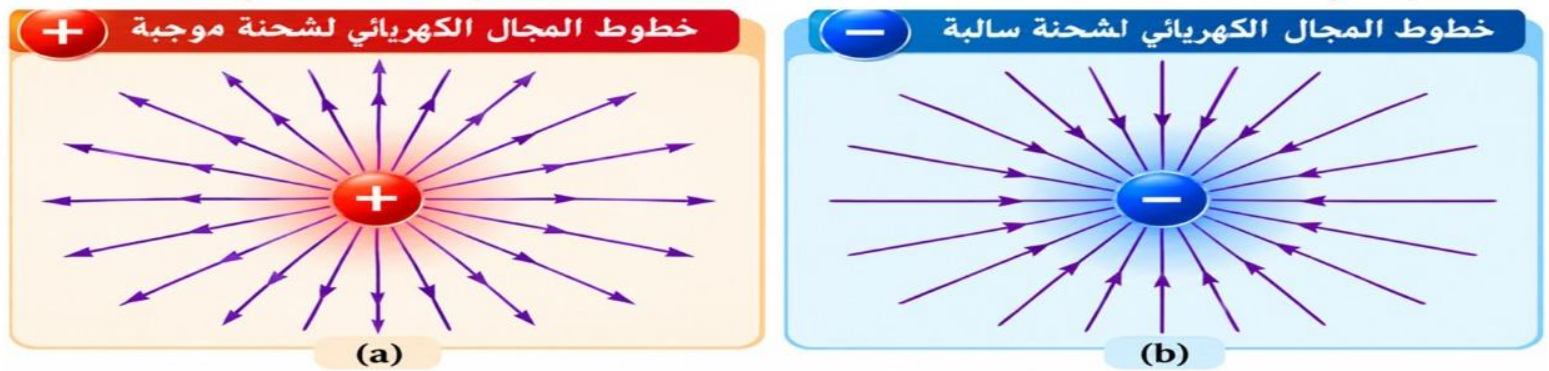


ملاحظات هامة

- يكون اتجاه القوه المؤثره في شحنه موجبه في اتجاه المجال الكهربائي
- يكون اتجاه القوه المؤثره في شحنه سالبه في الاتجاه المعاكس للمجال الكهربائي
- شحنه الاختبار هى شحنة نقطية صغيره موجبه لا تؤثر فى المجال .

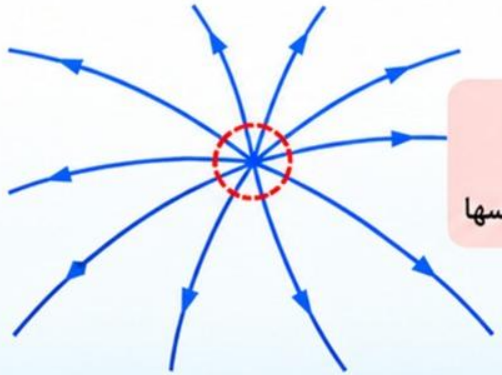
2.2 خطوط المجال الكهربائي

خطوط المجال الكهربائي : هي خطوط وهمية تمثل مسار حركة شحنة اختبار عند وضعها حرة في المجال الكهربائي.



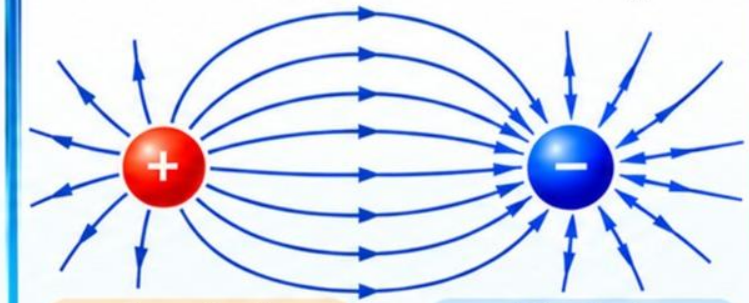
خصائص خطوط المجال الكهربائي

1 **لا تتقاطع** خطوط المجال؛ لأن التقاطع يعني وجود أكثر من اتجاه للمجال عند النقطة نفسها.



التقاطع غير ممكن
لأنه يعني وجود أكثر من اتجاه للمجال عند النقطة نفسها

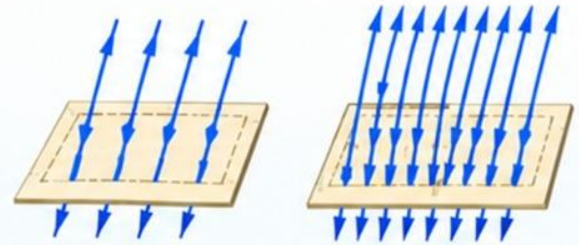
2 تبدأ خطوط المجال من **الشحنة الموجبة** وتنتهي عند الشحنة السالبة (إن وُجدت).



شحنة موجبة
(مصدر لخطوط المجال)

شحنة سالبة
(نهاية لخطوط المجال)

3 عدد خطوط المجال التي تجتاز عموديًا وحدة المساحة يمثل **شدة المجال** عند تلك النقطة.



مجال ضعيف
(عدد خطوط قليل)

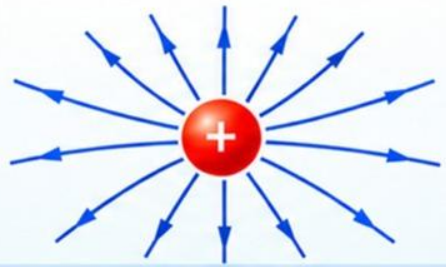
مجال قوي
(عدد خطوط كبير)

4 اتجاه المجال الكهرياتي عند أي نقطة يكون **مماسًا** لخط المجال عند تلك النقطة.

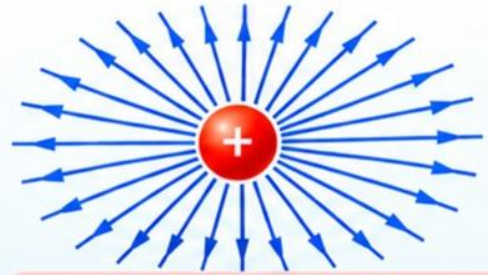


عند النقطة الموضحة يكون أتجاه المجال الكهربائي.
مماساً لخط المجال.

5 تتناسب كثافة خطوط المجال **طرديًا** مع مقدار القوة المؤثرة في شحنة الاختبار.



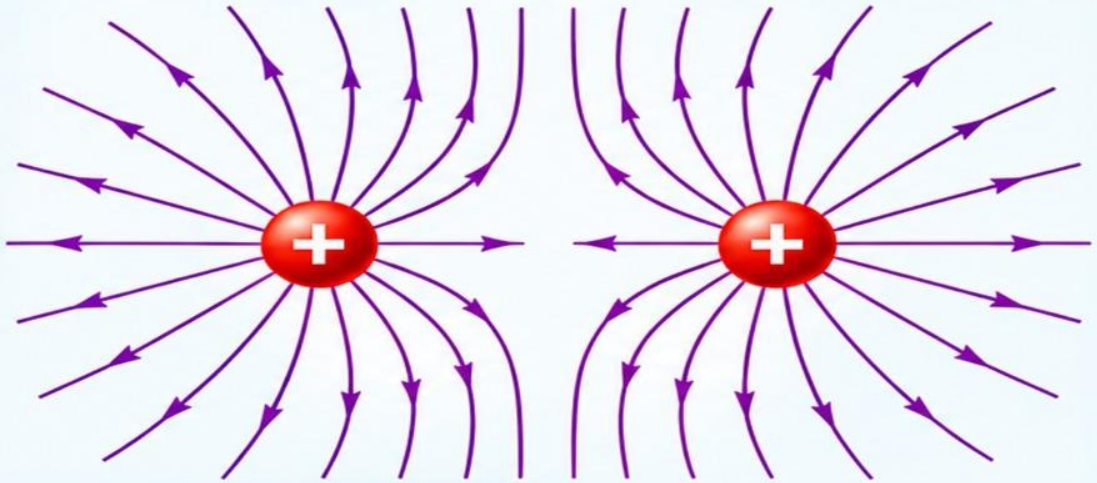
مجال ضعيف
(قوة صغيرة على شحنة الاختبار)



مجال قوي
(قوة كبيرة على شحنة الاختبار)

2.8 شحنتان نقطيتان متماثلتان في الإشارة

تبدأ خطوط المجال من كل شحنة **موجبة** وتنتهي في ما لا نهاية.

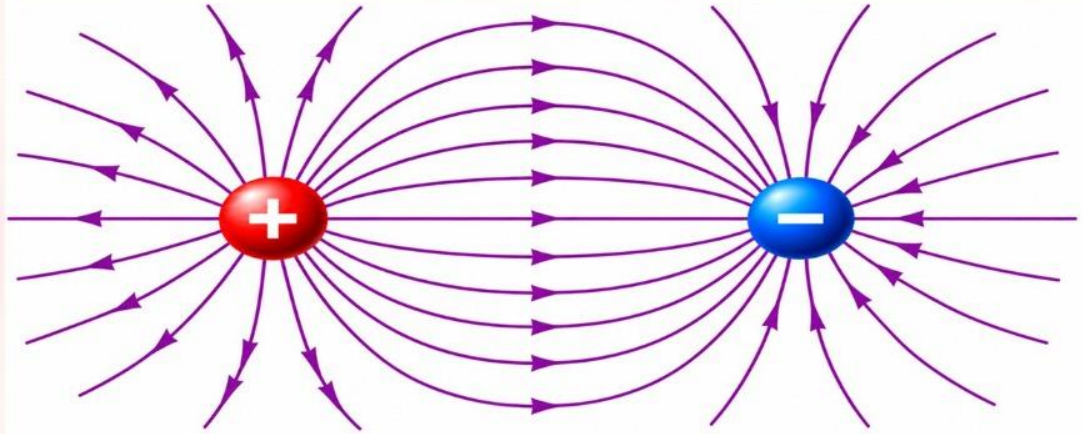


ملاحظات

- لا تتصل خطوط المجال بين الشحنتين المتماثلتين.
- تنتهي الخطوط في ما لا نهاية.
- كل شحنة موجبة تولد خطوط مجال تخرج منها.

2.7 شحنتان نقطيتان مختلفتان في الإشارة

تبدأ خطوط المجال من الشحنة **الموجبة** وتنتهي عند الشحنة **السالبة**.



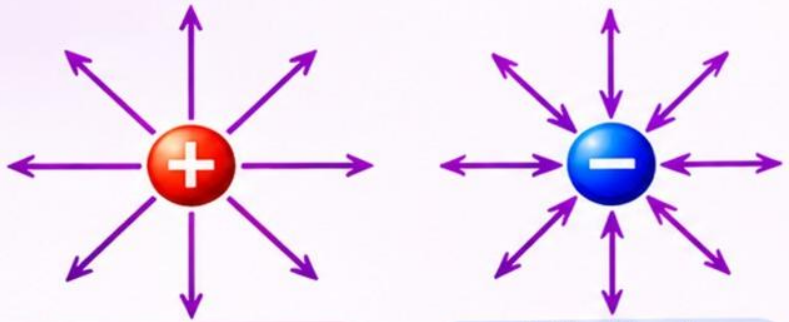
ملاحظات

- تبدأ خطوط المجال من الشحنة **الموجبة**.
- وتنتهي عند الشحنة **السالبة**.
- كثافة الخطوط الأكبر تدل على مجال أقوى.

أنواع المجال الكهربائي

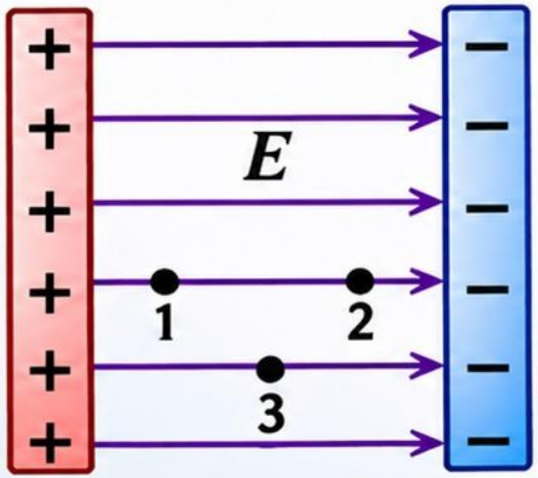
1- المجال غير المنتظم (Irregular Field)

- تتغير شدته (مقداره) من نقطة إلى أخرى.
- خطوط مجاله غير متوازية.
- يتكوَّنَّ حول الشحنات النقطية والشحنات الكروية.



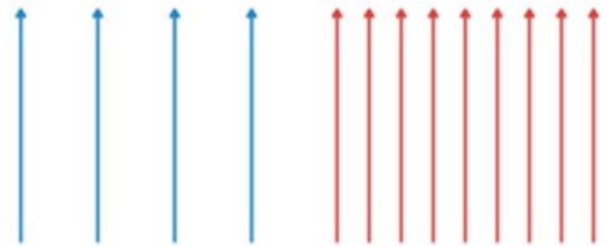
2- المجال المنتظم (Regular Field)

- شدته واتجاهه ثابتان عند جميع تقاطه.
- خطوط مجاله مستقيمة ومتوازية.
- يُحصل عليه باستخدام لوحين متوازيين مشحونين بشحنتين متساويتين في المقدار ومتعاكستين في النوع.



أكمل الكركي

س1)	ماذا تعني زيادة تقارب خطوط المجال في منطقة ما ؟
A	أن المجال أضعف
B	أن الشحنة هناك سالبة بالضرورة
C	أن مقدار المجال أكبر
D	أن المجال يساوي صفرًا



س2)	لماذا لا يمكن لخطّي مجال كهربائي أن يتقاطعا؟
A	لأن الشحنات لا تتحرك
B	لأن الخطوط دائمًا مستقيمة
C	لأن المجال موجود فقط قرب الشحنات
D	لأن اتجاه المجال عند نقطة واحدة لا يمكن أن يكون له اتجاهين

أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي

أكمال الكركي

س3) عند النقطة السوداء على خط المجال المنحني، ما اتجاه متجه المجال الكهربائي



A. عمودي على المماس لخط المجال.

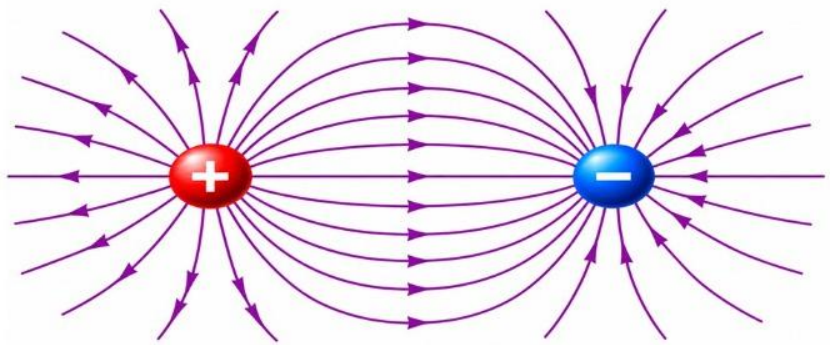
B. باتجاه مركز الانحناء دائمًا.

C. مماس لخط المجال وفي اتجاه السهم.

D. عكس اتجاه السهم لأن الخط منحني.

أكمال الكركي

س4) إذا كان الرسم يستخدم المقياس نفسه للشحنتين الموجبتين، فأي استنتاج تدعمه كثافة خطوط المجال



A. الشحنة ذات الخطوط الأكثر مقدارها أكبر.

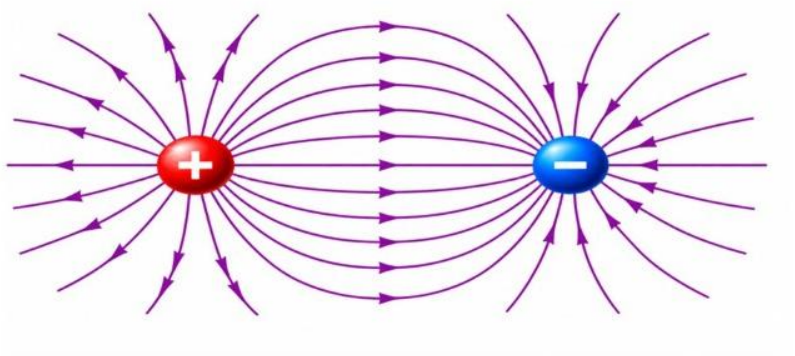
B. الشحنة ذات الخطوط الأقل مقدارها أكبر.

C. الشحنتان متساويتان لأنهما موجبتان.

D. كثافة الخطوط لا ترتبط بمقدار الشحنة.

أكمال الكركي

س5)	أي عبارة تصف اتجاه خطوط المجال في نظام شحنة موجبة وأخرى سالبة



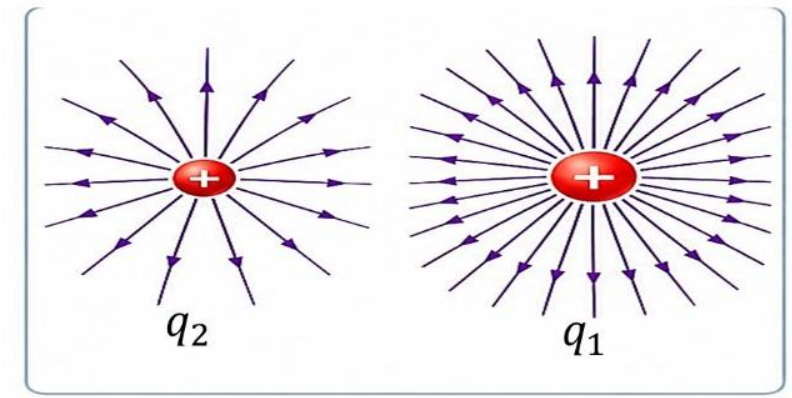
A. تبدأ من السالبة وتنتهي عند الموجبة.

B. تبدأ من الموجبة وتنتهي عند السالبة.

C. تتجه بعيدًا عن الشحنتين في جميع الاتجاهات.

D. يتغير اتجاهها عشوائيًا على طول الخط.

س6)	إذا كان الرسم يستخدم المقياس نفسه للشحنتين الموجبتين، فأي استنتاج تدعمه مقدار المجال الكهربائي



A. $E_1 > E_2$

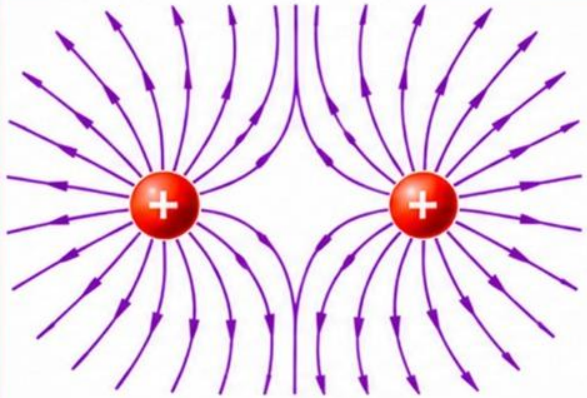
B. $E_1 = E_2$

C. $E_1 < E_2$

D. $E_2 > E_1$

أكمال الكركي

1 يوضح الشكل خطوط المجال الكهربائي لشحنتين نقطيتين موجبتين متساويتين في المقدار. أي العبارات التالية صحيحة؟



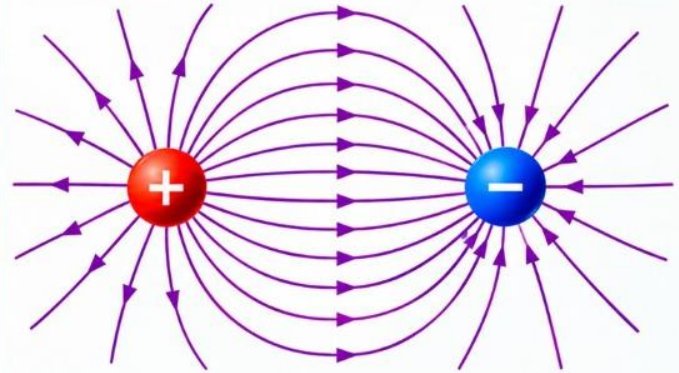
A تتجه خطوط المجال نحو الشحنتين.

B تتصل خطوط المجال بين الشحنتين.

C تتباعد خطوط المجال في المنطقة بين الشحنتين.

D تتقاطع خطوط المجال عند منتصف المسافة بينهما.

2 يوضح الشكل خطوط المجال الكهربائي لشحنتين مختلفتين في الإشارة. ما اتجاه خطوط المجال الكهربائي؟



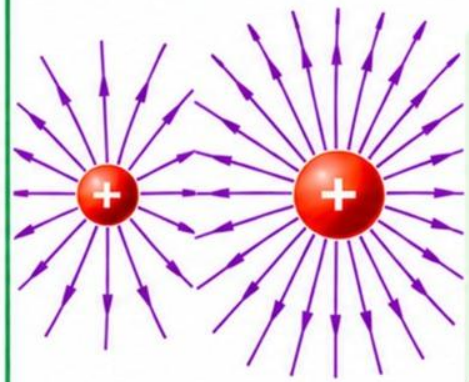
A من الشحنة السالبة إلى الشحنة الموجبة.

B من الشحنة الموجبة إلى الشحنة السالبة.

C يبدأ من الشحنتين في جميع الاتجاهات.

D يتجه نحو الشحنة الموجبة فقط.

3 يوضح الشكل خطوط المجال لشحنتين موجبتين مختلفتين في المقدار. أي العبارات التالية صحيحة؟



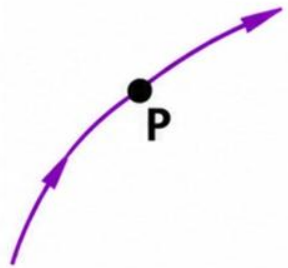
A الشحنة اليسري أكبر مقداراً.

B الشحنة اليمنى أكبر مقداراً.

C الشحنتان متساويتان في المقدار.

D لا يمكن تجديد أي الشحنتين أكبر.

4 إذا كانت النقطة (P) تقع على أحد خطوط المجال كما في الشكل. فما اتجاه المجال الكهربائي عند هذه النقطة؟



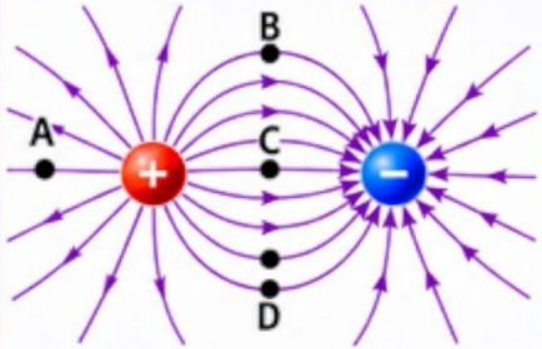
A عمودي علي خط المجال.

B نحو مركز الانحناء.

C مماس لخط المجال في اتجاه السهم.

D يعكس اتجاه السهم.

5 يوضح الشكل خطوط المجال لشحنتين متساويتين في المقدار ومختلفتين في الإشارة. أي النقاط التالية يكون فيها مقدار المجال الكهربائي صفراً؟



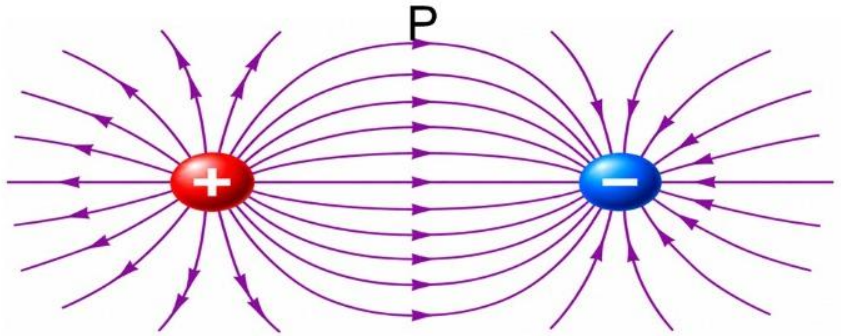
A النقطة A

B النقطة B

C النقطة C

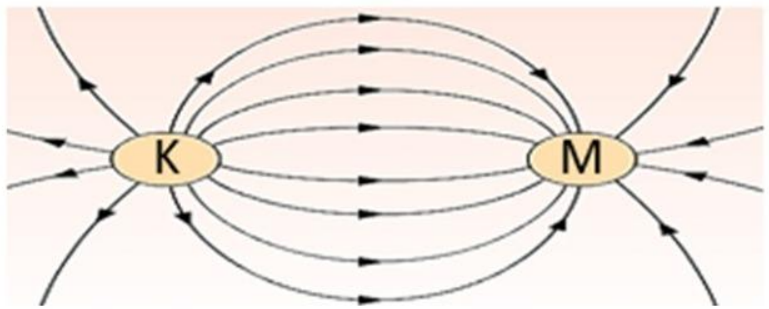
D النقطة D

س12) يبين الشكل خطوط المجال الكهربائي بين شحنتين نقطيتين مختلفتين في الإشارة .حدّد اتجاه المجال الكهربائي عند النقطة (P)



A. نحو الأعلى
B. نحو اليسار
C. نحو اليمين
D. نحو الأسفل

س13) في الشكل المجاور ما هو نوع الشحنة Kوالشحنة M؟



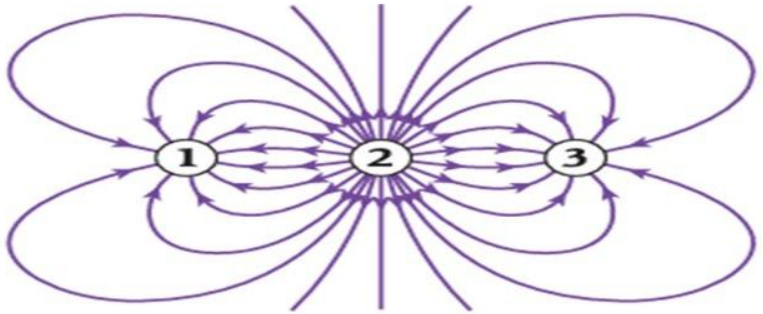
A. الشحنتان K وM موجبتان.

B. الشحنة K موجبة والشحنة M سالبة.

C. الشحنة K سالبة والشحنة M موجبة.

D. الشحنتان K وM سالبتان.

أكمال الكركي

س14)	أي من الشحنات الموضحة في الشكل هو شحنة موجبة؟
a) رقم 1 b) رقم 2 c) رقم 3 d) رقم 1 و 3	

س15)	أي مما يلي يمثل الوحدات الصحيحة لقوة المجال الكهربائي؟
A. N/C B. C/N C. $N \cdot C$ D. J/C	

أكمال الكركي

السؤال :

وضعت الشحنتان النقطيتان $q_1 = +3.0\ \mu C$ و $q_2 = -5.0\ \mu C$ متجاورتين في الهواء كما في الشكل المجاور

a ارسم على الشكل المجاور خطوط المجال الكهربائي الناتج عن الشحنتين .

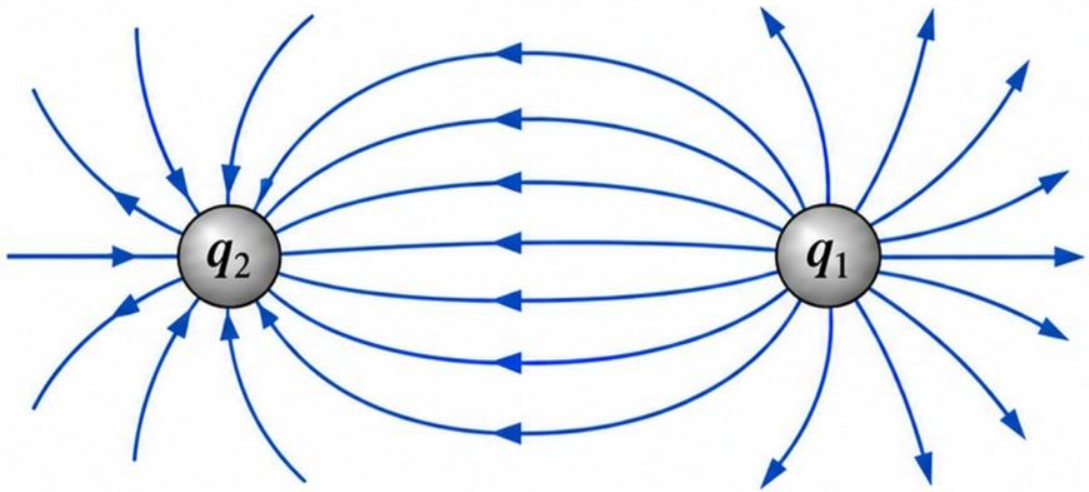


b ارسم على الشكل المجاور خطوط المجال الكهربائي للشحنتين، إذا أصبحت $q_2 = 3q_1$
(باستخدام نفس إشارة q_1 الموجبة) .



السؤال :

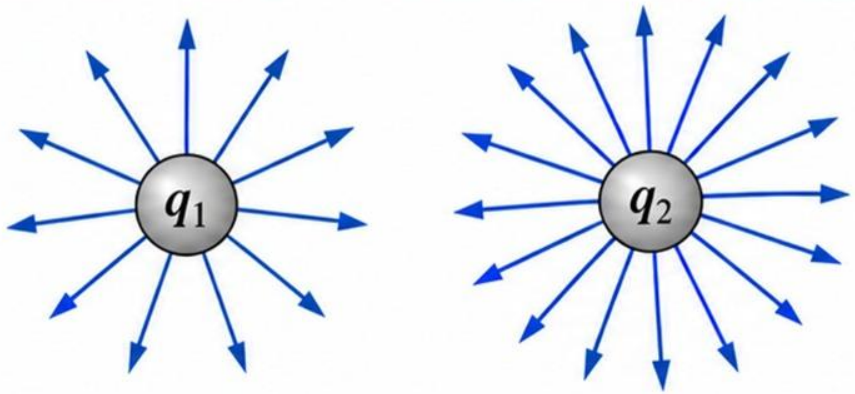
(أ) **اعتماداً على الشكل المجاور، حيث أن مقدار الشحنة الثانية هو $|q_2| = 6\,nC$ ، أكمل ما يلي:**



1. حدّد نوع كل شحنة (موجبة أم سالبة).
2. ارسم خطوط المجال الكهربائي على الشكل مع توضيح اتجاه الأسهم.
3. أكمل الجدول التالي.

الشحنة	نوع الشحنة	مقدار الشحنة
q_1	.....	.....
q_2	.....	$6\,nC$

(ب) **يوضح الشكل المجاور خطوط المجال الكهربائي لشحنتين نقطيتين مختلفتين في المقدار.**



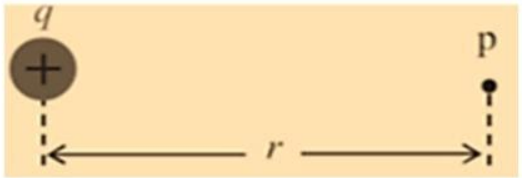
1. أي الشَحنتين أكبر مقداراً ؟ وضح إجابتك.

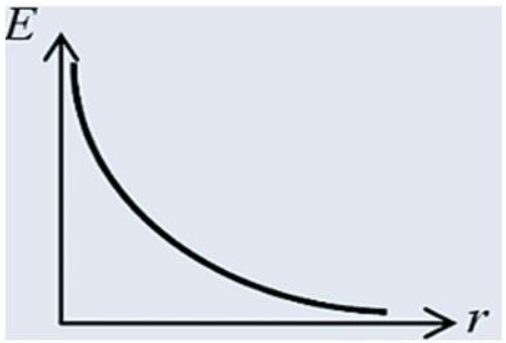
.....

2. أحسب النسبة بين كمية الشَحنتين $\left(\frac{q_2}{q_1}\right)$.

.....

2.3 المجال الكهربائي الناتج عن الشحنات النقطية
Electric Field due to Point Charges





المجال الكهربائي: هو القوة الكهربائية المؤثرة في وحدة الشحنة الاختبارية الموجبة

المجال كمية متجهة لذلك له مقدار واتجاه

$$E = \frac{F}{q}$$

العلاقة الرياضية الأساسية لحساب شدة المجال الكهربائي الناشئ عن شحنة اختبار هي:

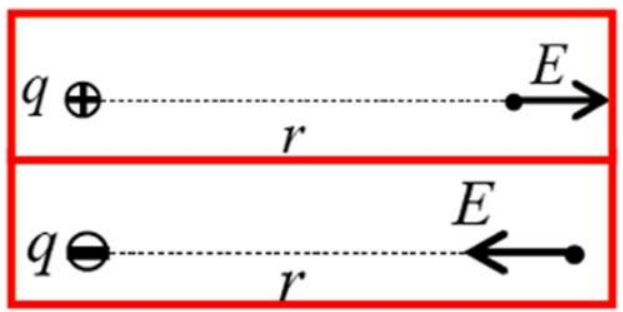
وإذا كان المجال ناشئاً عن **شحنة نقطية** (Q)، فيُحسب بالعلاقة:

$$E = k \cdot \frac{|Q|}{r^2}$$

$$k = 9.0 \times 10^9\ \mathrm{N \cdot m^2/C^2}$$

E : شدة المجال الكهربائي عند النقطة (N/C)
F : القوة المؤثر في الشحنة q (N)
q : الشحنة المتأثرة بالمجال (C)

اتجاه شدة المجال عند نقطة:



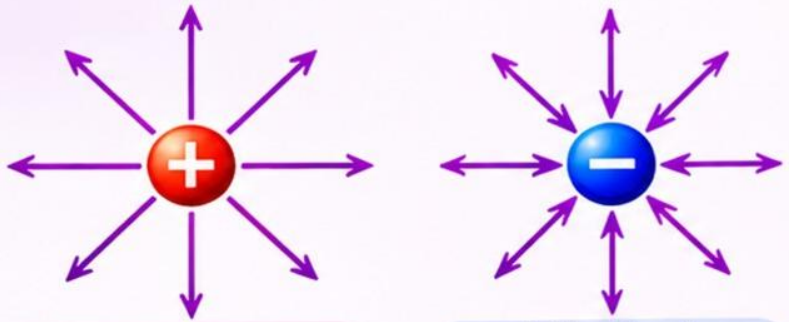
*إذا كانت (q) موجبة يكون اتجاه (E) من النقطة بعيداً عن الشحنة .

*إذا كانت (q) سالبة يكون اتجاه (E) من النقطة باتجاه الشحنة .

أنواع المجال الكهربائي

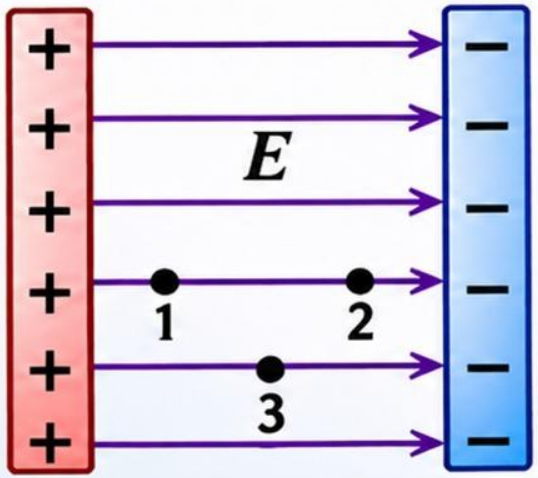
1- المجال غير المنتظم (Irregular Field)

- تتغير شدته (مقداره) من نقطة إلى أخرى.
- خطوط مجاله غير متوازية.
- يتكوَّنُ حول الشحنات النقطية والشحنات الكروية.



2- المجال المنتظم (Regular Field)

- شدته واتجاهه ثابتان عند جميع تقاطه.
- خطوط مجاله مستقيمة ومتوازية.
- يُحصل عليه باستخدام لوحين متوازيين مشحونين بشحنتين متساويتين في المقدار ومتعاكستين في النوع.

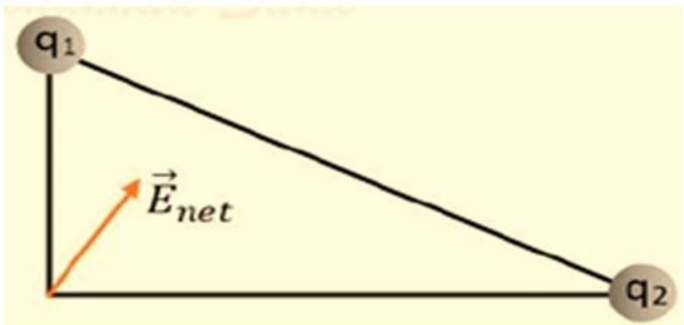


أكمل الكركي

أكمال الكركي

س1)	إذا تضاعفت المسافة r عن شحنة نقطية ثابتة، فماذا يحدث لمقدار المجال الكهربائي E؟
	A يصبح 2E B يصبح E/2 C يصبح E/4 D يصبح 4E

س2)	يمثّل المتجه $\vec{E}_{net}$ محصلة المجال الكهربائي عند الرأس القائم للمثلث .اعتمادًا على اتجاه المتجه في الشكل، حدّد نوع الشحنتين q_1 و q_2.
	A q_1 موجبة، و q_2 موجبة B q_1 موجبة، و q_2 سالبة C q_1 سالبة، و q_2 موجبة D q_1 سالبة، و q_2 سالبة



س3) شحنة نقطية $q = -4.0\ \mu C$ تبعد مسافة $r = 0.20\ m$ عن النقطة P. ما مقدار المجال الكهربائي عند P؟ استخدم $k = 9.0 \times 10^9\ N \cdot m^2/C^2$.

A $E = 9.0 \times 10^5\ N/C$

B $E = 4.5 \times 10^5\ N/C$

C $E = 1.8 \times 10^6\ N/C$

D $E = 9.0 \times 10^6\ N/C$

س4) عند نقطة P، المجال الأول $E_1 = 300\ N/C$ باتجاه $+x$، والمجال الثاني $E_2 = 120\ N/C$ باتجاه $-x$. ما المجال الكهربائي الكلي؟

A $E = 420\ N/C$ باتجاه $+x$

B $E = 180\ N/C$ باتجاه $+x$

C $E = 180\ N/C$ باتجاه $-x$

D $E = 0\ N/C$

أكمال الكركي

وضعت شحنتان نقطيتان في الهواءالبعد بينهما 0.6m كما في الشكل المجاور

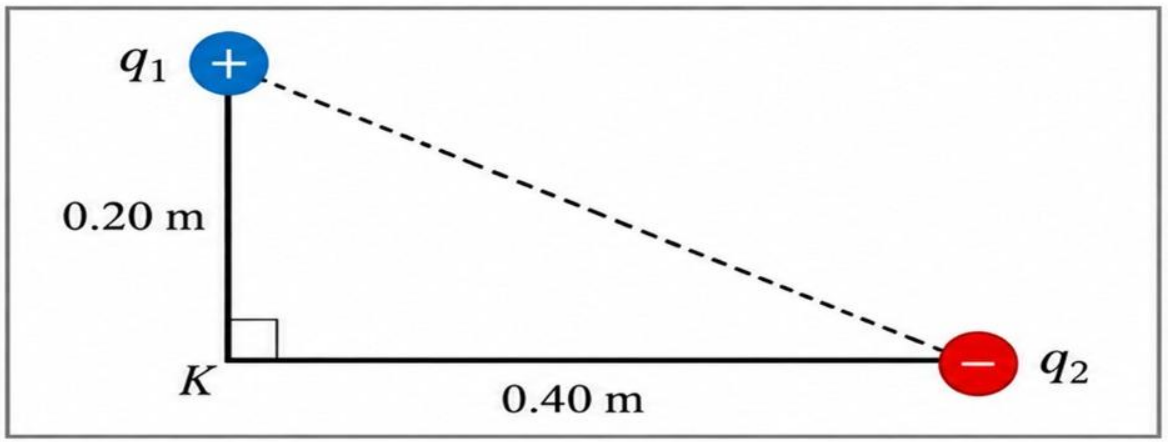


اعتمادا على الشكل احسب شدة المجال عند منتصف المسافة بين الشحنتين

أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي

أكمال الكركي
أكمال الكركي

السؤال: ثُبتت شحنتان نقطيتان عند رأسي مثلث قائم الزاوية كما في الشكل. الشحنة $q_1 = +3.0\ \mu C$، والشحنة $q_2 = -5.0\ \mu C$. احسب مقدار واتجاه محصلة المجال الكهربائي عند النقطة K الواقعة عند الرأس القائم أسفل المثلث من اليسار.



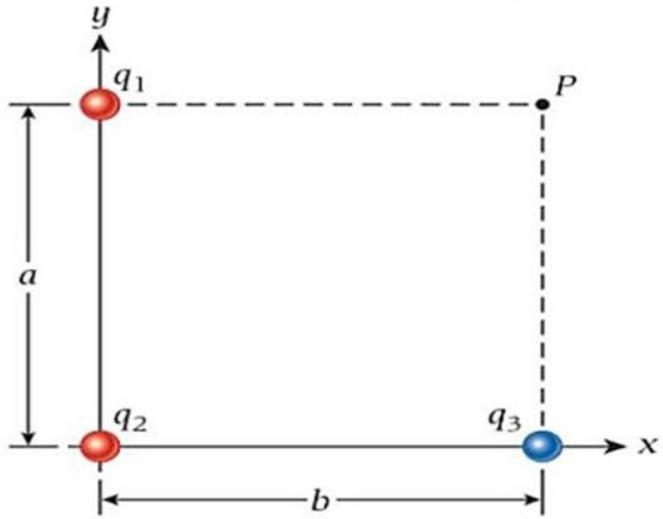
.....

.....

.....

أكمال الكركي
أكمال الكركي

يوضح الشكل ثلاث شحنات نقطيه ثابته تقع الشحنه $q_1 = 2.5\mu c$ عند النقطه (0,8) والشحنه $q_2 = 3.5\mu c$ عند النقطه (0,0) و الشحنه $q_3 = -3.5\mu c$ عند النقطه (6,0) ما المجال الكهربائي الذي تنتجه هذه الشحنات الثلاث عند النقطه (6,8) حيث a=8m ,b=6m على الشكل؟



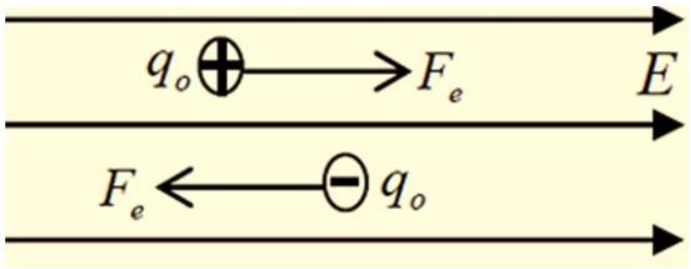
أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي

العلاقة بين شدة المجال والقوة الكهربائية

يمكن كتابة العلاقة على الصورة : $F_e = q_o E$

q_o :الشحنة المطلوب حساب القوة الكهربائية المؤثرة عليها.

E:شدة المجال المؤثر على q_o .



اذا كانت q_o موجبة تكون F_e بنفس اتجاه E كما في الشكل

اذا كانت q_o سالبة تكون F_e عكس اتجاه E كما في الشكل

نقطة التعادل

هي النقطة التي تكون فيها شدة المجال الكهربائي **صفراً** ، أو النقطة التي لو وُضعت فيها شحنة اختبار كهربائية تكون محصلة القوة عليها **صفراً** .

كيف نحدد موضع نقطة التعادل ؟

1 إذا كانت الشحنتان **متشابهتين**، تكون نقطة التعادل بينهما وأقرب إلى الشحنة **الأصغر مقداراً** .



$|q_1| < |q_2|$

2 إذا كانت الشحنتان **مختلفتين نوعاً**، تكون نقطة التعادل خارج الشحنتين، من جهة الشحنة **الأصغر مقداراً** .



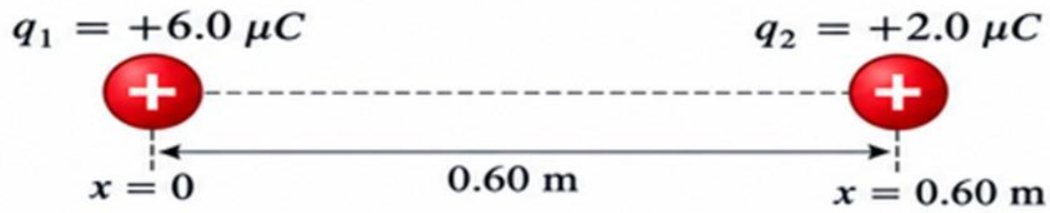
$|q_2| < |q_1|$

ملاحظات

1. إذا كانت الشحنتان **متساويتين ومتماثلتين في النوع** ، تقع نقطة التعادل في **منتصف المسافة بينهما** .
2. إذا كانت الشحنتان **متساويتين ومختلفتين في النوع**، **فلا توجد نقطة تعادل محدودة**.

أكمال الكركي

مثال 1 وضعت شحنتان نقطيتان موجبتان على خط مستقيم كمًا في الشكل. جد موضع نقطة التعادل بين الشحنتين .



الحل :

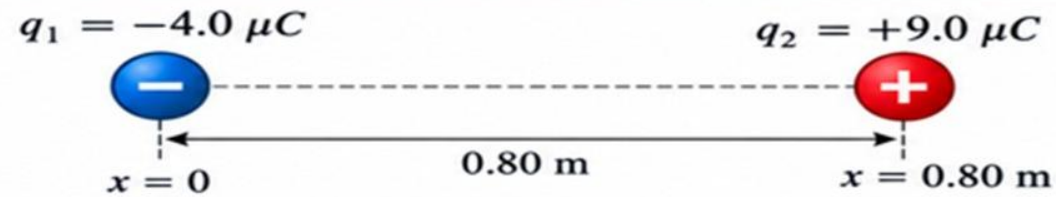
.....

.....

.....

.....

مثال 2 وضعت شحنتان نقطيتان متعاكستان على خط مستقيم كما في الشكل. جد موضع نقطة التعادل على امتداد الخط الخط الواصل بين الشحنتين، وحدد أي الشحنتين تكون أقرب إليها .



الحل :

.....

.....

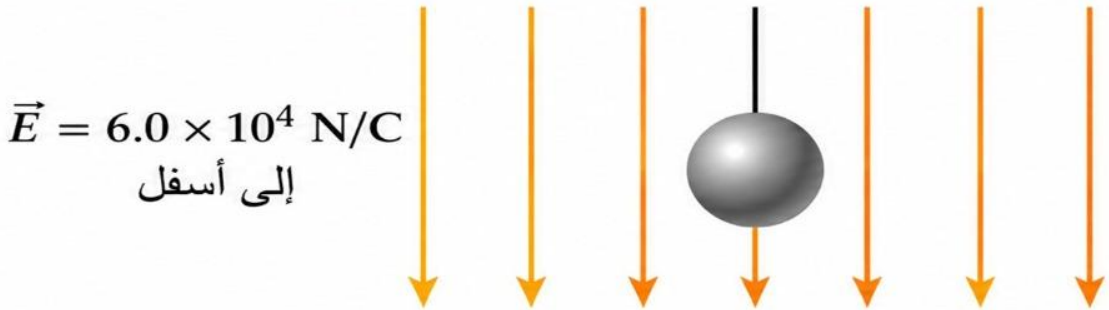
.....

.....

أكمال الكركي

السؤال 1

وضعت كرة بليسان وزنها $2.0 \times 10^{-3}\ \text{N}$ في مجال كهربائي شدته $6.0 \times 10^{4}\ \text{N/C}$ ، ويتجه رأسيًا إلى أسفل: ما مقدار ونوع الشحنة التي يجب أن توضع على الكرة ، بحيث تتوازن القوة الكهربائية المؤثرة فيها مع قوة الجاذبية الأرضية، وتبقى الكرة معلقة في المجال؟



وزن الكرة : $2.0 \times 10^{-3}\ \text{N}$

شدة المجال الكهربائي : $6.0 \times 10^{4}\ \text{N/C}$

اتجاه المجال : رأسيًا إلى أسفل .

أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي

س5) النقطتان A و B تقعان في المجال الكهربائي لشحنة نقطية q. فإذا كان بعد A عن الشحنة يساوي r، وبعد B عن الشحنة ثلاثة أمثال بعد A، فأوجد النسبة بين شدة المجال عند A إلى شدة المجال عند B: (E_A/E_B)	A) $\frac{1}{9}$ B) 3 C) 9 D) $\frac{1}{3}$

أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي

2.5 التوزيعات العامة للشحنة General Charge Distributions

عند وجود عدد كبير من الشحنات، يصعب حساب المجال الكهربائي الناتج عنها بجمع مجالاتها بصورة مباشرة .لذلك نستخدم مبدأ التراكب والتكامل لإيجاد محصلة المجال الكهربائي عند أي نقطة.

نقسم الشحنة الموزعة إلى عناصر صغيرة dq ونحسب المجال الناتج عن كل عنصر كما لو كان شحنة نقطية، ثم نجمع هذه المجالات بالتكامل

كثافة الشحنة الكهربائية

تُعرَّف كثافة الشحنة بأنها مقدار الشحنة الكهربائية لكل وحدة من الطول أو المساحة أو الحجم، حسب نوع توزيع الشحنة.

نوع كثافة الشحنة	التعريف الرياضي	وحدة القياس
الكثافة الخطية λ	$\lambda = \frac{q}{L}$	$\mathrm{C/m}$
الكثافة السطحية σ	$\sigma = \frac{q}{A}$	$\mathrm{C/m^2}$
الكثافة الحجمية ρ	$\rho = \frac{q}{V}$	$\mathrm{C/m^3}$

q: الشحنة الكهربائية الكلية.
L: طول توزيع الشحنة.
A: مساحة السطح الذي تتوزع عليه الشحنة.
V: حجم الجسم الذي تتوزع فيه الشحنة.

ملاحظة : تُستخدم هذه العلاقات عندما تكون الشحنة موزعة بانتظام، وتُعبّر الكثافة عن مقدار الشحنة لكل وحدة طول أو مساحة أو حجم.

أكمال الكركي

س1)	شحنة كهربائية مقدارها (12m C) موزعة بانتظام على سلك طوله .(3m)ما كثافة الشحنة الخطية للسلك؟
3 C/m.A **12c/m.B** **4c/m.C** **36c/m.D**	

س2)	لوح مستوٍ مساحته $2\,m^2$ يحمل شحنة كهربائية موزعة بانتظام مقدارها $10\,\mu C$. ما كثافة الشحنة السطحية؟
$20\,\mu C/m^2$ A $5\,\mu C/m^2$ B $12\,\mu C/m^2$ C $0.2\,\mu C/m^2$ D	

أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي

أكمال الكركي

س3)	جسم حجمه $4\,m^3$ يحمل شحنة موزعة بانتظام مقدارها $20\,\mu C$. ما كثافة الشحنة الحجمية؟
A	$80\,\mu C/m^3$
B	$4\,\mu C/m^3$
C	$5\,\mu C/m^3$
D	$0.2\,\mu C/m^3$

أكمال الكركي

س4)	سلكان متساويان في الطول، طول كل منهما $2\,m$. كثافة الشحنة الخطية للسلك الأول $+3\,\mu C/m$ وللسلك الثاني $-2\,\mu C/m$. إذا جُمعت الشحنتان الكليتان للسلكين، فما مقدار الشحنة الناتجة؟
A	$+10\,\mu C$
B	$+2\,\mu C$
C	$+1\,\mu C$
D	$+5\,\mu C$

أكمال الكركي

أكمال الكركي

س5)

سلك طوله $4\,m$ يحمل شحنة موزعة بانتظام مقدارها $+12\,\mu C$. أعيد توزيع الشحنة نفسها بانتظام على سلك آخر طوله $6\,m$. ما مقدار التغير في كثافة الشحنة الخطية؟

A $0.5\,\mu C/m$ زيادة

B $1\,\mu C/m$ نقصان

C $1\,\mu C/m$ زيادة

D $2\,\mu C/m$ نقصان

س6)

كرة مشحونة نصف قطرها R، وشحنتها الكلية Q، موزعة بانتظام داخل حجمها. إذا زاد نصف قطرها إلى $2R$ مع بقاء الشحنة الكلية ثابتة، فما نسبة كثافتها الحجمية الجديدة إلى كثافتها الأصلية؟

A $\frac{1}{2}$

B $\frac{1}{4}$

C $\frac{1}{8}$

D $\frac{1}{16}$

أكمال الكركي

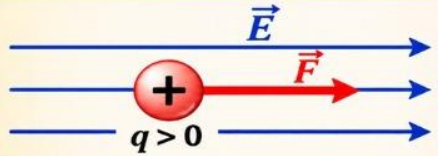
2.6 القوة الناتجة عن مجال كهربائي
Force due to an Electric Field

نحصل على القوة $\vec{F}$ التي يبذلها مجال كهربائي $\vec{E}$ على شحنة نقطية q من المعادلة $\vec{F} = q\vec{E}$

اتجاه القوة الكهربائية في المجال الكهربائي

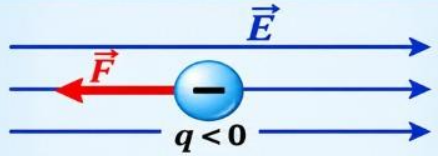
إذا كانت الشحنة موجبة:

تكون القوة الكهربائية في **اتجاه** المجال الكهربائي.

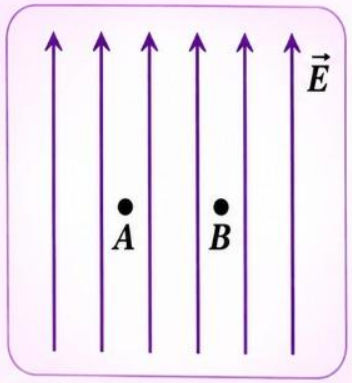


إذا كانت الشحنة سالبة:

تكون القوة الكهربائية **عكس اتجاه** المجال الكهربائي.



السؤال 1 وُضع جسم صغير موجب الشحنة عند النقطة A، ثم عند النقطة B، داخل مجال كهربائي منتظم كما في الشكل. **كيفَ تقارن القوة الكهربائية المؤثرة** في الجسم عند النقطتين؟



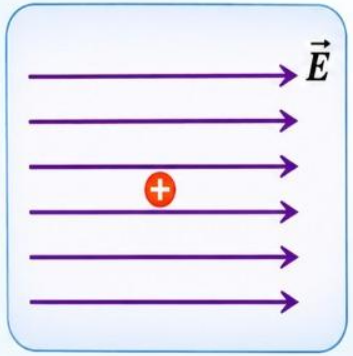
A. تكون القوة عند A أكبر منها عند B.

B. تكون القوة عند B أكبر منها عند A.

C. تكون القوتان متساويتين في المقدار والاتجاه.

D. تكون القوتان متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه.

السؤال 2 وُضع جسم صغير موجب الشحَنة ساكنًا في مجال كهربائي منتظم، كما هو موضح في الشكل. **ماذا يجدث للجسم عند تحريره؟**



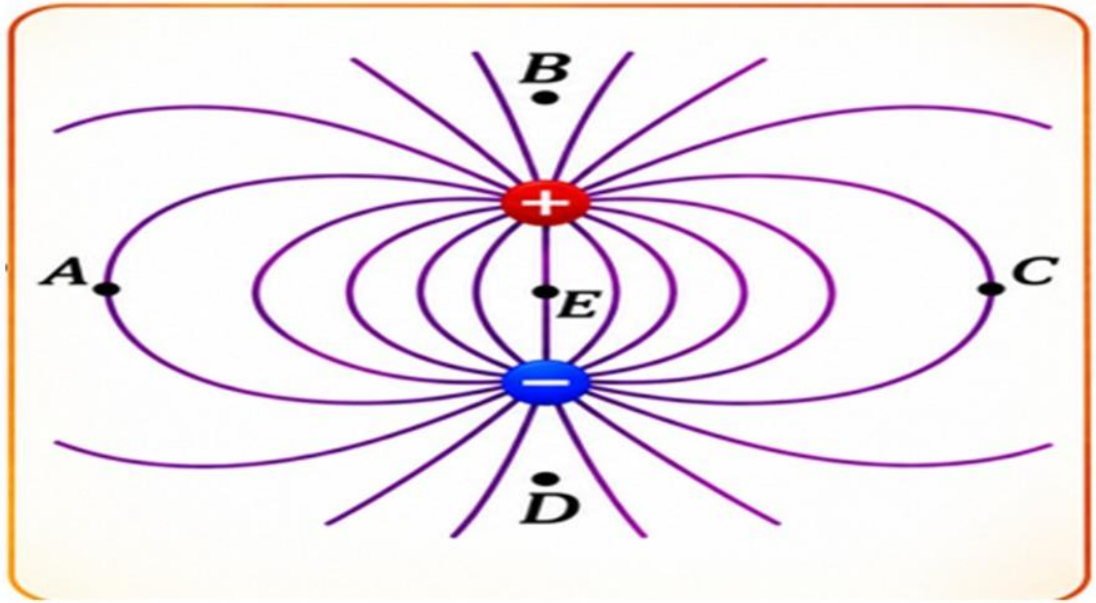
A. يتحرك بسرعة ثابتة في اتجاه المجال.

B. يبدأ الحركة بعجلة ثابتة في اتجاه المجال.

C. يبدَأ الحركة بعجلة متزايدة في اتجاه المجال.

D. يتحرك ذهابًا وإيابًا حول موضعه.

يوضح الشكل منظرا ثنائي الأبعاد لخطوط المجال الكهربائي الناتج عن شحنتين مختلفتين في الإشارة. عند أي نقطة يكون مقدار المجال الكهربائي أكبر ما يمكن؟



A عند النقطة A.

B عند النقطة B.

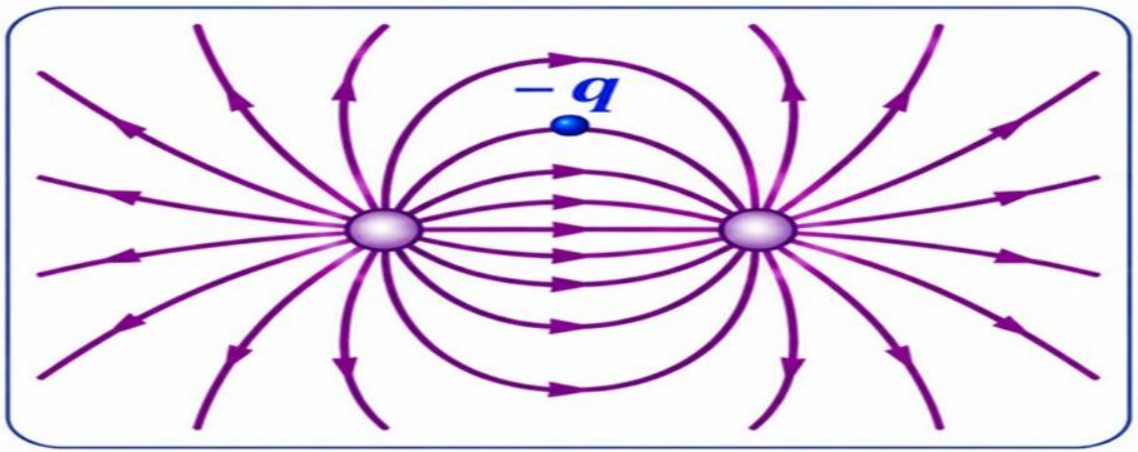
C عند النقطة E.

D عند النقطة D.

أكمل الكركي

أكمل الكركي

وُضعت شحنة سالبة $q-$ في مجال كهربائي غير منتظم، كما يوضّح الشكل. ما اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة فيها؟



A إلى اليمين

B إلى الأعلى

C إلى اليسار

D إلى الأسفل

القوة على الشحنة السالبة تكون عكس اتجاه المجال الكهربائي.

أكمل الكركي

أكمل الكركي

حجرة الإسقاط الزمني (TPC)
Time Projection Chamber

ما هي؟

جهاز كشف متطور يُستخدَم في تجارب تصادمَ الجسيمات لتتبُّع الجسيمات المشحونة الناتجة عن التصادم ورسم مساراتِها **ثلاثيَة الأبعَاد (3D).**

التطبيق

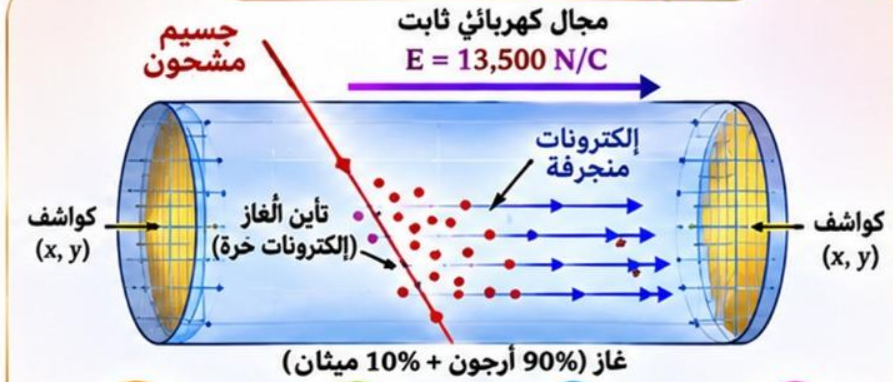


يستخدِمها العلماءِ في مصادمات عالية الطاقة، مثل مُصادمَ **STAR TPC** فِي مختبر بروكهافن الوطني (نيويورك)، حيث تُصطدم أنوية ألذهب لتوليد آلاف الجسيمات الجديدة ودراسة خَصائصها.

أهم المواصفات (STAR TPC)

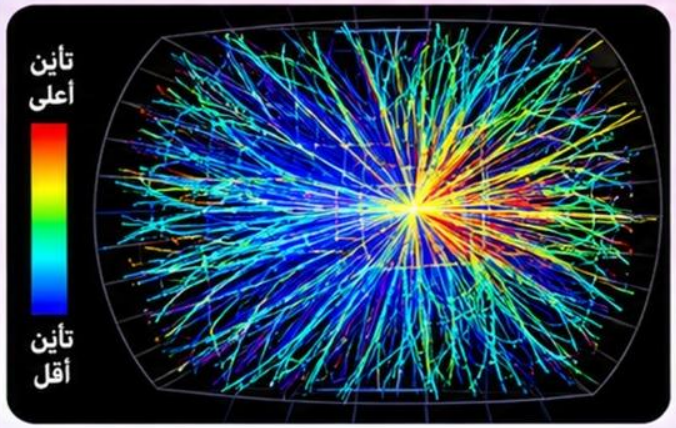
الغاز داخل الحجرة	90% أرجون + 10% ميثان
شدة المجال الكهربائي	13,500 N/C
سرعة انجراف الإلكترونات	5×10^4 m/s (≈ 100,000 mph)
عدد الكواشف (في كل طرف)	68,304

كيف تعمل؟



1. تمر الجسيمات المشحونة في الغاز فتؤينه. وتنتج إلكترونات حرة.
2. يؤثر المجال الكهربائي في الإلكترونات فتنجرف نحو طرفي الحجرة.
3. تقيس الكواشف زمن وصول الإلكترونات ومواقعها (x, y).
4. تُستخدم هذه القياسات لحساب الموقع (z) وإعادة بناء مسارات الجسيمات بصورة ثلاثية الأبعاد.

نتيجة تصادم نواتي ذهب في مصادم STAR TPC

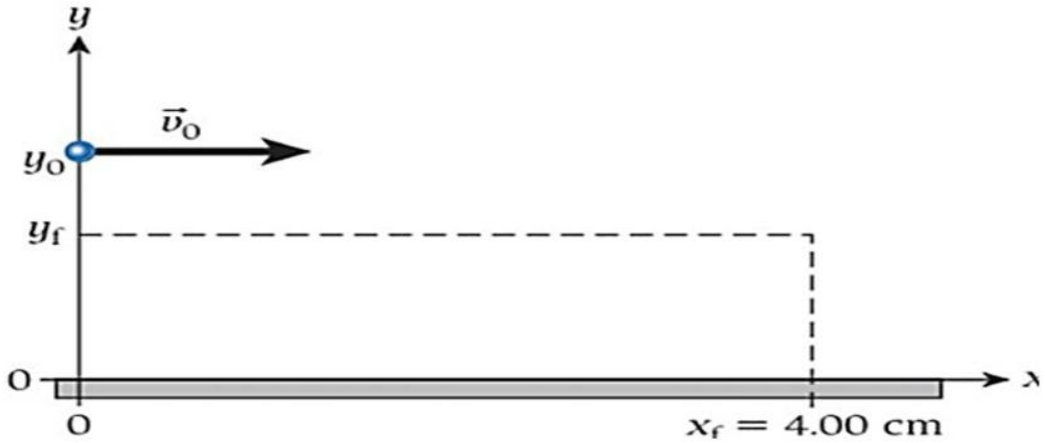


تمثل الخطوط الملونة مسارات الجسيمات المشحونة، وتُبيِّن الألوان مقدار التأيُّن.

الخلاصة

تَحوِّل حَجرةِ الإسقاط الزمَني آثارَ التأيُّن إلي **صورةِ ثلاثِيَة الأبعادِ** توضِّح مسارات الجسيمات الناتِجة عن التصادم.

أطلق إلكترون طاقته الحركية (2.00 keV) فوق لوح موصل مشحون وفي وضع أفقي، وتبلغ كثافة شحنة سطح اللوح $+4 \times 10^{-6} C/m^2$. إذا كان مسار الكترون في الاتجاه الموجب أعلى اللوح (على مسافة من سطحه)، فما الانحراف الرأسي للاكتون بعد أن يقطع مسافة أفقية مقدارها 4.00cm؟



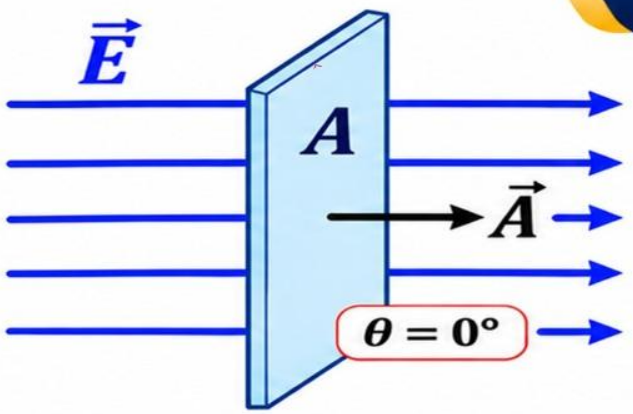
أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي

س3)	لماذا تتحرك الإلكترونات الحرة داخل حجرة الإسقاط الزمني (TPC)بسرعة ثابتة رغم وجود مجال كهربائي منتظم وثابت ؟
	A) بسبب حدوث توازن ديناميكي بين القوة الكهربائية وقوى التصادم المتكررة مع جزيئات الغاز. B) لأن المجال الكهربائي ينعدم مفعوله تماماً بعد تأيين ذرات الغاز مباشرة. C) بسبب زيادة كتلة الإلكترونات نتيجة اقتراب سرعتها من سرعة الضوء داخل الأسطوانة. D) لأن شحنة الإلكترون السالبة تجعله يقاوم التسارع الطبيعي في المجالات المنتظمة.

س4)	إذا وُضع بروتون وإلكترون في نفس النقطة داخل المجال الكهربائي المنتظم لجهاز TPC، فإن:
	A) إلكترون يتحرك بعجلة أكبر بكثير من البروتون نظراً لصغر كتلته مقارنة بالبروتون عند ثبات القوة. B) البروتون يتحرك بعجلة أكبر لأن شحنته الموجبة تجعله يتحرك في نفس اتجاه المجال. C) الجسيمين يتحركان بنفس العجلة تماماً لأن المجال الكهربائي منتظم D) الإلكترون يظل ساكناً بينما يتسارع البروتون نحو الأغطية الطرفية للأسطوانة.

أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي

التدفق الكهربائي
Electric Flux

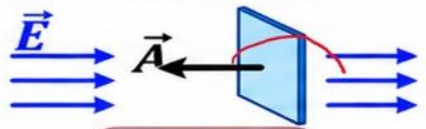


التعريف: التدفق الكهربائي Φ_E هو مقياس لعدد خطوط المجال الكهربائي التي تعبر سطحًا معيناً.

$$\Phi_E = \vec{E} \cdot \vec{A} = EA\cos\theta$$

حيث:
- Φ_E : التدفق الكهربائي
- E : شدة المجال الكهربائي
- A : مساحة السطح
- θ : الزاوية بين $\vec{E}$ و $\vec{A}$

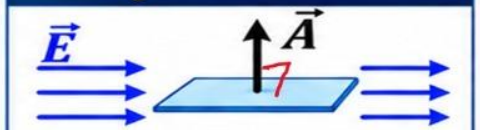
تدفق سالب



$\theta = 180°$

$\Phi_E = -EA$

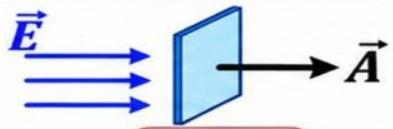
تدفق صفري



$\theta = 90°$

$\Phi_E = 0$

أكبر تدفق (موجب)



$\theta = 0°$

$\Phi_E = EA$

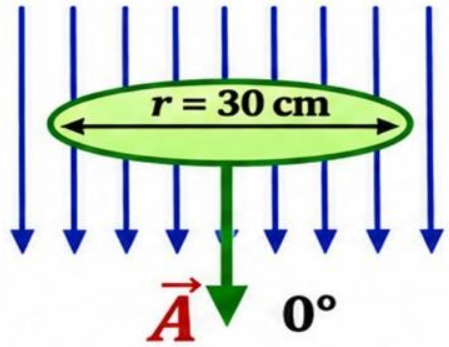
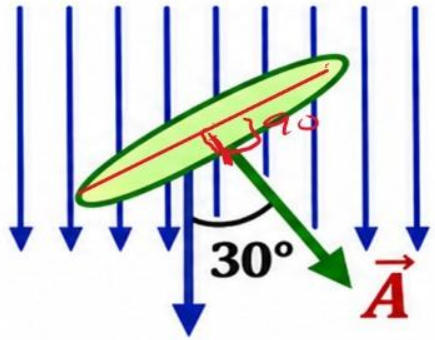
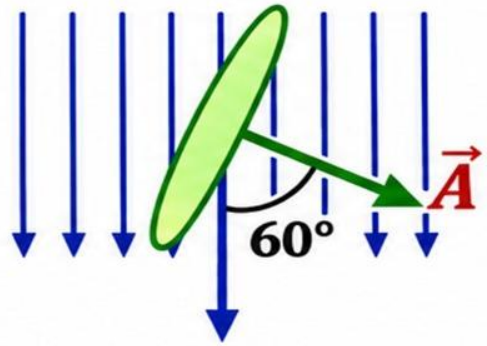
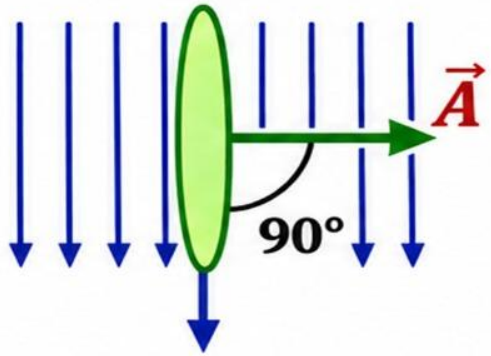
وحدات القياس (SI)

التدفق الكهربائي Φ_E	$N\cdot m^2/C$
شدة المجال الكهربائي E	N/C
مساحة السطح A	m^2
الزاوية θ	درجة (°) أو راديان (rad)

ملاحظات مهمة:
- يتناسب التدفق الكهربائي طرديًا مع شدة المجال E ومساحة السطح A، ويتوقف على $\cos\theta$.
- إشارة التدفق تحدد اتجاه مرور خطوط المجال بالنسبة لاتجاه متجه المساحة.

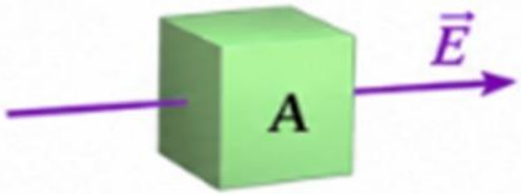
أكمال الكركي

احسب التدفق الكهربائي لكل شكل من الأشكال التالية، علماً بأن شدة المجال الكهربائي $60\ N/C$ ونصف قطر السطح الدائري $30\ cm$.

(1)	(2)	(3)	(4)
			

أكمال الكركي

المعطيات: يوضح الشكل 2.25 مكعبًا مساحة وجهه A في مجال كهربائي منتظم، $\vec{E}$، عمودي على سطح أحد أوجه المكعب.



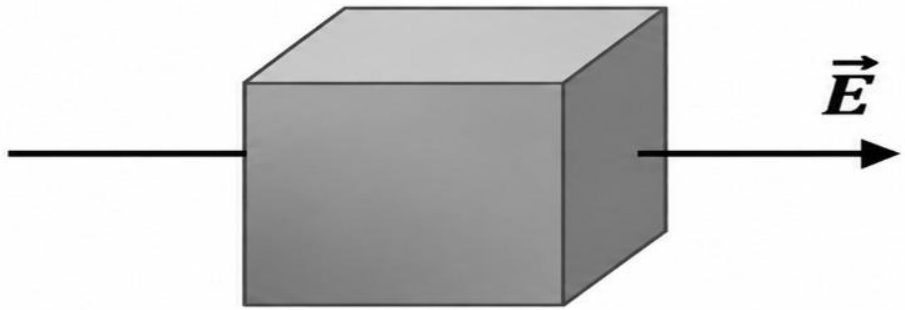
المطلوب: ما التدفق الكهربائي الكلي المار عبر المكعب؟

الحل:

أكمال الكركي

أكمال الكركي

وضع سطح مكعب في مجالِ كهربائي منتظم مقداره **1400 N/C** يخترق وجهين للمكعب بشكل عمودي كما هو مبين في الشكل، ما مقدار التدفق الكلي في المكعب إذا علمت أن طول ضلع المكعب **10 cm** ؟



A $14\ N\cdot m^2/C$

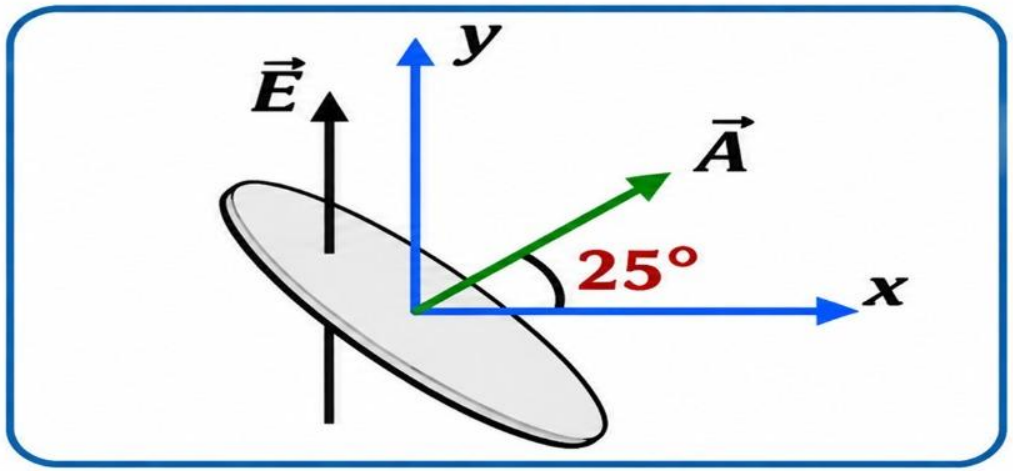
B $13\ N\cdot m^2/C$

C $11\ N\cdot m^2/C$

D Zero (0)

أكمال الكركي

ما التدفق الكهربائي عبر السطح الدائري المبين في الشكل إذا علمت أن المجال الكهربائي الذي يجتاز به باتجاه المحور y مقداره 12000 N/C وأن نصف قطر السطح 0.6 m ؟



A) $5700\ \mathrm{N\cdot m^2/C}$

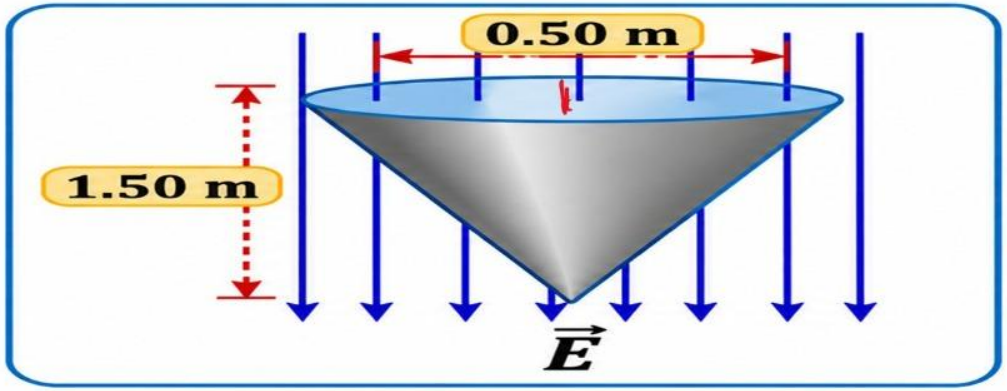
B) $6.2 \times 10^3\ \mathrm{N\cdot m^2/C}$

C) $1.2 \times 10^4\ \mathrm{N\cdot m^2/C}$

D) $6.8 \times 10^3\ \mathrm{N\cdot m^2/C}$

يوضح الشكل المجاور مخروطا من مادة عازلة نصف قطر قاعدته $0.50\ m$ وارتفاعه $1.50\ m$ ، ويجتاز مجالاً كهربائيّاً منتظمًا شدته $E = 8.0 \times 10^3\ N/C$ واتجاهه رأسياً نحو الأسفل.

أوجد التدفق الكهربائى الذى يجتاز السطح المخروطى للمخروط.



A $-6.28 \times 10^3\ N \cdot m^2/C$

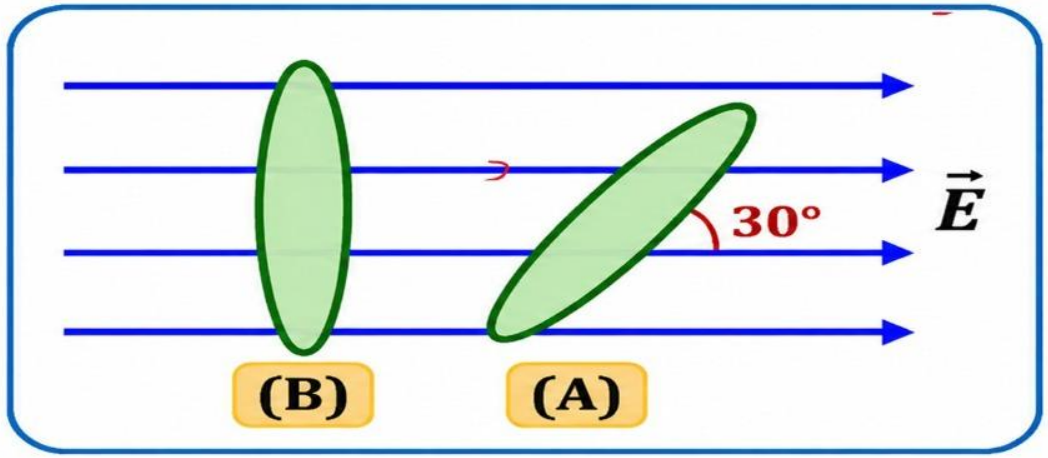
B $-3.14 \times 10^3\ N \cdot m^2/C$

C $+6.28 \times 10^3\ N \cdot m^2/C$

D $+3.14 \times 10^3\ N \cdot m^2/C$

أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي

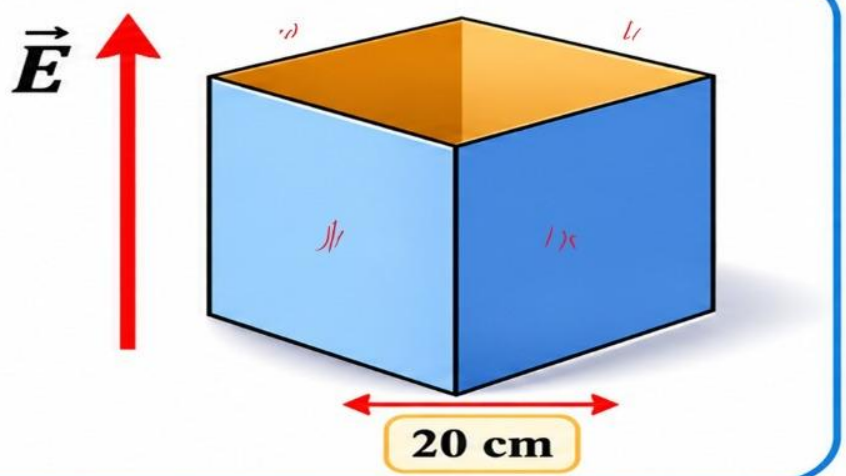
وضع سطح مائل بزاوية $30°$ عن مجال كهربائي منتظم (الوضع A)، فكان التدفق الذي يجتاز السطح يساوي $4.0 \times 10^{-6}\ N{:}m^2/C$. إذا أصبح السطح عموديًا على المجال الكهربائي (الوضع B)، فإن التدفق الذي يجتاز نفس السطح بالوضع B يساوي:



$2.0 \times 10^{-6}\ N{:}m^2/C$	A
$3.0 \times 10^{-6}\ N{:}m^2/C$	B
$4.6 \times 10^{-6}\ N{:}m^2/C$	C
$8.0 \times 10^{-6}\ N{:}m^2/C$	D

أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي

يُظهر الشكل مكعبًا بدون وجه علوي (خمسة أوجه فقط) ويجتاز هذا المكعب مجال كهربائي منتظم يتجه نحو الأعلى على طول المحور $+y$ ، كما هو مبين في الشكل. إذا علمت أن مقدار المجال الكهربائي المار في المكعب يساوي $1.6 \times 10^4\ N/C$ وأن طول ضلع المكعب $20\ cm$ ، ما هو التدفق الكلي في المكعب؟



A $0\ N\cdot m^2/C$

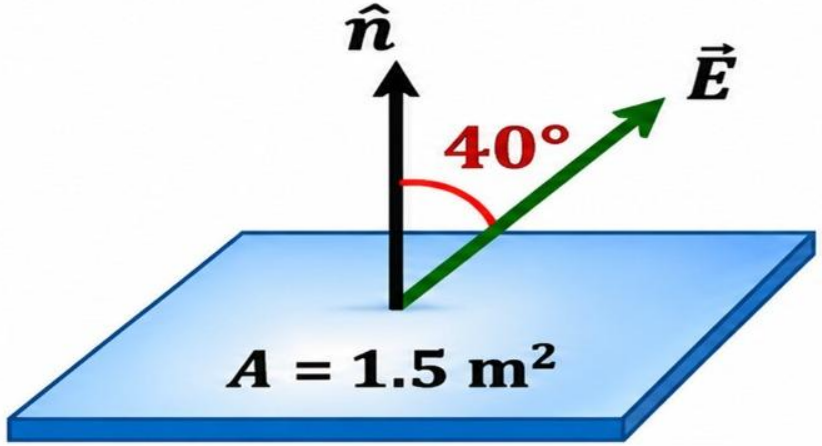
B $-6.4 \times 10^2\ N\cdot m^2/C$

C $-1.6 \times 10^3\ N\cdot m^2/C$

D $+6.4 \times 10^2\ N\cdot m^2/C$

أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي

سطح مربع الشكل يجتازه مجال كهربائي بحيث يصنع زاوية مقدارها $40°$ مع المتجه العمودي للسطح، إذا علمت أن مساحة السطح $1.5\ m^2$ وأن التدفق الكهربائي خلال هذا السطح $1.6 \times 10^3\ N.m^2/C$ ، فما مقدار المجال الكهربائي الذي يجتاز السطح؟



A. 1120 N/C

B. 1240 N/C

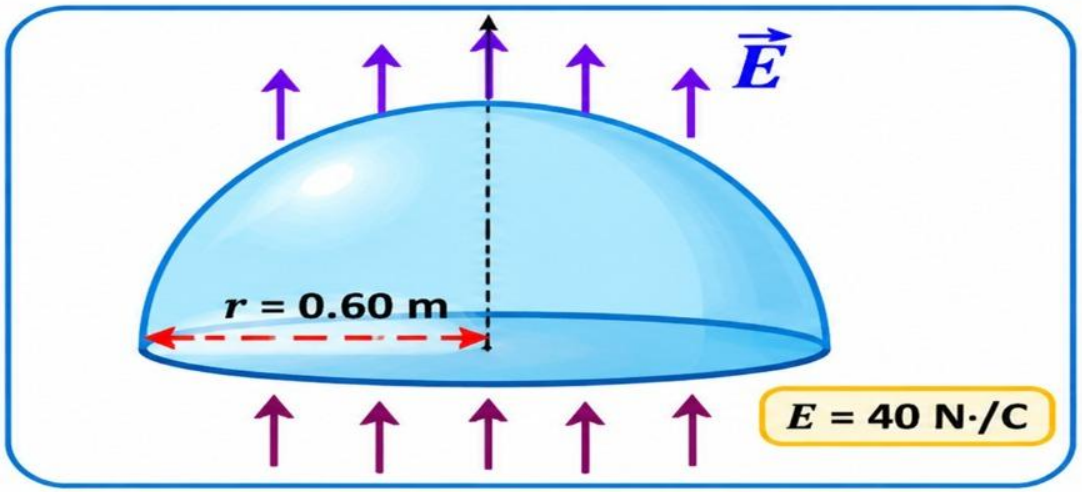
C. 1330 N/C

D. 1540 N/C

أكمال الكركي

أكمال الكركي

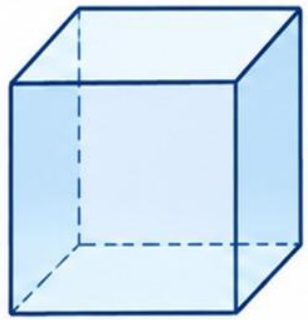
ما مقدار التدفق الكهربائي الذي يجتاز نصف كرة مفتوحة من الأسفل
نصف قطرها 0.60 m ويعبرها مجال كهربائي خارجي منتظم متجه إلى الأعلى
شدته E = 40 N/C ؟



$22.6\ N\cdot m^2/C$	A
$45.2\ N\cdot m^2/C$	B
$67.9\ N\cdot m^2/C$	C
$90.5\ N\cdot m^2/C$	D

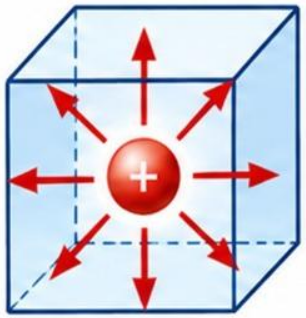
أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي

قانون جاوس



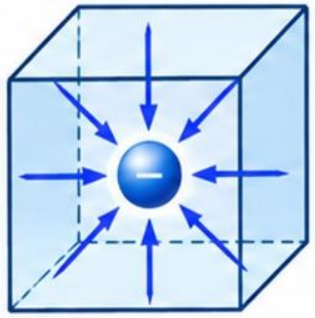
(a) صندوق فارغ

لا يوجد مجال ناتج عن شحنة داخلية



(b) شحنة موجبة

خطوط المجال تتجه إلى الخارج



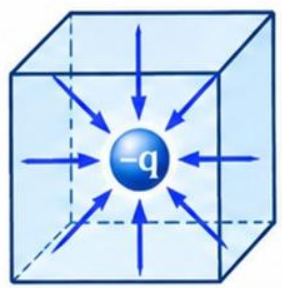
(c) شحنة سالبة

خطوط المجال تتجه إلى الداخل

- نتخيّل صندوقاً مكعبًا لا يؤثر في المجال الكهربائي.
- إذا لم توجد شحنة داخل الصندوق، فلا يوجد مجال كهربائي ناتج عن شحنة محصورة داخله.
- إذا وُضعت **شحنة موجبة** داخله، تتجه خطوط المجال الكهربائي **إلى الخارج**.
- إذا وُضعت **شحنة سالبة** داخله، تتجه خطوط المجال الكهربائي **إلى الداخل**.
- عند مضاعفة مقدار الشحنة، يتضاعف مقدار المجال الكهربائي الناتج عند النقطة نفسها.

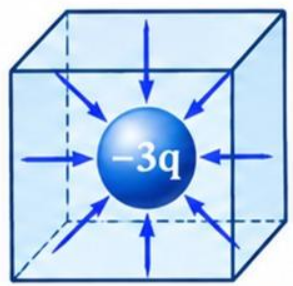
سؤال متعدد الخيارات

وُضعت شحنة سالبة داخل صندوق، ثم زيد مقدارها إلى **ثلاثة أمثال** قيمتها الأصلية، ماذا يحدث للقوة المؤثرة في شحنة اختبار موجبة عند تقطة ثابتة خارج الشحنة؟



الشحنة الأصلية: −q

×3



الشحنة الجديدة: −3q

A تتضاعف ثلاث مرات وتتجه إلى الخارج.

B تقل إلى الثلث وتتجه إلى الداخل.

C تتضاعف ثلاث مرات وتتجه إلى الداخل.

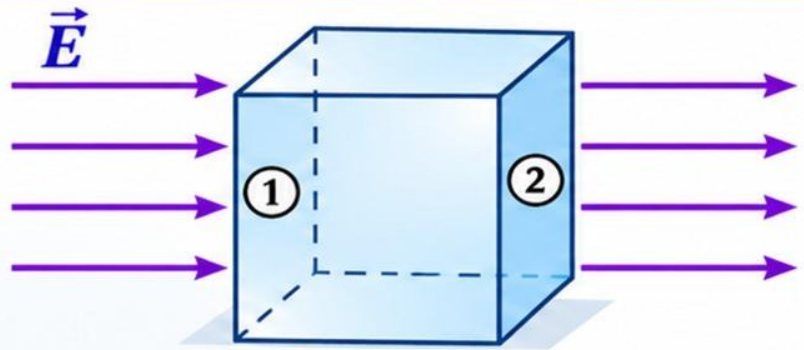
D لا تتغير.

قانون جاوس والتدفق الكهربائي

الصندوق في مجال كهربائي منتظم

- عندما يوضع صندوق فارغ في مجال كهربائي منتظم:
- تدخل خطوط المجال من أخد الأوجه (1).
- تخرج خطوط المجال من الوجه المقابل (2).
- يكون المجال موازيًا للأوجه الأخرى، فلا يعبرها.
- كمية المجال الداخلة تساوي كمية المجال الخارجة.

لذلك يكون التدفق الكهربائي الكلي عبر السطح المغلق مساوياً للصفر إذا لم توجد شحنة محصورة داخله.



قانون جاوس

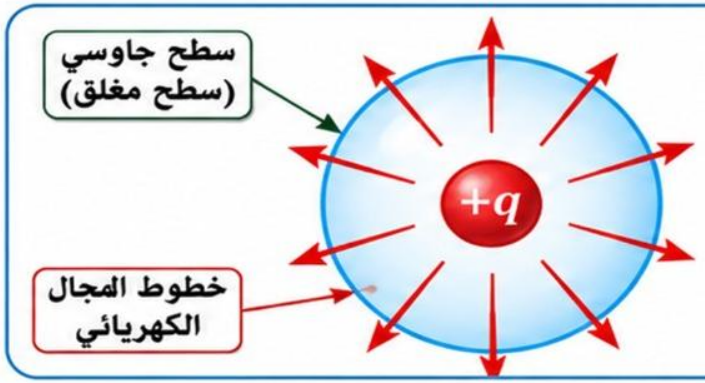
- يربط قانون جاوس بين التدفق الكهربائي الكلي خلال سطح مغلق والشحنة الكهربائية المحصورة داخله.

$$\Phi_E = \frac{q_{in}}{\varepsilon_0}$$

Φ_E : التدفق الكهربائي $(N\cdot m^2/C)$.

q_{in} : الشحنة الكلية داخل السطح المغلق (C).

ε_0 : سماحية الفراغ $= 8.85 \times 10^{-12}\ C^2/(N\cdot m^2)$



حالات التدفق الكهربائي

الحالة	التدفق الكهربائي الكلي Φ_E
شحنة موجبة داخل سطح مغلق	$\Phi_E > 0$
شحنة سالبة داخل سطح مغلق	$\Phi_E < 0$
لا توجد شحنة صافية داخل السطح	$\Phi_E = 0$

ملاحظات مهمة

1. الشحنة الموجودة خارج السطح لا تدخل في حساب الشحنة المحصورة.
2. يمكن أن يكون السطح الجاوسي كروياً أو مكعباً أو بأي شكل مغلق.
3. يكون التدفق موجباً عند وجود شحنة صافية موجبة، وسالباً عند وجود شحنة صافية سالبة، وصفراً عند انعدام الشحنة الصافية المحصورة.

س1)	لماذا يكون التدفق الكهربائي الكلي عبر الصندوق صفراً؟
A. لأن المجال الكهربائي يساوي صفراً. B. لأن التدفق الداخل يساوي التدفق الخارج. C. لأن مساحة الصندوق تساوي صفراً. D. لأن خطوط المجال تتوقف عند الصندوق.	

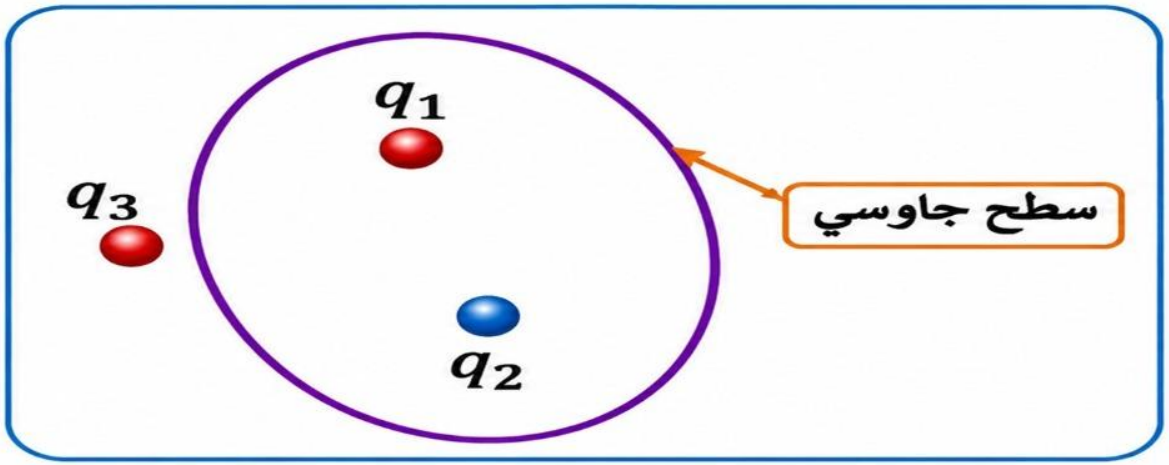
س2)	سطح جاوسي مغلق يحتوي على شحنة مقدارها $+6 \times 10^{-9}\ C$. إذا كانت سماحية الفراغ: $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\ C^2/N \cdot m^2$ فما مقدار التدفق الكهربائي؟
A. $6.78 \times 10^{2}\ \mathbf{N{\cdot}m^2/C}$ B. $5.31 \times 10^{4}\ \mathbf{N{\cdot}m^2/C}$ C. $6.78 \times 10^{3}\ \mathbf{N{\cdot}m^2/C}$ D. $8.85 \times 10^{-12}\ \mathbf{N{\cdot}m^2/C}$	

أكمال الكركي

أكمال الكركي

ما مقدار التدفق الكهربائي الكلي عبر سطح جاوسي في الشكل، إذا كانت الشحنات:

$q_1 = +6.0\ \mu C$ و $q_2 = -2.0\ \mu C$ و $q_3 = +1.0\ \mu C$ ؟



A $5.65 \times 10^5\ N \cdot m^2/C$

B $4.52 \times 10^5\ N \cdot m^2/C$

C $3.39 \times 10^5\ N \cdot m^2/C$

D $1.13 \times 10^5\ N \cdot m^2/C$

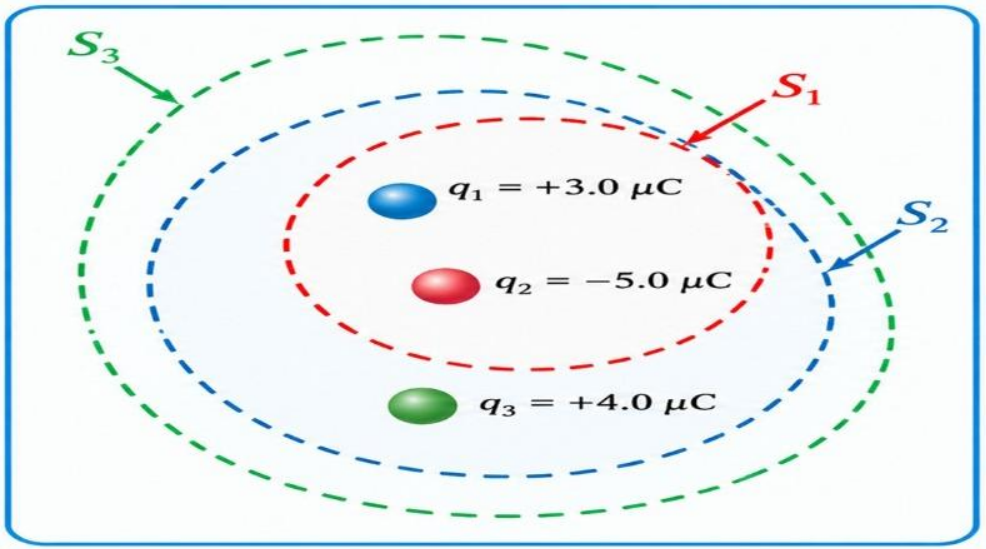
أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي

مسألة تطبيقية على قانون جاوس

في الشكل المجاور توجد ثلاث شحنات نقطية داخل ثلاثة أسطح جاوسية مغلقة: S_1 و S_2 و S_3 .
حيث قيم الشحنات هي:

$q_1 = +3.0\ \mu C$ ، $q_2 = -5.0\ \mu C$ ، $q_3 = +4.0\ \mu C$

أوجد التدفق الكهربائي الكلي عبر السطحين S_1 و S_3 فقط،
مع توضيح الإجابة بوحدات القياس.



التدفق عبر السطح S_1 :

..... $N \cdot m^2/C$

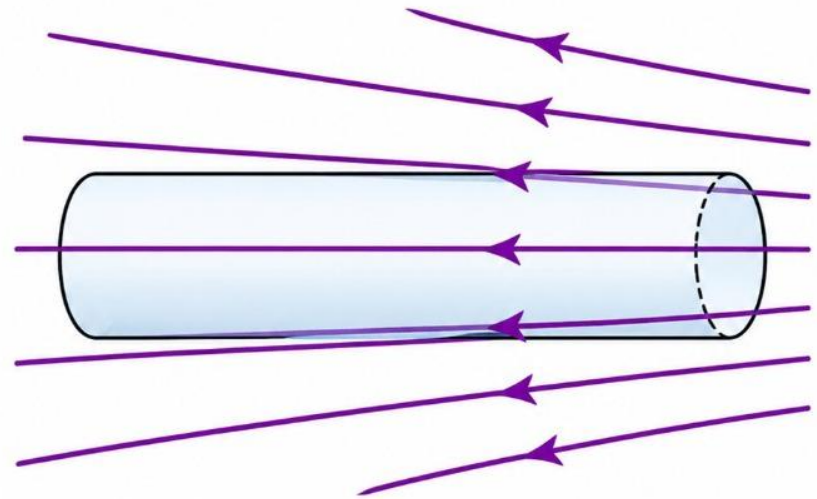
التدفق عبر السطح S_3 :

..... $N \cdot m^2/C$

تطبيق على قانون جاوس

وضعت أسطوانة مصنوعة من مادة عازلة في مجال كهربائي كما هو مبين في الشكل. ما مقدار التدفق الكهربائي الكلي عبر سطح الأسطوانة ؟

$$\Phi_E = \frac{q_{in}}{\varepsilon_0}$$



A موجبة.

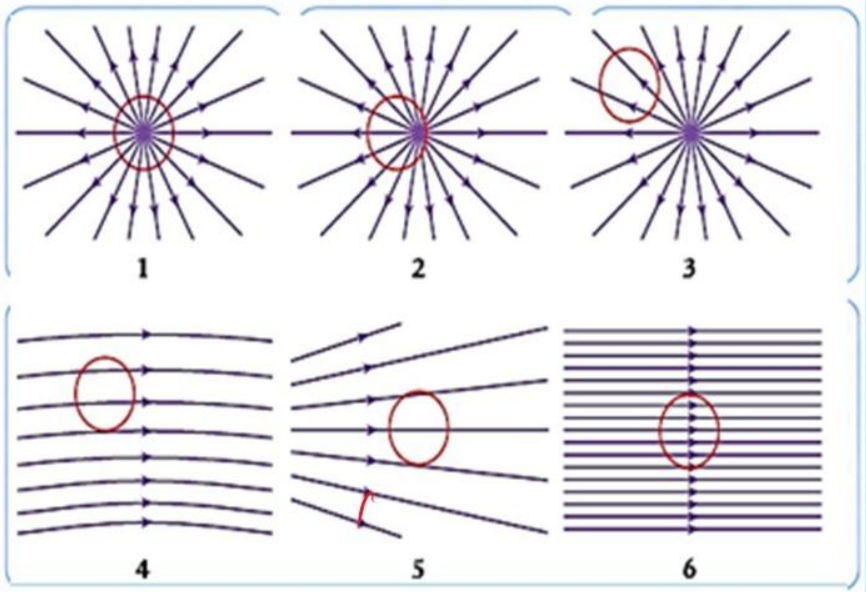
B سالبة.

C صفرًا.

أكمال الكركي

مراجعة المفاهيم

الخطوط الموضحة في الشكل هي خطوط مجال كهربائي، والدائرة الحمراء سطح جاوسي. ما الحالة (الحالات) التي يكون التدفق الكهربائي الكلي فيها **غير صفري**؟



A 1 فقط.

B 2 فقط.

C 4 و 5 و 6.

D 6 فقط.

E 1 و 2.

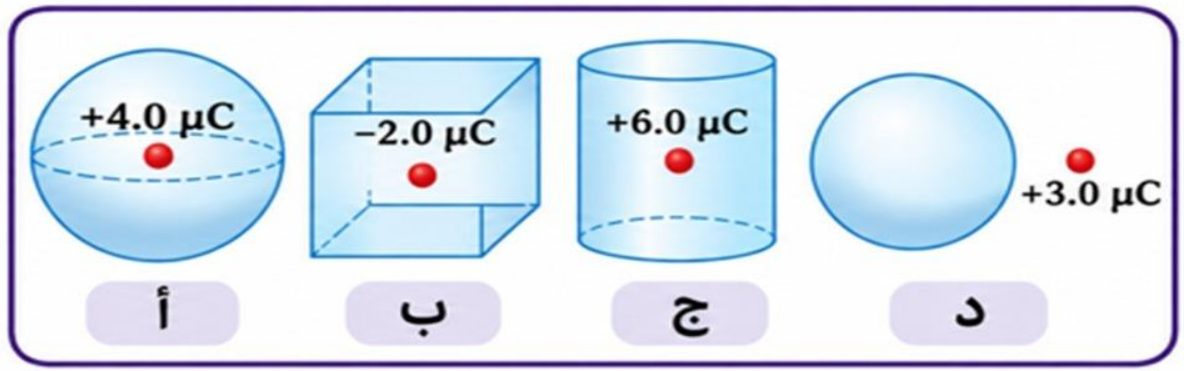
أكمال الكركي

صيغة اخرى لقانون جاوس تتضمن التدفق الكهربائي

$$\Phi = \oiint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_o} \quad \Longrightarrow \quad \Phi = E \cdot A = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

سؤال:

حدّد الشكل الذي يمثّل سطحًا جاوسيًا مناسبًا لحساب التدفق الكهربائي لأكبر مقدار.

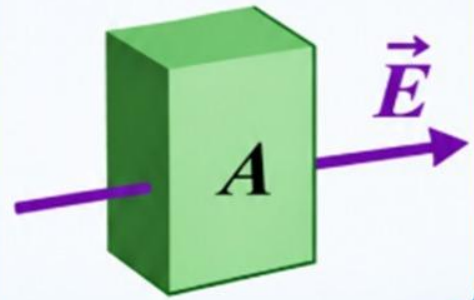


أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي

يمر مجال كهربائي منتظم شدته E خلال سطح مستو مساحته A كما هو موضح في الشكل.

المعطيات:

- $Q = 6\ \text{nC}$
- $E = 20\ \text{N/C}$
- $L = 1\ \text{m}$



أولاً: احسب التدفق الكهربائي الكلي Φ عبر المكعب عند وضع شحنة $Q = 6\ \text{nC}$ في مركزه.

الحل:

.....

.....

.....

.....

ثانياً: احسب التدفق الكهربائي Φ عبر الوجه الأيسر للمكعب عند وجود مجال كهربائي خارجي مقداره $E = 20\ \text{N/C}$.

الحل:

.....

.....

.....

.....

سؤال :

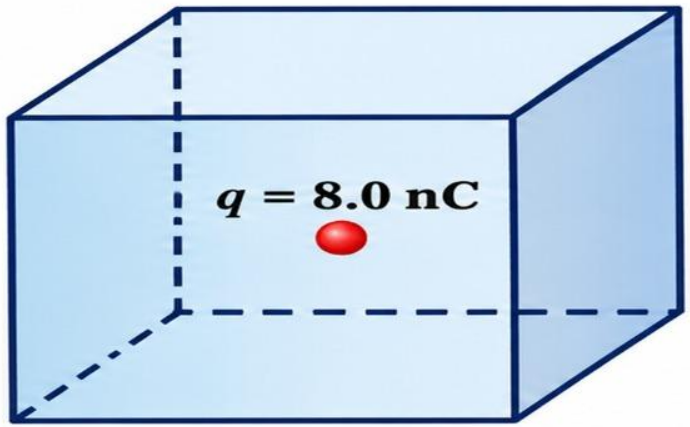
وُضعت شحنة نقطية مقدارها $q = 8.0\ \text{nC}$ في مركز مكعب مغلق.
ما مقدار التدفق الكهربائي الكلي عبر سطح المكعب؟

A) $1.13 \times 10^3\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$ **A**

B) $9.00 \times 10^2\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$ **B**

C) $1.13 \times 10^4\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$ **C**

D) $7.20 \times 10^3\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$ **D**



سؤال:

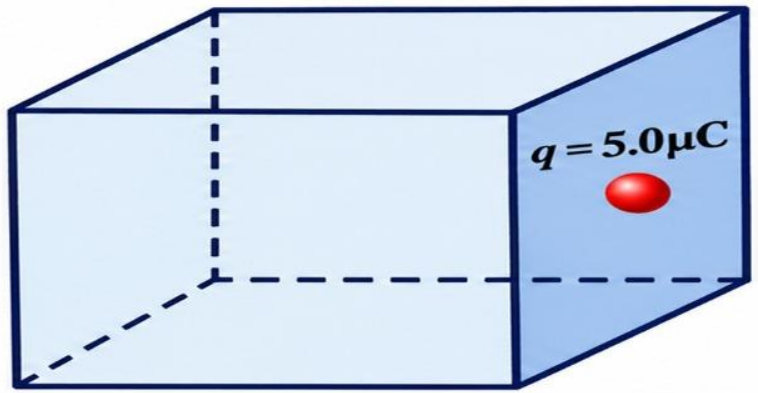
وُضعت شحنة تقطية مقدارهَا $5.0\ \mu C$ في مرَكز أحد أوَجَه مكعَب مَغلق.
ما مقدار التدَفق الكهَربائي الكلي عبر سطحَ المكعبَ؟

A) $1.13 \times 10^5\ N \cdot m^2/C$ A

B) $2.82 \times 10^5\ N \cdot m^2/C$ B

C) $5.65 \times 10^5\ N \cdot m^2/C$ C

D) $1.13 \times 10^6\ N \cdot m^2/C$ D



أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي

أكمال الكركي

سؤال:

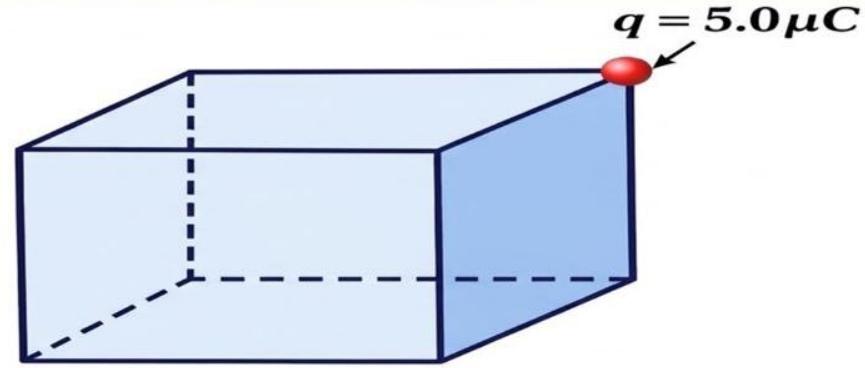
وُضعت شحنة تقطية مقدارها $5.0\ \mu C$ عند أحد رؤوس مكعب مَغلق.
ما مقدار التدَفق الكهَربائي الكلي عبر سطحَ المكعبِ؟

A) $7.06 \times 10^4\ N \cdot m^2/C$ A

B) $1.41 \times 10^5\ N \cdot m^2/C$ B

C) $2.82 \times 10^5\ N \cdot m^2/C$ C

D) $5.65 \times 10^5\ N \cdot m^2/C$ D



أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي

أكمال الكركي

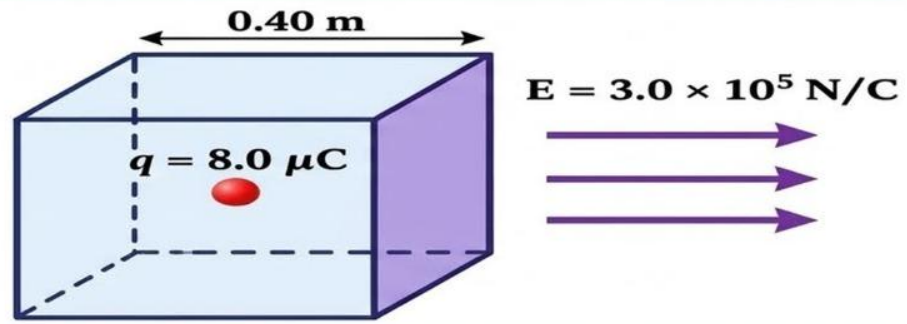
وُضعت شحنة نقطية مقدارها $8.0\ \mu C$ في مركز مكعب طول ضلعه $0.40\ m$،
ثم وُضع المكعب في مجال كهربائي منتظم شدته $3.0 \times 10^5\ N/C$
باتجاه المحور x+، ما مقدار التدفق الكهربائي الكلي عبر الوجه المظلل؟

A) $8.50 \times 10^4\ N \cdot m^2/C$ A

B) $2.00 \times 10^5\ N \cdot m^2/C$ B

C) $3.00 \times 10^5\ N \cdot m^2/C$ C

D) $4.70 \times 10^5\ N \cdot m^2/C$ D



أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي

أكمال الكركي

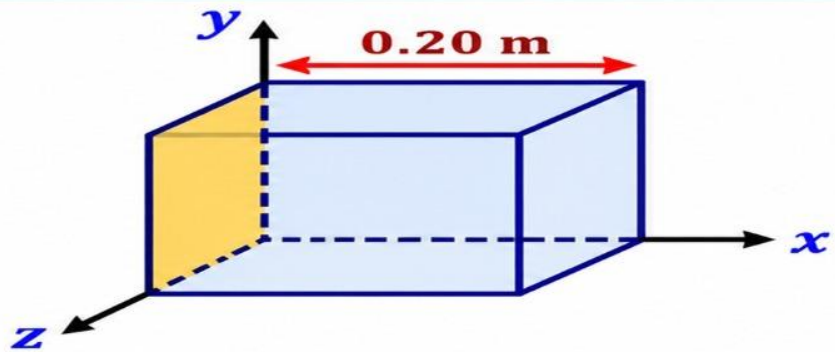
سؤال:

يوضح الشكل المجاور مكعبًا طول ضلعه (0.20 m) يمر به مجال كهربائي منتظم (بوحدة (N/C)) يعطى بالمعادلة:

$$\vec{E} = (3.0\,\hat{i} + 4.0\,\hat{j} + 6.0\,\hat{k}) \times 10^5$$

احسب مقدار التدفق الكهربائي عبر الوجه الأيسر للمكعب.

$-1.20 \times 10^4\ \mathrm{N \cdot m^2/C}$	A
$-6.00 \times 10^3\ \mathrm{N \cdot m^2/C}$	B
$+1.20 \times 10^4\ \mathrm{N \cdot m^2/C}$	C
$+6.00 \times 10^3\ \mathrm{N \cdot m^2/C}$	D



أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي

قانون كولوم وقانون جاوس (اشتقاق قانون جاوس من قانون كولوم)

1 **قانون كولوم للمجال الكهربائي:**

$$E = K\frac{q}{r^2} \quad \text{حيث} \quad K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$$

2 **مساحة السطح الكروي:**

$$A = 4\pi r^2$$

3 **التدفق الكهربائي:**

$$\Phi_E = EA$$

4 **بالتعويض والاختصار:**

$$\Phi_E = \left(K\frac{q}{r^2}\right)(4\pi r^2) = 4\pi K q$$

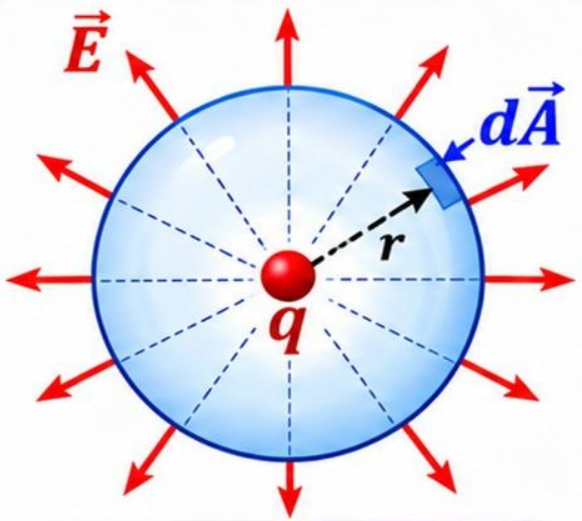
5 **باستخدام** $K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ **:**

$$\Phi_E = 4\pi\left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\right)q = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

الخلاصة:

$$\oint \vec{E}\cdot d\vec{A} = \frac{q_{enc}}{\varepsilon_0}$$

التدفق الكهربائي الكلي عبر أي سطح مغلق يساوي الشحنة المحصورة داخله مقسومة على ε_0.



شحنة نقطية q في مركز سطح كروي نصف قطره r

النتيجة

$$\Phi_E = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

قانون جاوس

أ.كمال الكركي

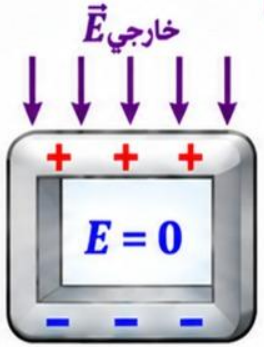
الحماية الكهروستاتيكية (قفص فاراداي)

أ.كمال الكركي

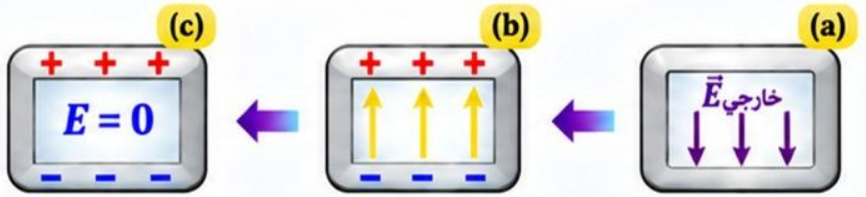
الفكرة الأساسية

الموصل يعيد توزيع شحنانه على سطحه بحيث يُلغي المجال الكهربائي الخارجي داخله، مما يجعل:

$\vec{E}$ داخل الموصل $= E$



كيف تحدث الحماية؟



مجال كهربائي خارجي داخل موصل.

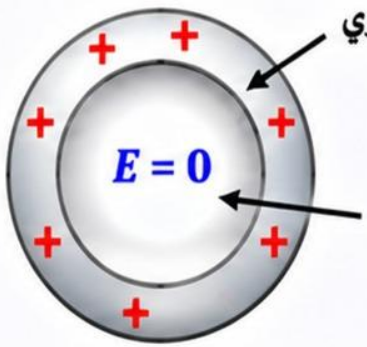
تتحرك الإلكترونات نحو السطح، فتتراكم الشحنات وتنشأ مجالاً معاكسا.

يلغي المجال الناتج عن الشحنات السطحية المجال الخارجي، فيصبح المجال داخل الموصل صفرًا.

تتائج مهمة من قانون جاوس

1. المجال الكهربائي داخل أي موصل معزول يساوي صفرًا ($E = 0$).
2. التجاويف داخل الموصل محميّة من المجالات الكهربائية.

مثال على التحاويف المحمية



تجربة فان دي غراف



وعاء معدني (موصل) تبقى قطع الفلين داخله لأن $E = 0$.



وعاء بلاستيكي (غير موصل) تتطاير قطع الفلين.

قفص فاراداي وتطبيقاته



- شبكة موصله (قفص فاراداي) توفر الحماية من المجال الكهربائي الخارجي.
- من تطبيقاته: حماية الأشخاص من البرق داخل المباني أو السيارات ذات الهيكل المعدني.

الخلاصة:

أي موصل عند الاتزان الكهروستاتيكي يحمي ما بداخله من المجال الكهربائي الخارجي، ويكون المجال الكهربائي داخل الموصل وتجويفاته صفرًا ($E = 0$).

الحواف الحادة ومانعات الصواعق

عمودية المجال

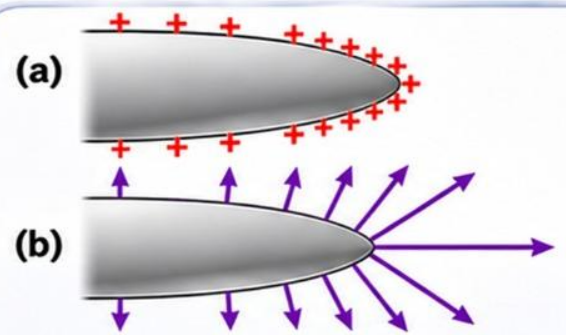
في حالة الاتزان الكهروستاتيكي يكون المجال الكهربائي دائماً عمودياً على سطح الموصل ($\theta = 0°$): ($\theta = 0°$): لأنه لو وجدت مركبة موازية لتحركت الشحنات على السطح حتى يصل إلى الاتزان.

تراكم الشحنات عند الحواف الحادة

لا تتوزع الشحنات بانتظام على الموصلات غير المنتظمة الشكل؛ إذ تتقارب الشحنات وتتركز بكثافة سطحية (σ) عالية عند الأطراف الحادة ذات الانحناء الكبير.

تركيز المجال

بما أن الشحنات متكثفة عند الطرف الحاد، تتقارب خطوط المجال من بعضها بشدة، فيولد مجالاً كهربائياً قوياً جداً بالقرب من الحافة المدببة مقارنة بالمناطق المسطحة.



(a) توزيع الشحنات على طرف حاد لموصل.
(b) خطوط المجال الكهربائي عند الطرف الحاد.

الخلاصة

- المجال الكهربائي عمودي على سطح الموصل.
- تتركز الشحنات عند الحواف الحادة وتزداد شدة المجال الكهربائي هناك.
- الأطراف الحادة قد تؤدي إلى تأين الهواء وحدوث البرق.
- النهايات الدائرية المصمتة أكثر أماناً لحماية المنشآت.
- التأريض الجيد ضروري لنقل الشحنة بأمان إلى الأرض.



التطور الفيزيائي لمانعات الصواعق



بنيامين فرانكلين

فكرة فرانكلين: اقترح استخدام قضبان معدنية حادة لتفريغ الشحنات المتراكمة أثناء العواصف وحماية المباني.



الرؤية الحديثة: الأطراف الحادة تنتج مجالاً كهربائياً قويا قد يؤدي إلى تأين الهواء وتسهيل حدوث التفريغ الكهربائي (البرق).



التصميم الحديث: تُستخدم نهايات دائرية مصمتة لتقليل تركيز المجال الكهربائي، مع ضرورة توصيل مانعة الصواعق بنظام تأريض جيد لنقل الشحنات بأمان إلى الأرض.

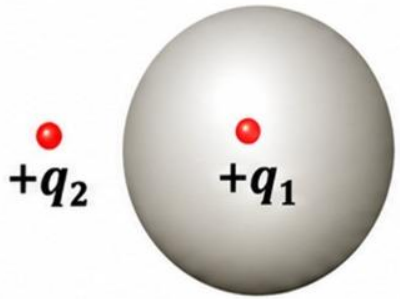
س7)	موصل معدني مشحون ومعزول ذو شكل غير منتظم يحتوي على أجزاء مسطحة وأخرى مدببة حاده. عند أي جزء من سطح الموصل تكون الكثافة السطحية للشحنات الكهروسكونية (σ) أكبر ما يمكن؟
A) عند الأجزاء المسطحة تماماً ذات الانحناء المنعدم. B) تتوزع بالتساوي تماماً وبكثافة متماثلة على جميع أجزاء السطح. C) عند الأطراف المدببة الحادة حيث يكون انحناء السطح كبيراً. D) داخل الحجم الداخلي للموصل وليس على سطحه الخارجي.	

س8)	لماذا تُفضل الفيزياء التطبيقية الحديثة استخدام مانعات صواعق ذات نهايات دائرية مصمتة بدلاً من الأطراف الحادة المدببة لحماية المنشآت؟
A) لأن الأطراف الدائرية تمتص الصاعقة دون الحاجة لتوصيلها بنظام التأريض. B) لأن الأطراف الحادة تولد مجالاً هائلاً يؤين الهواء، مما قد يحفز ويسهل حدوث ضربة البرق. C) لأن الأطراف الدائرية تجعل المجال الكهربائي داخل ماده المبنى مساوياً للصفر. D) لأن الأطراف الحادة تمنع الشحنات من الحركة والوصول إلى حالة الاتزان الكهروسكوني.	

أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي

السؤال 1

كرة موصلة ومتجوفة غير مشجونة في البداية. موُضعت شحنة موجبة $+q_1$ داخلها، ثم وُضعت شحنة موجبة أخرى $+q_2$ بالقرب من الكرة من الخارج. أي من العبارات التالية تتصف محصلة القوة إلكهربائية المؤثرة في الشحنتين؟



A تؤثر قوة كهربائية على $+q_1$ فقط ولا تؤثر على $+q_2$.

B تؤثر قوة كهربائية على $+q_2$ فقط ولا تؤثر على $+q_1$.

C تؤثر قوة كهربائية على كلتا الشحنتين بمقدارين متساويين وفي إتحاهين متعاكسين.

D لا توجد قوة كهربائية تؤثر في أي من الشحنتين.

السؤال 2

كرة موصلة مجوفة شُحنت في البداية بشحنة سالبة موزعة عليها بالتساوي. وقُرِّبت شحنة موجبة $+q$ إلى الكرة ثم وُضعت في حالة سَكون، كما هو موضح في الشكل. ما اتجاه المجال الكهربائي داخل الكرة المجوفة؟



A نحو اليمين (→)

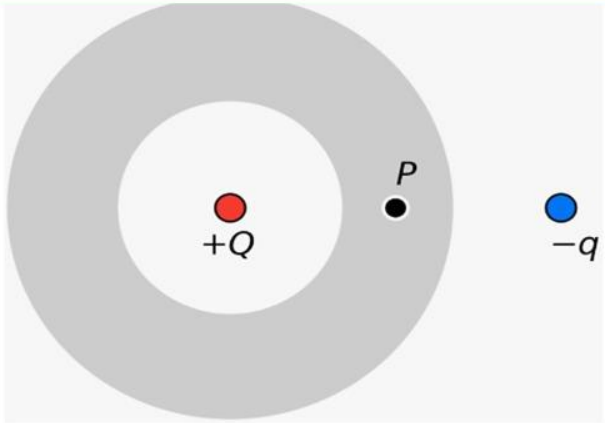
B نحو الأعلى (↑)

C نحو اليسار (←)

D المجال يساوي صفرًا.

أكمال الكركي

س9) يوضح الشكل أدناه قشرة كروية موصلة وسميكة، غير مشحونة (متعادلة)، وتتوسطها شحنة نقطية موجبة (+Q) داخل تجويفها .عند تقريب شحنة نقطية سالبة (-q)من السطح الخارجي للموصل ودون ملامسته، ما الذي يحدث للمجال الكهربائي (E)عند النقطة (P) الواقعة داخل مادة الموصل الصلبة؟



A) يزداد المجال الكهربائي ويتجه نحو الشحنة الخارجية $-q$.

B) يزداد المجال الكهربائي ويتجه نحو الشحنة الداخلية $+Q$.

C) يظل المجال الكهربائي مساوياً للصفر دون أي تغيير.

D) يصبح المجال الكهربائي غير محدد لاعتماد قيمته على أبعاد الموصل.

أكمال الكركي

س10) تجلس طفلة داخل مجسم كروي معدني مغلق (قفص فاراداي) معزول عن الأرض .إذا ضربت صاعقة رعدية تحمل شحنة سالبة هائلة السطح الخارجي لهذا المجسم، أي من العبارات التالية تصف الحالة الكهربائية بدقة؟

A) تصاب الطفلة بصعقة كهربائية لأن الشحنات تخترق الهواء داخل التجويف.

B) تظل الطفلة آمنة تماماً لأن الشحنات الفائضة تتدفق وتستقر على السطح الخارجي فقط.

C) تنجو الطفلة فقط إذا كانت ترتدي أحذية مطاطية عازلة تمنع التدفق الكهربائي الداخلي.

D) يتولد مجال كهربائي قوي داخل التجويف متجهاً من مركز الكرة إلى جدارها الداخلي.

أكمال الكركي

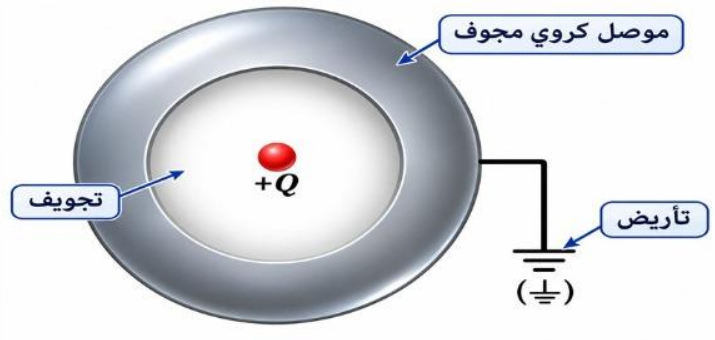
س11) قشرة كروية موصلة، سميكة ومتعادلة كهربائياً، تحتوي على تجويف في مركزها شحنة نقطية موجبة .(+Q)إذا تم توصيل السطح الخارجي لهذه القشرة بالأرض (تأريض) مع بقاء الشحنة المركزية في مكانها، ما هي محصلة الشحنة الكهروسكونية المستقرة على السطح الداخلي للتجويف والسطح الخارجي للموصل على التوالي؟

A) الداخلي: $Q-$، الخارجي: $Q+$

B) الداخلي: $Q-$، الخارجي: صفر

C) الداخلي: صفر، الخارجي: صفر

D) الداخلي: صفر، الخارجي: $Q-$



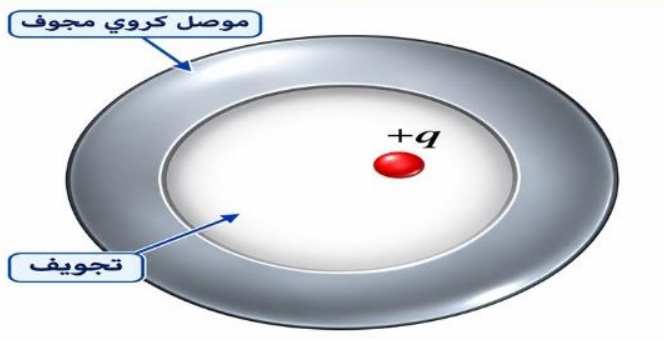
س12) يوضح الشكل أدناه موصلاً كروياً مجوفاً معزولاً ومتعادلاً .وُضعت شحنة نقطية موجبة (+q) داخل التجويف ولكن **في موقع مُزاح عن المركز** (ليست في المنتصف) أي الخيارات التالية يصف بدقة شكل وتوزيع خطوط المجال الكهربائي الناشئة **خارج الموصل الكروي**؟

A) تكون خطوط المجال غير منتظمة وكثافتها أعلى في الجانب الأيمن الخارجي القريب من موقع الشحنة.

B) تكون خطوط المجال متناظرة تماماً وتخرج شعاعياً من المركز الهندسي للكرة، لأن الشحنات الخارجية تتوزع بانتظام.

C) لا توجد أي خطوط مجال كهربائي خارج الموصل لأن الشحنة محبوسة تماماً بالتجويف.

D) تنحني خطوط المجال الخارجي لتدخل مجدداً إلى جدران الموصل بسبب الاستقطاب غير المتماثل.



أكمال الكركي

س13) يجلس فيزيائي داخل مكعب معدني مغلق (قفص فاراداي) مغطى بالكامل بشبكة نحاسية موصلة .إذا وُضعت شحنة نقطية موجبة هائلة خارج القفص مباشرة وتبعد مسافة (d)عن أحد الأوجه، ما هي محصلة التدفق الكهربائي الكلي النافذ عبر **الأسطح الداخلية الستة** المحددة للتجويف؟



A) صفر

B) $\frac{q}{\varepsilon_0}$

C) $\frac{q}{6\varepsilon_0}$

D) تعتمد القيمة على المساحة الهندسية لوجه المكعب القريب من الشحنة.

أكمال الكركي

أكمال الكركي

أكمال الكركي

أكمال الكركي

حالات خاصة في تماثل توزيع الشحنات

يساعدنا **قانون جاوس** على حساب شدة المجال الكهربائي الناتج عن توزيعات الشحنات المختلفة، بشرط وجود تماثل هندسي يسمح بتحديد مقدار المجال واتجاهه بسهولة.

أنواع التماثل

1. التماثل الأسطواني: سلك مستقيم طويل.
2. التماثل السطحي: لوح مستو لا نهائي.
3. التماثل الكروي: كرة أو قشرة كروية مشحونة.

الكميات المستخدمة

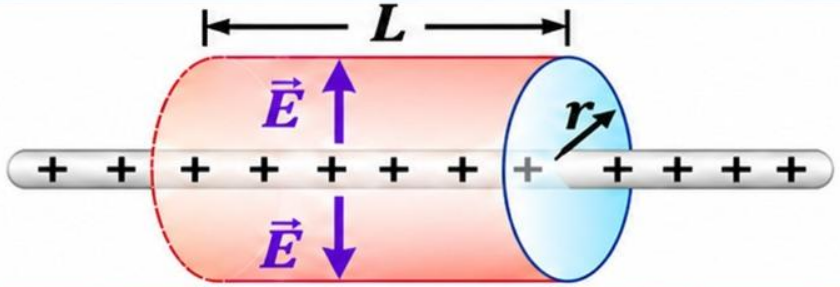
الكمية	الرمز	الوحدة
كثافة الشحنة الخطية	λ	C/m
كثافة الشحنة السطحية	σ	C/m^2
كثافة الشحنة الحجمية	ρ	C/m^3

1. التماثل الأسطواني (سلك مستقيم طويل)

الفكرة

عند وجود سلك طويل مشحون بانتظام، يكون المجال الكهربائي:

- شعاعياً وعمودياً على السلك.
- متساوي المقدار عند النقاط التي تبعد المسافة نفسها عن السلك.
- متجهاً إلى الخارج للشحنة الموجبة، وإلى الداخل للشحنة السالبة.
- نختار سطحاً جاوسياً أسطوانياً يحيط بالسلك.



العلاقة النهائية

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r} = \frac{2k\lambda}{r}$$

2. التماثل السطحي (لوح مستوٍ لا نهائي)

الخصائص

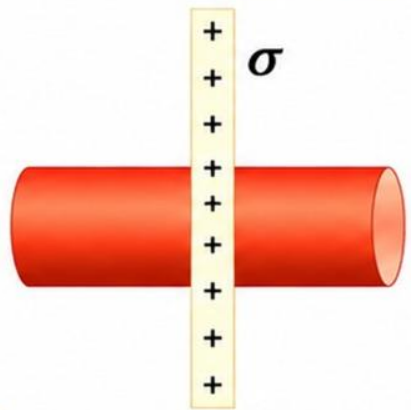
- لوح رقيق غير موصل مشحون بانتظام.
- المجال الكهربائي عمودي على سطح اللوح.
- يتجه بعيداً عن اللوح إذا كانت الشحنة موجبة.
- يتجه نحو اللوح إذا كانت الشحنة سالبة.
- المجال متساوي المقدار على جانبي اللوح.

الفكرة

باستخدام قانون جاوس، نحسب المجال الكهربائي الناتج عن لوح مستوٍ مشحون بكثافة شحنة سطحية منتظمة σ.

الحالات والعلاقات النهائية

لوح غير موصل (لا نهائي)



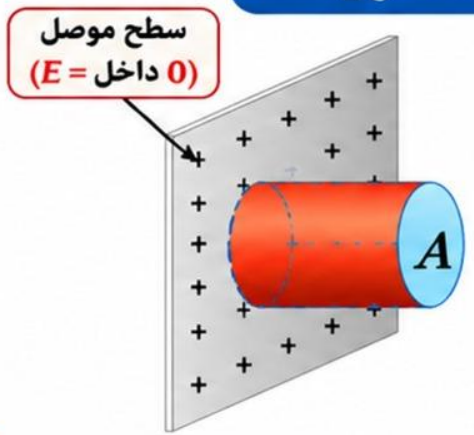
قانون جاوس:

$$2EA = \frac{\sigma A}{\varepsilon_0}$$

المجال على جانبي اللوج:

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

مستوي موصل مشحون



قانون جاوس:

$$EA = \frac{\sigma A}{\varepsilon_0}$$

المجال خارج السطح:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

مفارنة سريعة

	الحالة المجال الكهربائي
لوح غير موصل	$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$
سطح موصل	$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$

نتيجة مهمة

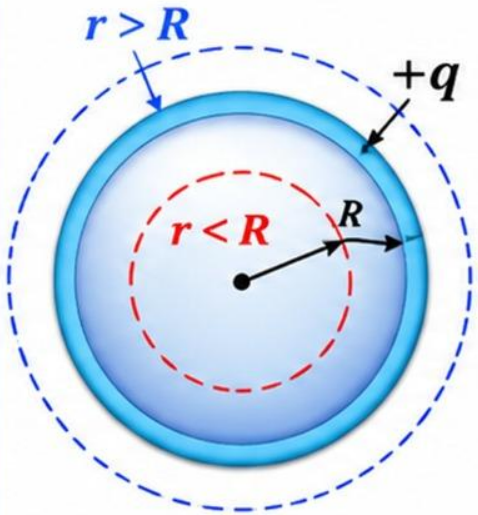
المجال الكهربائي داخل الموصل يساوي صفراً ($E = 0$)، ولذلك لا يوجد تدفق عبر السطح داخل الموصل.

أكمال الكركي

التماثل الكروي (كرة أو قشرة كروية مشحونة)

القشرة الكروية المشحونة

قشرة كروية رقيقة مشحونة بشحنة كلية q ونصف قطر R.



أولاً: خارج القشرة $(r > R)$

تساوي الشحنة المحصورة الشحنة الكلية q:

$$E(4\pi r^2) = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

$$\boxed{E = \frac{Kq}{r^2}}$$

ثانياً: داخل القشرة $(r < R)$

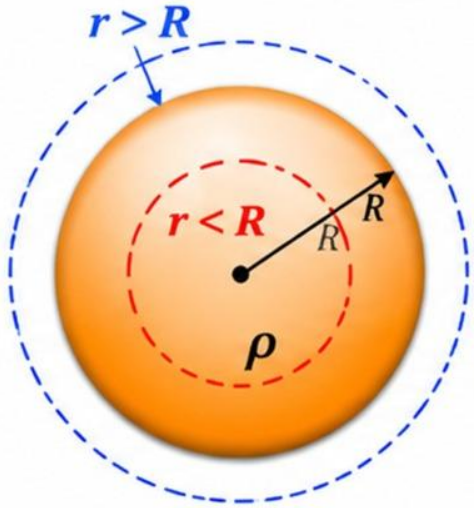
لا توجد شحنة محصورة داخل السطح الجاوسي:

$$q_{in} = 0$$

$$\boxed{E = 0}$$

الكرة المشحونة بانتظام (كرة صلبة)

كرة صلبة نصف قطرها R تحتوي على شحنة موزعة بانتظام في حجمها بكثافة شحنة ρ.



أولاً: داخل الكرة $(r < R)$

الشحنة المحصورة:

$$q_{in} = \rho\left(\frac{4}{3}\pi r^3\right)$$

بتطبيق قانون جاوس:

$$E(4\pi r^2) = \frac{\rho\left(\frac{4}{3}\pi r^3\right)}{\varepsilon_0}$$

$$\boxed{E = \frac{\rho r}{3\varepsilon_0}}$$

ثانياً: خارج الكرة $(r > R)$

الشحنة الكلية:

$$q_{total} = \rho\left(\frac{4}{3}\pi R^3\right)$$

بتطبيق قانون جاوس:

$$E(4\pi r^2) = \frac{q_{total}}{\varepsilon_0}$$

$$\boxed{E = \frac{Kq_{total}}{r^2}}$$

أهم النتائج

- خارج أي توزيع كروي متماثل، يتصرف المجال الكهربائي كما أن الشحنة كلها مركزة في مركز الكرة.
- داخل القشرة الكروية المشحونة: المجال الكهربائي يساوي صفراً.

ملخص العلاقات

التوزيع	داخل $(r < R)$	خارج $(r > R)$
قشرة كروية	$E = 0$	$E = \frac{Kq}{r^2}$
كرة صلبة (كثافة ρ)	$E = \frac{\rho r}{3\varepsilon_0}$	$E = \frac{Kq_{total}}{r^2}$

س1)

سلك مستقيم طويل جداً يحمل شحنة خطية منتظمة بكثافة λ .إذا كانت شدة المجال الكهربائي عند نقطة تبعد مسافة عمودية (r)عن السلك هي (E)، فكم تصبح شدة المجال الكهربائي عند نقطة أخرى تبعد مسافة عمودية (3r)عن السلك؟

A) $3E$

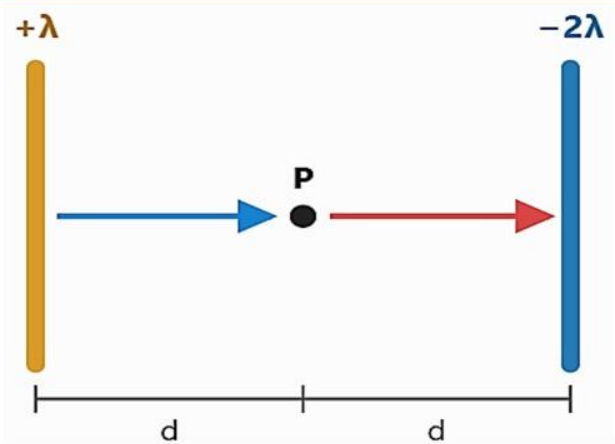
B) $9E$

C) $\frac{E}{3}$

D) $\frac{E}{9}$

س2)

سلكان متوازيان لا نهائيا الطول، تفصل بينهما مسافة قدرها $2d$. يحمل السلك الأول شحنة خطية منتظمة λ ، بينما يحمل السلك الثاني شحنة خطية منتظمة -2λ.
ما مقدار شدة المجال الكهربائي المحصل عند نقطة تقع في منتصف المسافة تماماً بين السلكين؟



A) $\frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 d}$

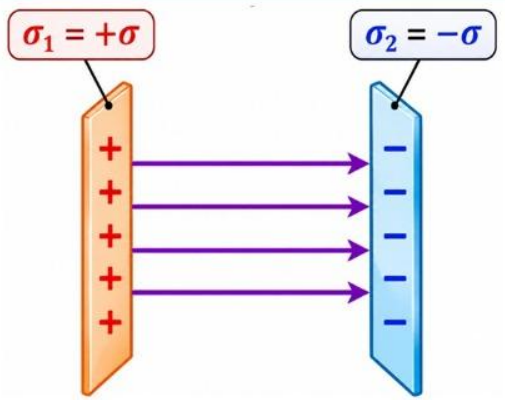
B) $\frac{3\lambda}{2\pi\varepsilon_0 d}$

C) $\frac{\lambda}{4\pi\varepsilon_0 d}$

D) صفر

أكمال الكركي

س3) لوح مستوٍ رقيق جداً ولانهائي المساحة من مادة عازلة مشحون بانتظام بكثافة سطحية (σ)إذا كانت شدة المجال الكهربائي عند نقطة تبعد مسافة (5cm)عن اللوح هي (E)، فكم تكون شدة المجال الكهربائي عند نقطة تبعد مسافة (20 cm)عن هذا اللوح؟	
	A) $4E$ B) $2E$ C) $\frac{E}{4}$ D) E

س4) يوضح الشكل ادناه لوحين متوازيين، عازلين ولا نهائيين، يحمل اللوح الأول كثافة شحنة سطحية موجبة مقدارها $\sigma_1 = +\sigma$ ، بينما يحمل اللوح الثاني كثافة شحنة سطحية سالبة مقدارها $\sigma_2 = -\sigma$. ما مقدار شدة المجال الكهربائي المحصل في المنطقة الواقعة **بين اللوحين**؟	
	A) صفر B) $\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$ C) $\frac{\sigma}{\varepsilon_0}$ D) $\frac{2\sigma}{\varepsilon_0}$

أكمال الكركي

س5) لوح معدني موصل سميك ولانهائي المساحة، شُحن بكثافة سطحية صافية موجبة .إذا كان مقدار المجال الكهربائي خارج السطح الموصل مباشرة يساوي (E)، فكم يكون مقدار المجال الكهربائي عند نقطة تقع في مركز السمك (داخل المادة الموصلة الصلبة للوح)؟

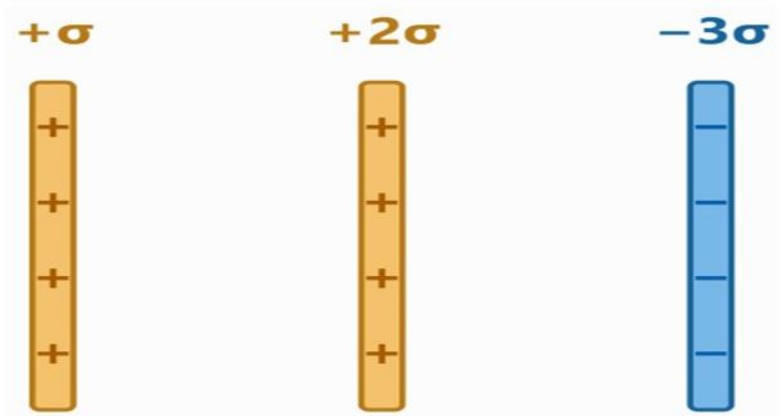
A) E

B) $\frac{E}{2}$

C) صفر

D) $2E$

س6) **ثلاثة ألواح عازلة رقيقة جداً، متوازية ولا نهائية المساحة، رُتبت متتالية. يحمل اللوح الأول كثافة شحنة $+\sigma$، واللوح الثاني -2σ. واللوح الثالث -3σ. ما مقدار المجال الكهربائي المحصل في المنطقة خارج الألواح تماماً إلى جهة اليمين؟**



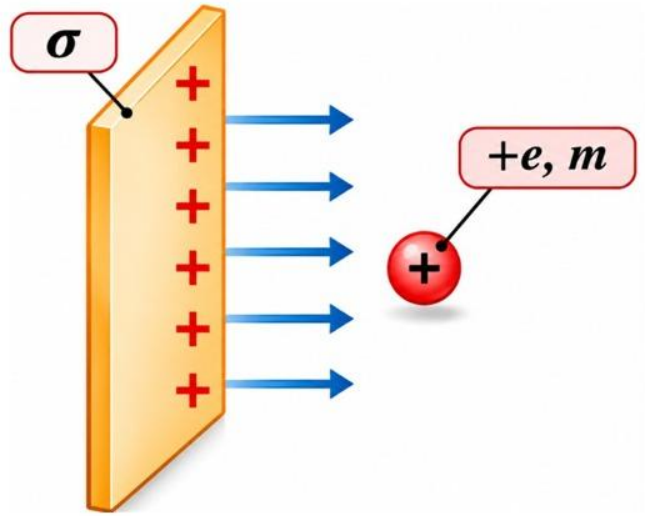
A) $\frac{3\sigma}{\varepsilon_0}$

B) $\frac{\sigma}{\varepsilon_0}$

C) صفر

D) $\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$

يوضح الشكل أدناه لوحاً عازلاً لانهائياً يحمل كثافة شحنة سطحية σ. تم إطلاق بروتون (شحنته $+e$ وكتلته m) من السكون من نقطة قريبة جداً من اللوح. ما هي قيمة السرعة التي سيكتسبها البروتون بعد أن يقطع مسافة أفقية قدرها x.



أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي
أكمال الكركي

أكمال الكركي

س8)

قشرة كروية رقيقة موصلة نصف قطرها R وتحمل شحنة كليّة موجبة Q. ما هي النسبة بين شدة المجال الكهربائي عند نقطة تبعد $\frac{R}{2}$ من المركز، إلى شدة المجال عند نقطة تبعد $2R$ عن المركز؟

A) صفر

B) 4

C) $\frac{1}{4}$

D) غير محددة لأن المجال بالداخل صفر

س9)

كرة مصمتة (صلبة) مصنوعة من مادة عازلة نصف قطرها الهندسي (R)، وموزع في كامل حجمها شحنة كهربائية كليّة بانتظام وبكثافة حجمية ثابتة (ρ) أي من العبارات التالية تصف بشكل صحيح كيفية تغير شدة المجال الكهربائي (E)عند الانتقال تدريجياً من مركز الكرة (r = 0)باتجاه سطحها الخارجي (r = R)

(A) تتناقص شدة المجال الكهربائي عكسياً مع مربع المسافة: $E \propto \frac{1}{r^2}$.

(B) تظل شدة المجال الكهربائي ثابتة ومنتظمة القيمة عند جميع النقاط: ثابت $E =$

(C) تزداد شدة المجال الكهربائي طردياً مع المسافة خطياً: $E \propto r$

(D) تتناقص شدة المجال الكهربائي عكسياً مع المسافة: $E \propto \frac{1}{r}$.