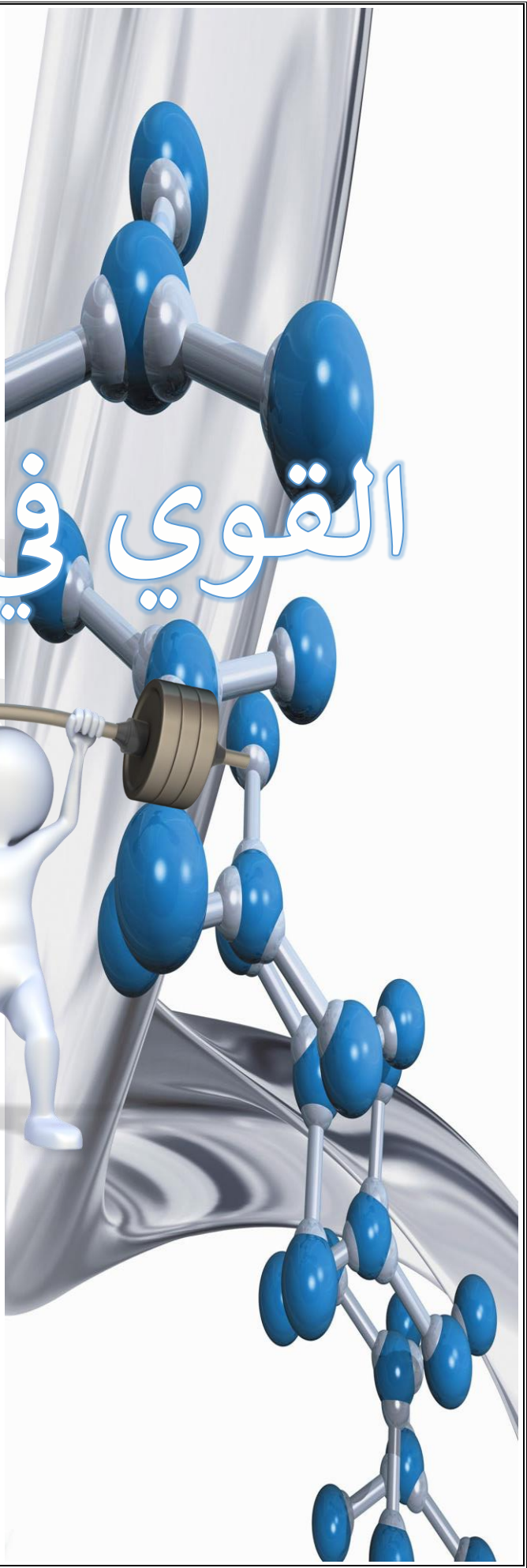
المرحلة الثانوية

المنهاج الجديد .

الفصل الثاني

الجهد الكهربائي

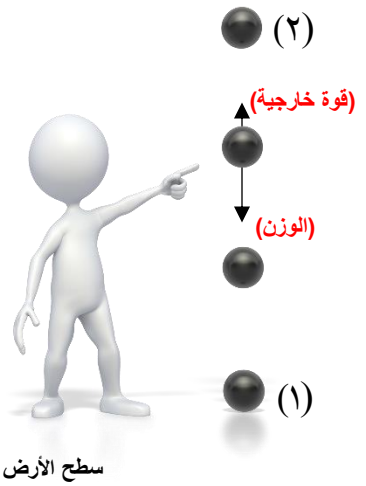
القوي في الفيزياء



الأستاذ محمد عثمان

٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

الجهد الكهربائي (Electric Potential):



من أجل رفع جسم من نقطة على سطح الأرض الى نقطة اخرى بسرعة ثابتة فانه يجب التأثير علية بقوة خارجية تساوي قوة الوزن (حسب قانون نيوتن الأول) المؤثرة علية و بعكس الاتجاه .

القوة الخارجية ستبذل شغل على الجسم لأنها أحدثت ازاحة و سوف يختزن الشغل داخل الجسم على شكل طاقة وضع الجاذبية (ط و) .

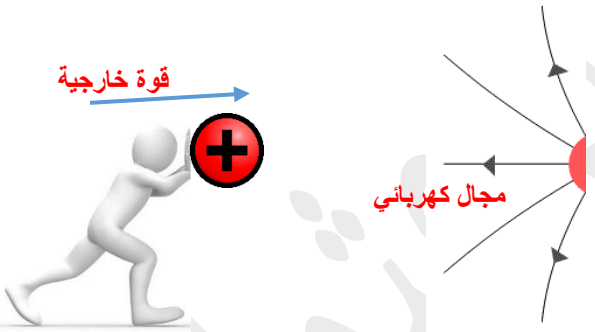
ان الشغل المبذول في نقل الجسم من النقطة (١) في الشكل المجاور الى النقطة (٢) يساوي التغير في طاقة الوضع لأنه نقل بسرعة ثابتة .

أما بالنسبة الى شحنة وضعت في مجال كهربائي خارجي , فان الشحنة و المجال يشكلان نظاماً , يسمى نظام (الشحنة الكهربائية – المجال الكهربائي) و تختزن في النظام طاقة تسمى طاقة وضع كهربائية .

في المجال الكهربائي اصطلح على أن اللانهاية (∞) هي النقطة المرجعية التي تكون طاقة الوضع عندها صفراً ($ط_{و\infty} = ٠$) .

في الشكل المجاور نفرض أن الشحنة الكهربائية ($ش_{\circ}$) في اللانهاية , و لنقلها الى نقطة ضمن المجال الكهربائي بسرعة ثابتة نؤثر فيها بقوة خارجية تساوي القوة الكهربائية في المقدار و تعاكسها في الاتجاه ,

و عندئذ تبذل القوة الخارجية شغلاً يختزن في الشحنة الكهربائية على شكل طاقة وضع كهربائية ($ط_{و}$) حيث تبقى طاقتها الحركية ثابتة ($\Delta ط_{ح} = ٠$) .



الجهد الكهربائي : مقدار طاقة الوضع الكهربائية لكل وحدة شحنة موضوعة عند نقطة في مجال كهربائي .

يعطى بالعلاقة الرياضية : $جـ = \frac{ط_{و}}{ش}$

الجهد الكهربائي كمية قياسية , يقاس بوحدة جول/كولوم = الفولت .

الفولت : هو فرق الجهد بين نقطتين عندما يلزم بذل شغل مقداره (١) جول لنقل وحدة الشحنات الموجبة بين هاتين النقطتين .

الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

سؤال : ماذا نعني بقولنا أن الجهد الكهربائي عند نقطة يساوي (١) فولت ؟

يعني أنه اذا وضعت شحنة كهربائية مقدارها (١) كولوم عند تلك النقطة , فانها ستختزن طاقة وضع كهربائية مقدارها (١) جول .

ملاحظة :

- لا يعتمد الجهد الكهربائي عند نقطة ما على (ش) , فاذا تغيرت (ش) فان طاقة الوضع (ط$_و$) تتغير بحيث تبقى النسبة ($\frac{ط_و}{ش}$) ثابتة .
- اذا تغيرت طاقة الوضع الكهربائية للشحنة عند انتقالها من نقطة الى اخرى ضمن المجال الكهربائي , فهذا يعني انه يوجد فرق في الجهد الكهربائي بين النقطتين .

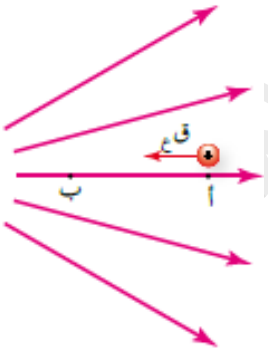
فرق الجهد الكهربائي : هو التغير في طاقة الوضع الكهربائية لكل وحدة شحنة عند انتقالها بين هاتين النقطتين في مجال كهربائي .

يعطى بالعلاقة :

$$\Delta ج = \frac{\Delta ط_و}{ش_ـ}$$

$\Delta ج = ج_{نهاية} - ج_{بداية}$ (حيث أن $ج_{نهاية}$: جهد النقطة النهائية التي نقلت اليها الشحنة , $ج_{بداية}$: جهد النقطة الابتدائية التي نقلت منها الشحنة) .

اذا أثرت قوة خارجية في شحنة (ش) و نقلتها بسرعة ثابتة من النقطة (أ) الى النقطة (ب) ضمن مجال كهربائي كما في الشكل المجاور , فان الشغل الذي تبذله القوة الخارجية يظهر على شكل تغير في طاقة الوضع الكهربائية للشحنة , أي أن :



الشغل $_{أ \leftarrow ب}$ = $\Delta ط_و$ = $ط_{وب} - ط_{وا}$

و منها نجد أن $ج_{نهاية} - ج_{بداية} = \frac{\Delta ط_و}{ش_ـ} = \frac{الشغل_خ}{ش_ـ}$

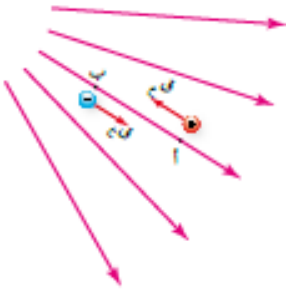
و منه يمكن التعبير عن شغل القوة الخارجية بالعلاقة :

$$الشغل_خ = ش_ـ \ (ج_{نهاية} - ج_{بداية})$$

الشحنة المنقولة

الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

مثال (٢-١) كتاب صفحة ٣٤



شحنة نقطية ($+٢\times١٠^{-٩}$) كولوم نقلت من النقطة (أ) الى النقطة (ب) في مجال كهربائي بسرعة ثابتة كما في الشكل المجاور , اذا بذلت القوة الخارجية شغلاً(٤×١٠^{-٩}) جول , فاحسب :

١) فرق الجهد الكهربائي بين النقطتين (ب) و (أ) ...(جب – جـ أ)

٢) الشغل الذي تبذلة قوة خارجية لنقل شحنة (-٢×١٠^{-٩}) كولوم من (ب) الى (أ) بسرعة ثابتة .

الحـــــــل :

١) لحساب فرق الجهد الكهربائي (جـ ب – جـ أ) نطبق العلاقة التالية :

الشغل أب = ش ◦ (جـنهاية – جـبداية)

$٤\times١٠^{-٩} = ٢\times١٠^{-٩}\times(جـ_ب - جـ_أ) \Leftarrow (جـ_ب - جـ_أ) = ٧$ فولت .

يمكن التعبير عن فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين بالرمز (جـ ب أ) , أي أن جـ ب أ = ٧ فولت .

٢) لحساب الشغل اللازم لنقل شحنة كهربائية من النقطة (ب) الى النقطة (أ) :

الشغل ب أ = ش ◦ (جـ أب) = $-٢\times١٠^{-٩}\times-٧ = ٤\times١٠^{-٩}$ جول , حيث أن (جـ ب أ = - جـ أب) .

سؤال (١) :

احسب الشغل اللازم لنقل شحنة نقطية موجبة مقدارها ٤ ميكروكولوم من النقطة أ الى النقطة ب , اذا علمت أن (جـ أ=٤٠ فولت , جـ ب = ٦٠ فولت) ؟

سؤال (٢) :

احسب الجهد الكهربائي لنقطة نقلت اليها شحنة كهربائية مقدارها (٤×١٠^{-٩}) كولوم , من نقطة أخرى جهدها الكهربائي (٢) فولت , اذا علمت أنه بذل شغل مقداره ($٦,٤\times١٠^{-٩}$) جول لنقل هذه الشحنة ؟

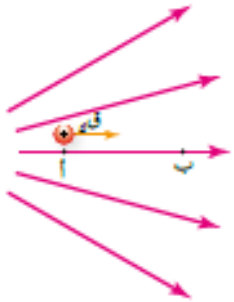
سؤال (٣) :

بذل شغل مقداره ($٤,٨\times١٠^{-٩}$) جول لنقل شحنة سالبة مقدارها ($١,٦\times١٠^{-٩}$) كولوم من نقطة الى أخرى , جد مقدار التغير في طاقة الوضع للشحنة الكهربائية المنقولة ؟

الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

تحدثنا عن حركة شحنة بتأثير قوة خارجية , ماذا يحدث اذا تركت الشحنة حرة ؟؟؟؟؟؟؟؟

اذا وضعت شحنة موجبة (ش) عند النقطة (أ) في مجال كهربائي و تركت حرة كما في الشكل المجاور لتتحرك تحت تأثير القوة الكهربائية فقط , فانها ستنتقل الى النقطة (ب) .



نلاحظ أن نظام (الشحنة الكهربائية – المجال الكهربائي) نظام محافظ , أي أن الطاقة الميكانيكية للنظام محفوظة :

$$\Delta ط_{م} = \Delta ط_{و} + \Delta ط_{ح} = ٠$$

$$\Delta ط_{ح} = -\Delta ط_{و}$$

عند حركة الشحنة حركة حرة داخل مجال كهربائي تحت تأثير القوة الكهربائية فقط , يؤدي الى نقصان في طاقة الوضع الكهربائية المختزنة فيها و تحولها الى طاقة حركية , القوة الكهربائية تبذل شغلاً (الشغل ك) على الشحنة تحول طاقة الوضع الكهربائية المختزنة الى طاقة حركية , أي أن :

الشغل ك $= -\Delta ط_{و} = \Delta ط_{ح}$ (الأمر نفسه يطبق اذا كانت الشحنة الحرة سالبة) .

و منه نتوصل الى العلاقة :

$$\text{الشغل ك} = \frac{\Delta ط_{و}}{ش_{\circ}} = ش_{\circ}(\text{جنهاية} - \text{جبداية})$$

يمكن التعبير عن شغل القوة الكهربائية بالعلاقة الرياضية التالية :

الشغل ك $= -ش_{\circ}$ (جنهاية – جبداية)

بعض العلاقات المهمة :

- **الشغل = ق ف جتا θ (ق : القوة (نيوتن) , ف : المسافة (متر) , θ : الزاوية بين (ق)،(ف)).**
- **قانون حفظ الطاقة : $ط_{ح١} + ط_{و١} = ط_{ح٢} + ط_{و٢}$**

$ط_{ح١}$: الطاقة الحركية عند النقطة (١) $ط_{ح٢}$: الطاقة الحركية عند النقطة (٢)

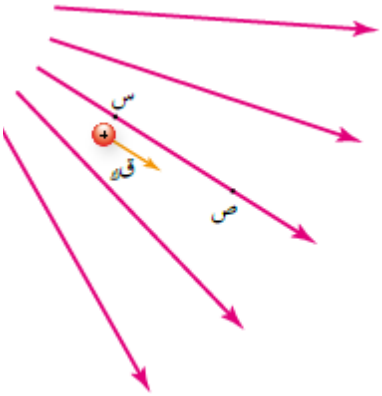
$ط_{و١}$: طاقة الوضع عند النقطة (١) $ط_{و٢}$: طاقة الوضع عند النقطة (٢)

- **$ط_{ح} = \frac{١}{٢} ك ع^{٢}$ ($ط_{ح}$: الطاقة الحركية (جول) , ك :الكتلة (كغ) , ع : السرعة (م/ث))**

الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

مثال (٢-٢) كتاب صفحة ٣٦ :

يبين الشكل بروتوناً يتحرك في مجال كهربائي تحت تأثير القوة الكهربائية فقط من النقطة (س) الى النقطة (ص) , فاذا بذلت القوة الكهربائية عليه شغلاً (٨×١٠^{-١٩}) جول , فاحسب فرق الجهد ($جـ_{ص س}$) .



الحـــــــــل :

لحساب فرق الجهد بين النقطتين (س,ص) , و بما أن البروتون انتقل من (س) الى النقطة (ص) , فاننا نطبق العلاقة :

الشغل $_{س \leftarrow ص} = -ش_{ق} (جـ_{ص} - جـ_{س})$

$٨ \times ١٠^{-١٩} = -١.٦ \times ١٠^{-١٩} \times (جـ_{ص س})$

$(جـ_{ص س}) = \frac{-٨ \times ١٠^{-١٩}}{١.٦ \times ١٠^{-١٩}} = -٥$ فولت (الاشارة السالبة تعني أن جهد النقطة (ص) أقل من جهد النقطة (س) .

حل أسئلة المراجعة (٢-١) صفحة ٣٦ :

١) ماذا نعني بقولنا أن فرق الجهد بين نقطتين يساوي (١٢) فولت .

أي أن التغير في طاقة الوضع الكهربائية بين نقطتين لكل وحدة شحنة كهربائية (١٢جول) .

أو يلزم شغل مقداره (١٢جول) لتحريك وحدة الشحنات الموجبة عكس اتجاه المجال الكهربائي .

٢) نقطتان (د) , (هـ) ضمن مجال كهربائي , كما في الشكل المجاور , اذا كان ($جـ_{د هـ}$ = -٤) فولت و ($جـ_{هـ}$ = ٨) فولت , احسب :

أ) شغل القوة الكهربائية المبذول لنقل الكترون من النقطة (د) الى النقطة (هـ) .

الشغل $_{ر \leftarrow هـ} = -ش_{ق} (جـ_{هـ} - جـ_{ر})$

$= -(-١.٦ \times ١٠^{-١٩}) \times (٨ - ٤) = ٦.٤ \times ١٠^{-١٩}$ جول .

$جـ_{ر هـ} = جـ_{ر} - جـ_{هـ}$

$-٤ = جـ_{ر} - ٨ \Leftarrow جـ_{ر} = ٤$

ب) شغل القوة الخارجية المبذول لنقل بروتون من المالانهاية الى النقطة (د) بسرعة ثابتة .

الشغل $_{\infty \leftarrow ر} = -ش_{ق} (جـ_{ر} - جـ_{\infty})$

$= +١.٦ \times ١٠^{-١٩} \times (٤ - ٠) = ٦.٤ \times ١٠^{-١٩}$ جول .

جـ) التغير في طاقة وضع الالكترون الكهربائية : $\Delta ط_{ر} = -$ الشغل $_{ك} = ٦.٤ \times ١٠^{-١٩}$ جول .

التغير في طاقة وضع الالكترون الكهربائية : $\Delta ط_{ر} = -$ الشغل $_{خ} = ٦.٤ \times ١٠^{-١٩}$ جول .

الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

سؤال (٤) :

وضع الكترون في مجال كهربائي , فتحرك بتأثير القوة الكهربائية من النقطة (أ) الى النقطة (ب) . فاذا بذلت القوة الكهربائية عليه شغلاً مقداره (٨ × ١٠$^{-١٩}$) جول , احسب فرق الجهد (جـ أب) ؟

سؤال (٥) :

وضح المقصود بكل مما يلي :

- جهد نقطة ما .
- الفولت .
- الجهد عند نقطة ما يساوي (٥) فولت .
- الجهد عند نقطة ما يساوي (-٥) فولت .
- فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين يساوي (٥) فولت .
- فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين يساوي (-٥) فولت .

سؤال (٦) :

انتقلت شحنة كهربائية موجبة مقدارها (١ ميكروكولوم) بين نقطتين في مجال كهربائي مما أدى الى زيادة في الطاقة الحركية للشحنة بين هاتين النقطتين بمقدار(٥٠ × ١٠$^{-٦}$ جول) , اذا كان الجهد الكهربائي للنقطة التي انطلقت منها الشحنة (٨٠ فولت) أحسب الجهد الكهربائي للنقطة الاخرى ؟

سؤال (٧) :

وضع بروتون في مجال كهربائي , فبذلت القوة الكهربائية شغلاً عليه مقداره (١٢٨ × ١٠$^{-١٩}$) جول . لينتقل من النقطة (أ) التي جهدها يساوي (٥٠) فولت الى النقطة (ب) , احسب مقدار كل من :

- جهد النقطة (ب) .
- التغير في طاقة وضع البروتون عند انتقاله من النقطة (أ) الى النقطة (ب) .

الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

مثـــال :

احسب الشغل اللازم لنقل شحنة نقطية موجبة مقدارها ٤ ميكروكولوم من النقطة أ الى النقطة ب , اذا علمت أن (جـ أ = ٠ ٤ فولت , جـ ب = ٦٠ فولت) ؟

الحل :

الشغل أ←ب = ش (جـ ب − جـ أ) ⇐ الشغل أ←ب = ٤ × ١٠^−٦ (٦٠ − ٤٠)

الشغل أ←ب = +٨ × ١٠^−٥ جول .

الاشارة الموجبة تعني أن الشحنة انتقلت من نقطة جهدها منخفض الى نقطة جهدها مرتفع بفعل قوة خارجية تؤثر في الشحنة , أي أن هناك زيادة في طاقة الوضع الكهربائية يختزن في الشحنة الكهربائية (يلزم بذل شغل).

مثـــال :

احسب الشغل اللازم لنقل شحنة نقطية موجبة مقدارها ٤ ميكروكولوم من النقطة ب الى النقطة أ , اذا علمت أن (جـ أ = ٠ ٤ فولت , جـ ب = ٦٠ فولت) ؟

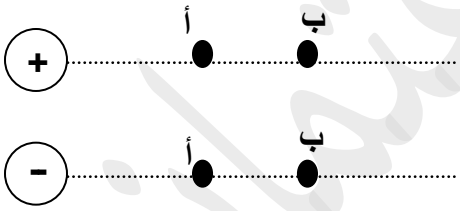
الحل :

الشغل ب←أ = ش (جـ أ − جـ ب) ⇐ الشغل ب←أ = ٤ × ١٠^−٦ (٤٠ − ٦٠)

الشغل ب←أ = −٨ × ١٠^−٥ جول .

الاشارة السالبة تعني أن الشحنة انتقلت من نقطة جهدها مرتفع الى نقطة جهدها منخفض, أي أن هناك نقصان في طاقة الوضع الكهربائية المخزنة في الشحنة الكهربائية يتحول الى طاقة حركية (لا يلزم بذل شغل).

ملاحظة:

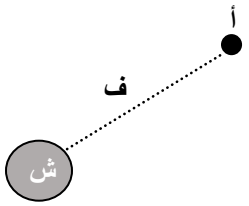


- جهد النقطة (ب) أقل من جهد النقطة (أ) .
  (جـ ب < جـ أ) , عند نقل شحنة من (ب الى أ) يلزم بذل شغل .
- جهد النقطة (أ) أقل من جهد النقطة (ب) .
  (جـ أ < جـ ب) , عند نقل شحنة من (ب الى أ) لا يلزم بذل شغل .
- بالابتعاد عن الشحنة الموجبة يقل الجهد الكهربائي , و بالاقتراب من الشحنة السالبة يقل الجهد الكهربائي .

الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

الجهد الكهربائي الناشئ عن شحنة نقطية (Electric Potential due to a Point Charge) .

- **الجهد الناشيء عن شحنة نقطية واحدة .**

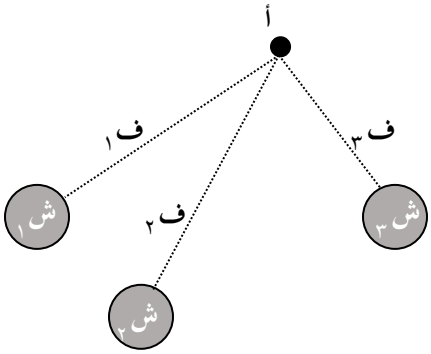


$$ج_{أ} = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{ش}{ف}$$

, حيث أن : ش : شحنة الجسم (كولوم).

ف : بعد النقطة المراد حساب الجهد عندها (متر).

- **الجهد الناشئ عن عدة شحنات نقطية .**



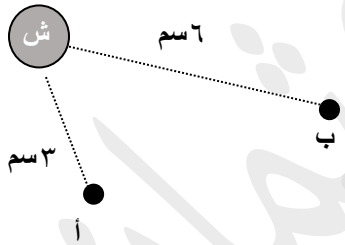
يكون الجهد في هذه الحالة عبارة عن المجموع الجبري للجهود عند تلك النقطة .

$$ج_{أ} = ٩ \times ١٠^{٩} \left(\frac{ش_{١}}{ف_{١}} + \frac{ش_{٢}}{ف_{٢}} + \frac{ش_{٣}}{ف_{٣}} \right)$$

ملاحظة : يتم تعويض الاشارة السالبة للشحنة لان الجهد كمية قياسية .

مثـــــال :

في الشكل المجاور اذا علمت أن الشحنة النقطية ش= − ٣ ميكروكولوم , جد مايلي :



- $ج_{أب}$
- الشغل المبذول لنقل الكترون من (ب) الى (أ) .

الحـــــل :

- $ج_{أب} = ج_{أ} - ج_{ب} = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{ش}{ف_{أ}} - ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{ش}{ف_{ب}}$

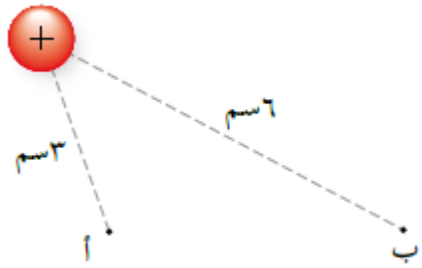
$$= ٩ \times ١٠^{٩} \left(\frac{ش}{ف_{أ}} - \frac{ش}{ف_{ب}} \right) = ٩ \times ١٠^{٩} \left(\frac{-٣ \times ١٠^{-٦}}{٣ \times ١٠^{-٢}} + \frac{٣ \times ١٠^{-٦}}{٦ \times ١٠^{-٢}} \right) = ٤.٥ \times ١٠^{٥} \text{ فولت .}$$

- **شغل** $_{ب \leftarrow أ}$ $= ش(ج_{أ} - ج_{ب}) = -١.٦ \times ١٠^{-١٩} (-٤.٥ \times ١٠^{٥}) = ٧.٢ \times ١٠^{-١٤}$ جول .

الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

مثال (٢-٣) كتاب صفحة ٣٧ :

يبين الشكل المجاور شحنة نقطية (ش=+٣) نانوكولوم , و نقطتان (أ) , (ب) تبعدان عن الشحنة مسافة (٣)سم و (٦) سم على الترتيب , جد :



١) فرق الجهد ($جـ_{أب}$) .

٢) فرق الجهد ($جـ_{أب}$) اذا كانت (ش = -٣) نانوكولوم .

الحـــــل :

١) لحساب الجهد عند نقطة نطبق العلاقة :

$$جـ = \frac{ش}{ف} \Leftarrow جـ_{أ} = ٩\times١٠^{٩}\frac{٣\times١٠^{-٩}}{٣\times١٠^{-٢}} = ٩٠٠ \text{ فولت .}$$

$$جـ_{ب} = ٩\times١٠^{٩}\frac{٣\times١٠^{-٩}}{٦\times١٠^{-٢}} = ٤٥٠ \text{ فولت .}$$

$$جـ_{أب} = جـ_{أ} - جـ_{ب} = ٩٠٠ - ٤٥٠ = +٤٥٠ \text{ فولت (أي أن } جـ_{أ} > جـ_{ب} \text{) .}$$

٢) اذا كانت الشحنة المولدة للمجال سالبة فان الجهد الكهربائي عند كل من النقطتين سالب :

$جـ_{أ} = -٩٠٠$ فولت , $جـ_{ب} = -٤٥٠$ فولت .

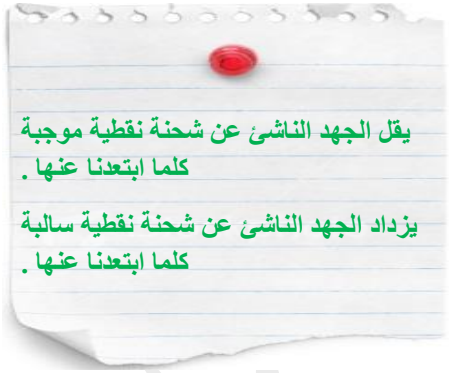
$جـ_{أب} = -٩٠٠ - (-٤٥٠) = -٤٥٠$ فولت . (أي أن $جـ_{أ} < جـ_{ب}$) .

مثال :

شحنة نقطية مقدارها ٦ ميكروكولوم موضوعة بالهواء , احسب الجهد الكهربائي عند نقطة تقع على بعد :

١) ٣سم عنها؟

٢) ٩سم عنها ؟



الحـــــل :

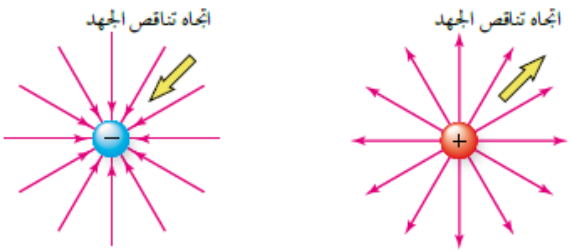
بالتعويض بقانون الجهد :

- $جـ = ٩\times١٠^{٩}\times\frac{ش}{ف} = ٩\times١٠^{٩}\times\frac{٦\times١٠^{-٦}}{٣} = ١٨\times١٠^{٣}$ فولت .
- $جـ = ٩\times١٠^{٩}\times\frac{ش}{ف} = ٩\times١٠^{٩}\times\frac{٦\times١٠^{-٦}}{٩} = ٦\times١٠^{٣}$ فولت .

ملاحظة :

اتجاه المجال الكهربائي يكون دائماً باتجاه تناقص الجهد الكهربائي ,

كما يوضح الشكل المجاور .



الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

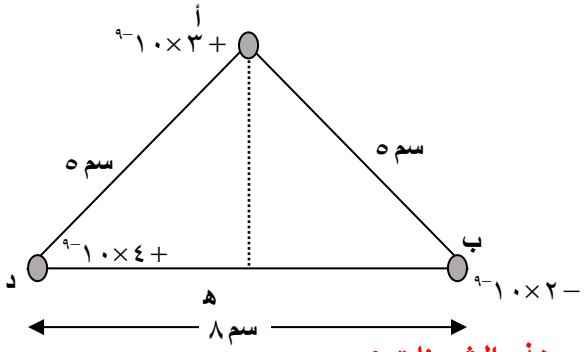
مثـــال :

في الشكل المجاور ثلاث شحنات نقطية مقاسة بالكولوم موضوعة بالهواء , بالاعتماد على البيانات المثبتة على الشكل , جد ما يلي :

١) الجهد الكهربائي عند النقطة (هـ) الواقعة في منتصف المسافة (ب,د)؟

٢) الشغل اللازم لنقل بروتون من المالانهاية الى النقطة (هـ) ؟

٣) طاقة الوضع الكهربائية للبروتون عند النقطة (هـ) ؟



الحـــل :

١) تتأثر النقطة (هـ) بثلاث شحنات و بالتالي نحسب الجهود الناشئة من هذه الشحنات :

$$جـ_{هـ} = ٩\times١٠^{٩}\left(\frac{ش_{أ}}{ف_{أهـ}} + \frac{ش_{ب}}{ف_{بهـ}} + \frac{ش_{د}}{ف_{دهـ}}\right) = ٩\times١٠^{٩}\left(\frac{٣\times١٠^{-٩}}{٣\times١٠^{-٢}} + \frac{-٢\times١٠^{-٩}}{٤\times١٠^{-٢}} + \frac{٤\times١٠^{-٩}}{٤\times١٠^{-٢}}\right) = ١٣٥٠ \text{ فولت}$$

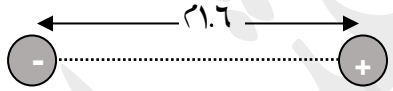
٢) شغل $_{هـ\leftarrow\infty}$ = ش $_{بروتون}$ $(جـ_{هـ} - \overset{صفر}{جـ_{\infty}}) = ١.٦\times١٠^{-١٩}\times١٣٥٠ = ٢.١٦\times١٠^{-١٦}$ جول .

٣) شغل $_{هـ\leftarrow\infty}$ = ط $_{وهـ}$ − $\overset{صفر}{ط_{و\infty}}$ ⇐ ش $_{هـ\leftarrow\infty}$ = ط $_{وهـ}$ = ٢.١٦×١٠^{-١٦} جول .

مثـــال :

شحنتان نقطيتان مقدار كل منهما (٢ ميكروكولوم) كما في الشكل المجاور .

أوجد الجهد الناشئ عن الشحنتين عند نقطة المنتصف ؟



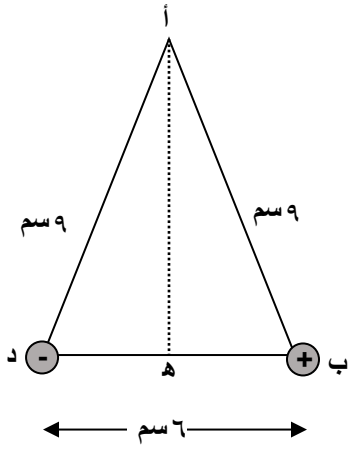
الحـــل :

$$جـ_{١} = ٩\times١٠^{٩}\left(\frac{ش_{١}}{ف_{١}} + \frac{ش_{٢}}{ف_{٢}}\right) = ٩\times١٠^{٩}\left(\frac{٢\times١٠^{-٦}}{٠.٨} + \frac{-٢\times١٠^{-٦}}{٠.٨}\right) = \text{صفر} .$$

ملاحظـــة : عندما يكون جهد نقطة يساوي صفر , هذا لا يعني عدم وجود شحنات كهربائية حول النقطة و انما يعني وجود شحنات موجبة (ينشأ منها جهد موجب) و سالبة(ينشأ منها جهد سالب) و يكون مجموع جهدها يساوي صفر عند تلك النقطة .

الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

مثـــال :



(أ , ب , د) مثلث متساوي الساقين فيه أ ب = أ د = ٩ سم , ب د = ٦ سم , وضعت شحنتان

$(٦ ، -٤) \times ١٠^{-١١}$ كولوم عند الرأسين (ب , د) بالترتيب, احسب :

١) طاقة الوضع المخزنة في شحنة (٦×١٠^{-٦}) كولوم توضع عند الرأس (أ)؟

٢) الشغل المبذول لنقل شحنة (٥×١٠^{-٦}) كولوم من الرأس (أ) الى النقطة(هـ) التي تقع في منتصف المسافة (ب , د) ؟

٣) الشغل المبذول لنقل شحنة الرأس (ب) الى الرأس(أ)؟

الحـــل :

١) $ط_{و_أ} = ش جـ_أ = ٦ \times ١٠^{-٦} \left(٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{٦ \times ١٠^{-١١}}{٩ \times ١٠^{-٢}} + ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{-٤ \times ١٠^{-١١}}{٩ \times ١٠^{-٢}} \right)$

$= ٦ \times ١٠^{-٦} (٦ - ٤) = ١٢ \times ١٠^{-٦}$ جول

٢) شغل $_{أ \leftarrow هـ}$ = ش منقولة $(جـ_{هـ} - جـ_أ)$ (نجد $جـ_{هـ}$ من الشحنة ش ب , ش د)

$جـ_{هـ} = ٩ \times ١٠^{٩} \left(\frac{ش_ب}{ف_{بهـ}} + \frac{ش_د}{ف_{هـد}} \right) = ٩ \times ١٠^{٩} \left(\frac{٦ \times ١٠^{-١١}}{٣ \times ١٠^{-٢}} + \frac{-٤ \times ١٠^{-١١}}{٣ \times ١٠^{-٢}} \right) = ٦$ فولت .

شغل $_{أ \leftarrow هـ} = ٥ \times ١٠^{-٦} (٦ - ٢) = ٢٠ \times ١٠^{-٦}$ جول .

٣) جهد النقطتان (أ , ب) ناتج عن شحنة الرأس (د).

$جـ_أ = ٩ \times ١٠^{٩} \left(\frac{-٤ \times ١٠^{-١١}}{٩ \times ١٠^{-٢}} \right) = -٤$ فولت . $جـ_ب = ٩ \times ١٠^{٩} \left(\frac{-٤ \times ١٠^{-١١}}{٦ \times ١٠^{-٢}} \right) = -٦$ فولت .

شغل $_{ب \leftarrow أ}$ = ش منقولة $(جـ_أ - جـ_ب) = ٦ \times ١٠^{-١١} (-٤ + ٦) = ١٢ \times ١٠^{-١١}$ جول .

ملاحظـــة: الشحنة المنقولة لا تدخل في حساب الجهد , فتأثير الجهد يكون واقع عليها لا ناتج منها .

ســـؤال :

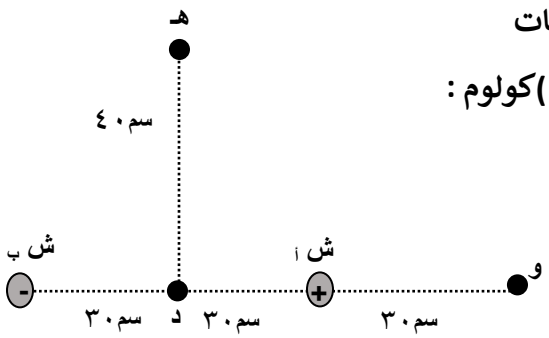
يطلق على خط المجال الكهربائي (ممال الجهد) , علل ؟

لانه اثناء حركتنا مع خط المجال الكهربائي يقل الجهد .

الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

سؤال (٨) :

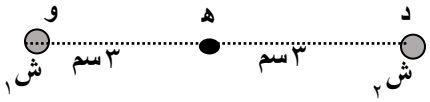
يبين الشكل شحنتين نقطيتين (أ , ب) موضوعتين في الهواء , بالاعتماد على البيانات المثبتة على الشكل أوجد ما يأتي علماً بأن (ش أ = ٢ × ١٠^-٨ , ش ب = – ٢ × ١٠^-٨)كولوم :



- القوة المتبادلة بين الشحنتين ؟
- محصلة المجال عند النقطة (د) ؟
- فرق الجهد الكهربائي بين النقطتين (و ,هـ) ؟
- طاقة الوضع المختزنة في الشحنة (ش أ) ؟
- الشغل اللازم لنقل الشحنة (أ) من موضعها الى النقطة (هـ)؟

سؤال (٩) :

الشكل يمثل ثلاث نقاط (د , هـ , و) على استقامة واحدة , عند النقطة (و) وضعت شحنة مقدارها (– ٦ × ١٠^-٦ كولوم) , اذا كانت طاقة الوضع الكهربائية المختزنة فيها (– ٥.٤ جول) , جد كلاً مما يلي :



- مقدار الشحنة الكهربائية الموضوعة عند النقطة(د) ؟
- محصلة المجال الكهربائي عند النقطة(هـ)؟
- التغير في طاقة الوضع الكهربائية عند انتقال (ش١) من موضعها الى النقطة (هـ)؟

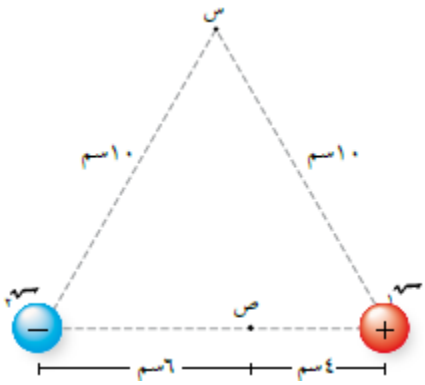
سؤال (١٠) :

شحنتان نقطيتان مقدارهما (٩ميكروكولوم , – ٣ ميكروكولوم) المسافة بينهما ٣م , احسب :

- المجال الكهربائي عند نقطة تقع في منتصف المسافة بينهما ؟
- القوة المؤثرة في شحنة مقدارها(– ٣ ميكروكولوم)موضوعة في منتصف المسافة بينهما ؟
- حدد موقع نقطة التعادل الكهربائي ؟
- الجهد الكهربائي عند نقطة التعادل الكهربائي ؟
- طاقة الوضع المختزنة في شحنة مقدارها(٤ ميكروكولوم) موضوعة عند نقطة التعادل الكهربائي ؟

مثال (٢-٤) كتاب صفحة ٣٩ :

يبين الشكل المجاور شحنتين نقطيتين موضوعتين في الهواء ($ش_١$=٤ , $ش_٢$=-٤) ميكروكولوم , معتمداً على البيانات المثبته في الشكل احسب جهد كل من النقطتين (س) , (ص) .



الحـــــل :

$جـ_س = جـ_١ + جـ_٢$

$جـ_س = ك \times (\frac{ش_١}{ف_١} + \frac{ش_٢}{ف_٢})$

$جـ_س = ٩ \times ١٠^{٩} (\frac{٤ \times ١٠^{-٦}}{١٠ \times ١٠^{-٢}} + \frac{-٤ \times ١٠^{-٦}}{١٠ \times ١٠^{-٢}}) = ٠$

وهذا يعني أن طاقة الوضع الكهربائية لوحدة الشحنات عند النقطة (س) تساوي صفراً , فلا يلزم بذل شغل لنقل شحنة من اللانهاية (∞) الى النقطة (س) .

$جـ_ص = جـ_١ + جـ_٢$

$جـ_ص = ك \times (\frac{ش_١}{ف_١} + \frac{ش_٢}{ف_٢})$

$جـ_ص = ٩ \times ١٠^{٩} (\frac{٤ \times ١٠^{-٦}}{٤ \times ١٠^{-٢}} + \frac{-٤ \times ١٠^{-٦}}{٦ \times ١٠^{-٢}})$

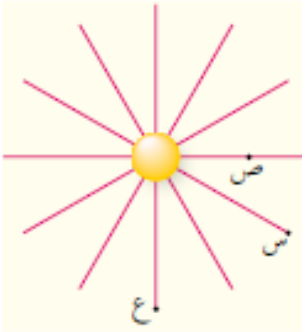
$جـ_ص = ٩ \times ١٠^{٩} \times ١٠^{-٦} \times ١٠^{٢} (١ - \frac{٢}{٣})$

$جـ_ص = ٣ \times ١٠^{٥}$ فولت

الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

حل أسئلة المراجعة (٢-٢) صفحة ٤٠ :

١) يبين الشكل ثلاث نقاط (س ,ص , ع) تقع ضمن المجال الكهربائي لشحنة نقطية , بعد النقطة (س) عن الشحنة يساوي بعد النقطة (ع) , و (جـ س ص = ٣ فولت) , أجب عما يأتي :



أ) أي النقطتين (س,ص) يكون الجهد عندها أعلى ؟

جـ س – جـ ص = ٣ فولت , أي أن جـ س > جـ ص .

ب) ما نوع الشحنة المولدة للمجال الكهربائي ؟

الشحنة المولدة للمجال سالبة .

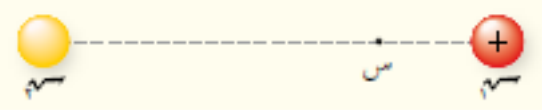
جـ) حدد اتجاه المجال الكهربائي .

اتجاه المجال الكهربائي باتجاه الشحنة .

د) قارن بين (جـ س ص) و (جـ ص ع) .

جـ س = جـ ع , لأن لهما البعد نفسه عن الشحنة . (جـ س – جـ ص) = - (جـ ص – جـ ع) .

٢) يبين الشكل المجاور نقطة (س) تقع على الخط الواصل بين شحنتين نقطيتين , اذا كانت (ش١) موجبة و (جـ س = صفر) , فأجب عما يأتي :



أ) ما نوع الشحنة (ش٢) ؟

شحنة سالبة .

ب) أيهما أكبر مقداراً (ش١) أم (ش٢) ؟

كي يكون جـ س = صفر يكون جـ ١ = - جـ ٢

$$\frac{ش_١}{ف_١} = -\frac{ش_٢}{ف_٢}$$

بما أن النقطة أقرب الى (ش١) اذاً ف١< ف٢ , و منها ش١ < ش٢

الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

طاقة الوضع الكهربائية لنظام يتألف من شحنتين نقطيتين

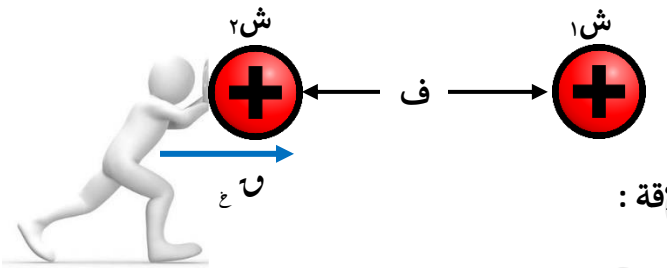
(The Electric Potential Energy of a System of Two Point Charges) .

عند وضع شحنة في مجال كهربائي خارجي فأنهما يشكلان نظاماً , و تمكنا من حساب طاقة الوضع الكهربائية للشحنة سابقاً .

يمكن حساب طاقة الوضع الكهربائية لأي نظام يتألف من مجموعة من الشحنات و ستقتصر دراستنا على النظام المكون من شحنتين فقط .

يتكون النظام من شحنتين نقطيتين بعيدتان جداً عن بعضهما , بحيث يتم نقلهما من المالانهاية الى منطقة يكون البعد بين هاتين الشحنتين هو (ف) .

يبين الشكل المجاور هذا النظام بحيث جلبت الشحنة (ش١) من المالانهاية بدون بذل شغل , لأنه لا يوجد مجال كهربائي يؤثر عليها , أما نقل الشحنة (ش٢) تطلب بذل شغل , بسبب وجود مجال كهربائي يؤثر عليها و ناتج من (ش١) , و يحسب هذا الشغل من العلاقة :



الشغل خ = ش المنقولة (جـ نهاية – جـ بداية)

الشغل خ∞←النقطة = ش٢ (جـ النقطة – جـ ∞) = ش٢ جـ

حيث (جـ) : جهد النقطة في مجال الشحنة (ش١) و يحسب من العلاقة :

$$جـ = أ \frac{ش_١}{ف}$$

لذا فان الشغل في هذه الحالة : الشغل خ = $أ \frac{ش_١}{ف} ش_٢$

و يمثل الشغل في هذه الحالة طاقة الوضع الكهربائية المنقولة الى النظام .

في هذه الحالة طاقة الوضع الكهربائية لنظام يتألف من شحنتين موضوعتين في الهواء و تفصل بينهما مسافة (ف) يعطى بالعلاقة :

$$ط_و = أ \frac{ش_١}{ف} ش_٢$$

الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

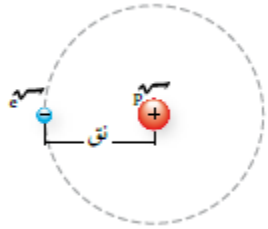
ملاحظة :

- اذا كانت الشحنتين متشابهتين في النوع فان طاقة الوضع الكهربائية للنظام تكون **موجبة** , لماذا ؟؟
لأنه من أجل تقريب الشحنتين من بعضهما لمسافة (ف) بسرعة ثابتة يلزم التأثير بقوة خارجية في أحدهما , فيبذل شغلاً للتغلب على قوة التنافر الكهربائية و يكون على شكل زيادة في طاقة الوضع الكهربائية .

- اذا كانت الشحنتين مختلفتين في النوع فان طاقة الوضع الكهربائية للنظام تكون **سالبة** , لماذا ؟؟
لأنه من أجل تقريب الشحنتين من بعضهما لمسافة (ف) بسرعة ثابتة , يتطلب التأثير بقوة خارجية في أحدهما بعكس اتجاه قوة التجاذب الكهربائية , فتبذل القوة الخارجية شغلاً يسحب طاقة من النظام .

مثال (٢-٥) كتاب صفحة ٤٢ :

يفصل بين الالكترون و البروتون في ذرة الهيدروجين مسافة (٥.٢٩×١٠^{-١١})م تقريباً . كما في الشكل المجاور , احسب طاقة الوضع الكهربائية لذرة الهيدروجين .



الحـــــــل :

نطبق العلاقة $ط_و = ك \frac{ش_١ ش_٢}{ف}$

بما أن شحنة الالكترون تساوي شحنة البروتون , فانه يمكن التعبير عن طاقة الوضع , بما يأتي :

$$ط_و = -ك \frac{ش_E^{٢}}{ف}$$

$$ط_و = -٩ \times ١٠^{٩} \frac{(١.٦ \times ١٠^{-١٩})^{٢}}{٥.٢٩ \times ١٠^{-١١}} = ط_و = -٤.٣٦ \times ١٠^{-١٨}$$ جول .

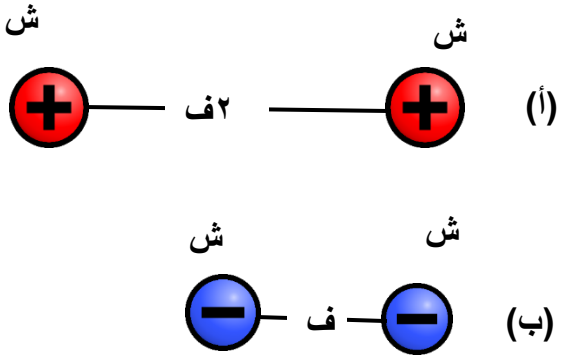
الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

مراجعة (٢-٣) كتاب صفحة ٤٢ :

١) نظام يتألف من شحنتين نقطيتين سالبتين طاقة وضعه الكهربائية موجبة , فما تفسير ذلك ؟

لوضع شحنتان متشابهتان في الاشارة على بعد (ف) من بعضهما فان ذلك يتطلب التأثير بقوة خارجية للتغلب على قوة التنافر الكهربائية و ستبذل القوة الخارجية شغلاً يظهر على شكل زيادة في طاقة الوضع الكهربائية للنظام لذلك تكون اشارة طاقة الوضع الكهربائية موجبة .

٢) معتمداً على البيانات المثبته في الشكل و الذي يبين نظامين للشحنات (أ,ب) , قارن بين مقدار طاقة الوضع الكهربائية المختزنة في كل نظام .



$$ط_{و} = ك \frac{ش_{١}\, ش_{٢}}{ف}$$

$$ط_{وأ} = ك \frac{ش^{٢}}{٢ف}$$

$$ط_{وب} = ك \frac{ش^{٢}}{ف}$$

$$ط_{وأ} = \frac{١}{٢}\, ط_{وب}$$

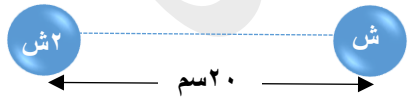
سؤال (١١) :

نقل الكترون من المالانهاية ووضع على مسافة (٩×١٠^{-٥}) م , من شحنة نقطية موجبة مقدارها (٢×١٠^{-٦}) كولوم . جد كل مما يلي :

١) طاقة وضع النظام (الكترون – شحنة موجبة) .
٢) جهد النقطة التي نقل اليها الالكترون .
٣) الشغل الذي بذل لنقل الالكترون من المالانهاية الى النقطة .
٤) أي الجهدين أكبر , جهد الشحنة الموجبة أو جهد الالكترون .
٥) علل , طاقة الوضع الكهربائية للألكترون سالبة ؟

سؤال (١٢) :

شحنتان نقطيتان متماثلتان في النوع موضوعتان في الهواء , المسافة بينهما (٢٠سم) كما في الشكل , اذا كانت طاقة الوضع الكهربائية المختزنة في النظام المكون منهما (٤×١٠^{-٤}) جول , فاحسب :



١) مقدار كل من الشحنتين .
٢) الشغل الذي تبذله القوة الكهربائية لنقل الشحنة (ش) من موقعها الى اللانهاية .

الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

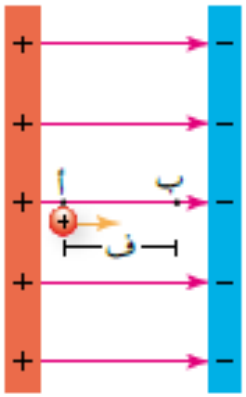
فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين في مجال كهربائي منتظم (Electric Potential Difference in a Uniform Electric Field) .

في هذا الدرس سندرس حساب فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين في مجال كهربائي منتظم (أي مجال كهربائي ناشئ عن صفيحتين متوازيتين تحملان شحنتان مختلفتان) .

سؤال : يهمل المجال الكهربائي الناشئ على أطراف الصفيحتين ؟

لأنه يكون مجال كهربائي غير منتظم .

يبين الشكل المجاور شحنة موجبة وضعت ضمن مجال كهربائي منتظم (م) فتحركت بفعل القوة الكهربائية ($\vec{ق}_{ك}$) , و قطعت ازاحة (ف) من النقطة (ا) الى النقطة (ب) , و بالتالي تبذل القوة الكهربائية شغلاً :



الشغل$_{ك\ أ\leftarrow ب}$ = $\vec{ق}_{ك}$. $\vec{ف}_{أ\leftarrow ب}$

الزاوية المحصورة بين (م) و (ف)

بالتعويض ($\vec{ق}_{ك}$ = م ش$_{\circ}$) فإن : الشغل$_{ك\ أ\leftarrow ب}$ = ش$_{\circ}$ (م . $\vec{ف}_{أ\leftarrow ب}$)

الشغل$_{ك\ أ\leftarrow ب}$ = ش$_{\circ}$ م ف$_{أ\leftarrow ب}$ جتاθ

و يمكن التعبير عن الشغل الذي بذلته القوة الكهربائية , كالآتي :

الشغل$_{ك\ أ\leftarrow ب}$ = −ش$_{\circ}$ (ج$_{ب}$ − ج$_{أ}$)

أي أن : − ش$_{\circ}$ (ج$_{ب}$ − ج$_{أ}$) = ش$_{\circ}$ م ف$_{أ\leftarrow ب}$ جتاθ

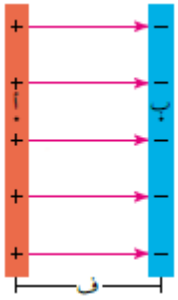
− (ج$_{ب}$ − ج$_{أ}$) = م ف$_{أ\leftarrow ب}$ جتاθ

أي أن :

$$ج_{أب} = م\ ف_{أ\leftarrow ب}\ جتا\theta$$

$$٠ \le \theta \le ١٨٠^{\circ}$$

و يمكن حساب فرق الجهد الكهربائي بين صفيحتين من خلال فرض النقطتين (ا) (ب) نقاط تقع كل منها على صفيحة , و الإزاحة بينهما (ف) , من خلال العلاقة :



ج$_{أب}$ = م ف$_{أ\leftarrow ب}$ جتاθ

ج = م ف

يعتبر المجال الكهربائي (م = $\frac{ج}{ف}$) مقياس للتغير في الجهد مع تغير الموقع .

الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

لحل سؤال على الجهد الكهربائي في مجال كهربائي منتظم نتبع ما يلي :

- التأكد من السؤال أن المنطقة المراد حساب المجال بها هي منطقة مجال كهربائي منتظم .
- تحديد النقطتين المراد حساب فرق الجهد بينهما .
- كتابة العلاقة التالية (على فرض أن السؤال طلب $جـ_{اب}$)

$$جـ_{اب} = م \; ف_{اب} \; جتا\theta_{اب}$$

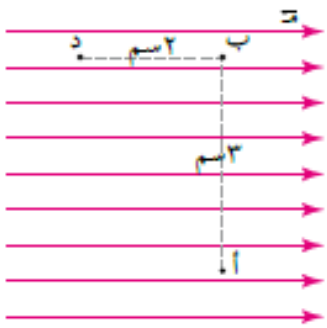
- الانتباه الى الزاوية : فاذا كان التحرك من النقطة أ الى النقطة ب مع اتجاه المجال تكون موجبة و العكس صحيح .
- اذا طلب السؤال الشغل اللازم لنقل شحنة (أو التغير في طاقة الوضع الكهربائية) من النقطة أ الى النقطة ب فاننا نقوم بحساب $جـ_{بأ}$ ثم نقوم بضرب الناتج بالشحنة المراد نقلها حسب العلاقة التالية :

$$الشغل_{أ \leftarrow ب} = ش_{المنقولة} \; جـ_{اب}$$

- تعويض اشارة الشحنة السالبة (لأن الجهد كمية قياسية) و أخيراً تثبيت وحدات القياس .
- <u>فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين لا يعتمد على المسار المأخوذ .</u>

مثال (٦-٢) كتاب صفحة ٤٤ :

يبين الشكل ثلاث نقاط (أ , ب , د) ضمن مجال كهربائي منتظم مقداره ($١٠^{٣}$) نيوتن /كولوم , معتمداً على الشكل , احسب : ($جـ_{بد}$) , ($جـ_{اب}$) .



الحل :

١) لحساب ($جـ_{بد}$) نطبق العلاقة :

$جـ_{بد} = م \; ف_{ب \leftarrow د} \; جتا\theta$, و يبين الشكل اتجاه الإزاحة من (ب) إلى (د) , و الزاوية بين اتجاهي الإزاحة و المجال الكهربائي المنتظم ($\theta = ١٨٠^{\circ}$) .

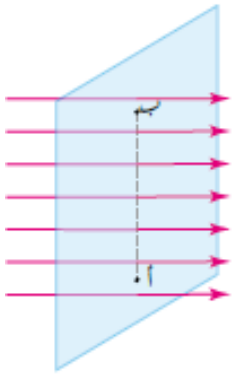
$جـ_{بد} = ١٠^{٣} \times ٢ \times ١٠^{-٢} \times جتا١٨٠^{\circ} = -٢٠$ فولت .

٢) $جـ_{اب} = م \; ف_{أ \leftarrow ب} \; جتا\theta$

$جـ_{اب} = ١٠^{٣} \times ٣ \times ١٠^{-٢} \times جتا٩٠^{\circ} = ٠$

$جـ_{أ} - جـ_{ب} = ٠$ أي أن $جـ_{أ} = جـ_{ب}$

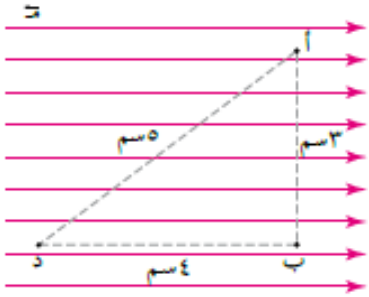
النقاط جميعها الواقعة على الخط الواصل بين النقطتين (أ) و (ب) متساوية في الجهد , و يسمى السطح الذي تقع عليه هذه النقاط <u>سطح تساوي جهد</u> , لاحظ الشكل المجاور .



الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

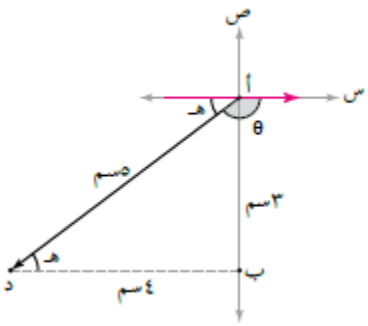
مثال (٢-٧) كتاب صفحة ٤٥ :

يبين الشكل المجاور ثلاث نقاط (أ,ب,د) في مجال كهربائي منتظم مقداره(٢×١٠^{٢}) نيوتن/كولوم , معتمداً على البيانات المثبته في الشكل احسب ($جـ_{اد}$) في الحالتين :



١) عبر المسار (أ ← د) .
٢) عبر المسار (أ ← ب ← د) .

الحل :



١) لحساب فرق الجهد الكهربائي بين النقطتين (أ , د) عبر المسار أ ← د

نحتاج الى تحديد الزاوية(θ) كما في الشكل المجاور , حيث $جتا\theta = -جتاهـ = -\frac{٤}{٥}$

$جـ_{اد} = مـ ف_{اد} جتا\theta = -٢ \times ١٠^{٢} \times ٥ \times ١٠^{-٢} \times \frac{٤}{٥} = -٨$ فولت .

٢) لحساب فرق الجهد الكهربائي بين النقطتين (أ,د) عبر المسار أ ← ب ← د :

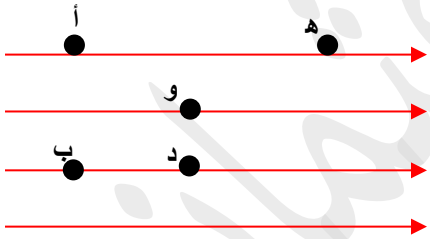
$جـ_{اد} = جـ_{اب} + جـ_{بد}$

$جـ_{اد} = مـ ف_{اب} جتا٠ ٩٠^{\circ} + مـ ف_{بد} جتا١٨٠^{\circ}$

$= ٢ \times ١٠^{٢} \times ٣ \times ١٠^{-٢} \times ٠ + ٢ \times ١٠^{٢} \times ٤ \times ١٠^{-٣} \times -١ = -٨$ فولت .

نستنتج مما سبق أن فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين في مجال كهربائي منتظم ثابت ولا يعتمد على المسار , و هذا يعود الى أن القوة الكهربائية محافظة , و شغلها لا يعتمد على المسار .

مثـــال :



اذا كانت (أ , ب , هـ , و) نقاط في مجال كهربائي منتظم كما في الشكل المجاور , فان النقطتين اللتين لهما فرق جهد يساوي فرق الجهد بين النقطتين (أ , ب) هما :

١ – (أ،هـ) ٢ – (د،و) ٣ – (أ،و) ٤ – (هـ،ب)

سـؤال :

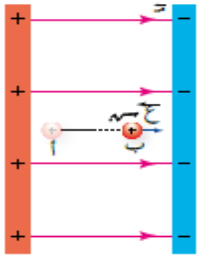
من خلال العلاقة بين المجال و الجهد عندما يكون المجال منتظماً , أثبت أن وحدة قياس المجال (نيوتن / كولوم) تكافىء (فولت /م) ؟

- وحدة المجال = $\frac{فولت}{متر} = \frac{جول/كولوم}{متر} = \frac{جول}{كولوم.متر} = \frac{نيوتن.\cancel{متر}}{كولوم.\cancel{متر}} = \frac{نيوتن}{كولوم}$
- أو : $\frac{نيوتن}{كولوم} \times \frac{م}{م} = \frac{جول}{كولوم \times م} = \frac{فولت}{م}$

الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

مثال (٢-٨)كتاب صفحة ٤٦ :

يتحرك بروتون شحنته ($ش_{\circ}$) و كتلته (ك) من السكون من النقطة (أ) عند الصفيحة الموجبة الى النقطة (ب) عند الصفيحة السالبة في الحيز بين صفيحتين كما في الشكل المجاور , اذا كان فرق الجهد (جـ) بين النقطتين (أ,ب) , فأثبت أن سرعة البروتون بعد قطعه الإزاحة بين الصفيحتين تعطى بالعلاقة الآتية :



$$ع = \sqrt{\frac{٢ش_{\circ} جـ}{ك}}$$

الحل :

يتحرك البروتون تحت تأثير القوة الكهربائية , و يحسب (الشغل$_{ك}$) من العلاقة الشغل $_{أ\leftarrow ب} = -ش_{\circ}\left(جـ_{ب} - جـ_{أ}\right)$

بما أن النظام محافظ فإن : الشغل$_{ب} = \Delta ط_{ع} = ط_{ع_{ب}} - ط_{ع_{أ}}$

لأن البروتون تحرك من السكون فإن : $-ش_{\circ}\left(جـ_{ب} - جـ_{أ}\right) = ط_{ع_{ب}} - ٠$

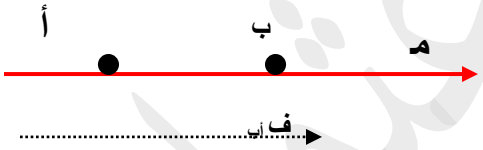
و بتعويض $\left(ط_{ع} = \frac{١}{٢} ك ع^{٢}\right)$ و بإعادة ترتيب الحدود :

$$ش_{\circ}\left(جـ_{أ} - جـ_{ب}\right) = \frac{١}{٢} ك ع_{ب}^{٢}$$

$$\frac{٢ش_{\circ} جـ_{أب}}{ك} = ع^{٢} \Leftarrow ع = \sqrt{\frac{٢ش_{\circ} جـ}{ك}}$$

يمكن من خلال هذه العلاقة حساب سرعة الجسيمات الذرية المتحركة عبر فرق جهد كهربائي عالٍ , حيث تتحرك هذه الجسيمات بسرعة كبيرة يصعب قياسها عملياً .

ملاحظـــــــــــــــــات :



اذا كانت (أ , ب) نقطتان تقعان على أحد خطوط المجال

$جـ_{أب} = م ف_{أب} جتا\theta$ (حيث θ = صفر) $\Leftarrow جـ_{أب} = م ف_{أب}$

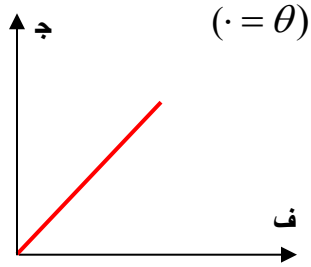
$جـ_{ب أ} = م ف_{ب أ} جتا\theta$ (حيث $\theta = ١٨٠^{\circ}$) $\Leftarrow جـ_{ب أ} = - م ف_{ب أ}$

لاحظ أن : $جـ_{أب} = -جـ_{ب أ}$

$\Leftarrow جـ_{أب}$ (موجب) $\Leftarrow جـ_{أ} > جـ_{ب} \Leftarrow$ أي أن الجهد يقل كلما تحركنا مع اتجاه المجال الكهربائي .

الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

- اذا مثلت العلاقة بين فرق الجهد و الازاحة بين نقطتين على امتداد أحد خطوط المجال $(\theta = ٠)$



فان العلاقة خطية (ميلها = م (المجال)) ميل الخط = $\frac{\Delta جـ}{\Delta ف}$ = م

من العلاقة :

$جـ_{اب}$ = م ف $_{اب}$ جتاθ ⟸ م = $\frac{جـ_{اب}}{ف\ جتا\theta}$ ⟸ نجد وحدة المجال (فولت/متر)

- يكون المجال الكهربائي بين اللوحين منتظم (ثابت) .

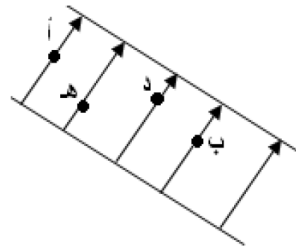
ملاحـــظة :

أي نقطتين الخط الواصل بينهما متعامد مع خطوط المجال يكون لهما نفس الجهد و بالتالي فان فرق الجهد بينهما = صفر .

فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين في مجال كهربائي منتظم لا يعتمد على المسار المتبع .

مثـــال :

بالاعتماد على الشكل التالي ما هما النقطتان المتساويتان في طاقة الوضع ؟



الحل : النقطتان (ا , ب) لان لهما نفس قيم الجهد .

ســـؤال وزارة(٢٠٠٣) :

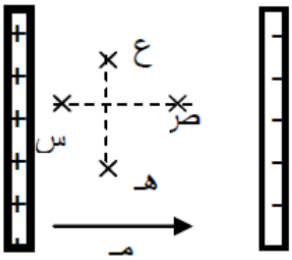
في الشكل المجاور لا تتغير طاقة الوضع الكهربائية للجسم المشحون عند انتقاله في المجال الكهربائي بين النقطتين :

أ- (ع, س)

ب- (ص , س)

ج- (ع , هـ)

د- (ص , هـ)

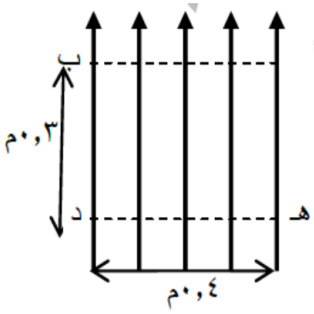


ســـؤال وزارة (٢٠٠٥) :

يمثل الشكل المجاور مجالاً كهربائياً منتظماً مقداره($١٠^{٣}$) فولت/م , اعتماداً عل القيم المثبته عليه , احسب:

أ- $جـ_{اهـ}$ ؟ ب- الشغل اللازم لنقل شحنة مقدارها(+١ ميكروكولوم)من النقطة (هـ) الى النقطة (ب) ؟

الحـــل :



- $جـ_{اهـ}$ = م × ف × جتاθ = $١٠^{٣}$ × ٠.٣ ×جتا١٨٠ = −٣٠٠ فولت .
- الشغل $_{هـ←ب}$ = $جـ_{بهـ}$ × ش $_{منقولة}$

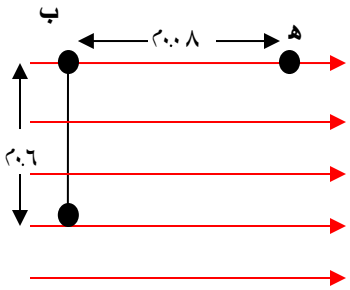
$جـ_{بهـ}$ = $جـ_{بد}$ + $جـ_{دهـ}$ = ($١٠^{٣}$ × ٠.٣ ×جتا١٨٠) + (م × ف × جتا٩٠) = −٣٠٠ فولت

الشغل $_{هـ←ب}$ = −٣٠٠ × ١ × $١٠^{-٦}$ = −٣ × $١٠^{-٤}$ جول .

الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

ســـؤال وزارة (٢٠٠٨) شتوي :

يمثل الشكل مجالاً كهربائياً منتظماً مقداره $(١٠^{٤})$ فولت /م , (أ , ب , هـ) نقاط واقعة داخله , اعتماداً على الابعاد المبينة بالشكل :



أ) احسب الشغل المبذول لنقل شحنة مقدارها (١×١٠^{-٩}) كولوم من هـ الى أ بسرعة ثابتة .

ب) حدد نقطتان على الشكل فرق الجهد بينهما يساوي صفراً , فسر ذلك .

الحــل :

- الشغل = ش Δ جـ

الشغل $_{هـ \leftarrow أ}$ = (م × ف اهـ × جتاθ)

$$= (١ \times ١٠^{-٩})(١ \times ١٠^{٤} \times ٠.١) \times \frac{٠.٠٨}{٠.١} = +٨ \times ١٠^{-٧}$$ جول .

- (أ , ب) , لانهما واقعتان على سطح تساوي الجهد .

ســـؤال وزارة(٢٠١٠) صيفي :

ثبت لوحان فلزيان مشحونان متوازيان قبالة بعضهما البعض داخل أنبوب مفرغ من الهواء و على بعد (٢×١٠^{-٢})م من بعضهما , فتولد بينهما مجالاً كهربائياً قدره (٣×١٠^{٥}) فولت /م , احسب :

أ) فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين .

ب) مقدار القوة المؤثرة في شحنة نقطية مقدارها (-١×١٠^{-٦}) كولوم وضعت بين اللوحين .

ج) الشغل الذي يبذله المجال في نقل شحنة مقدارها (-١×١٠^{-٦}) كولوم من اللوح السالب الى اللوح الموجب .

الحــل :

- جـ = م ف جتاθ $= ٣ \times ١٠^{٥} \times (٢ \times ١٠^{-٢}) \times ١ = ٦ \times ١٠^{٣}$ فولت .
- ق = م × ش $= ٣ \times ١٠^{٥} \times (١ \times ١٠^{-٦}) = ٠.٣$ نيوتن .
- الشغل = ش × Δجـ

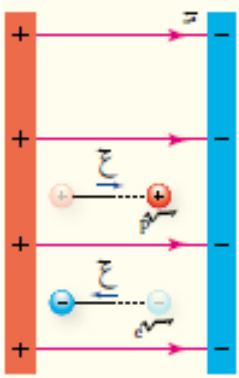
$$= (-١ \times ١٠^{-٦}) \times (٦ \times ١٠^{٣}) = -٦ \times ١٠^{-٣}$$ جول .

الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

مراجعة (٢-٤) كتاب صفحة ٤٧ :

١) يقاس المجال الكهربائي بوحدة (نيوتن/كولوم) و تبين المعادلة (م= $\frac{ج}{ف}$) أن وحدة قياس المجال الكهربائي (فولت/م) , أثبت أن الوحدتين متكافئتان . (الحل صفحة ٢٠) .

٢) تحرك الكترون و بروتون من السكون داخل مجال كهربائي منتظم باتجاهين متعاكسين كما هو مبين في الشكل , فقطع كل منهما الإزاحة نفسها , اذا علمت أن كتلة الإلكترون تعادل $\frac{١}{١٨٤٠}$ من كتلة البروتون تقريباً ,



فقارن بين كل مما يأتي في نهاية الإزاحة :

أ) سرعة الإلكترون و سرعة البروتون .

من العلاقة ع = $\sqrt{\frac{٢ش_{\circ} ج}{ك}}$ ⟸ ك$_{e}$ < ك$_{p}$ (يعني أن سرعة الإلكترون أكبر) .

ب) بما أنهما تحركا عبر فرق الجهد نفسه و لهما الشحنة نفسها فإن الطاقة الحركية لهما متساوية

سؤال (١٣) :

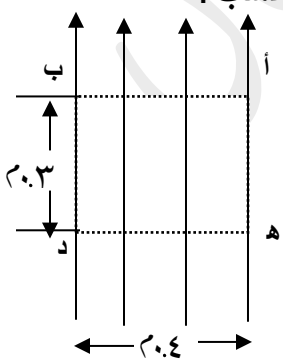
تحرك بروتون شحنته ١.٦×١٠$^{-١٩}$ كولوم و كتلته ١.٦٧×١٠$^{-٢٧}$ كغ ,من السكون من النقطة (أ) عند اللوح الموجب الى النقطة (ب) عند اللوح السالب في الحيز بين لوحين متوازيين مشحونيين بشحنتين مختلفتين تفصل بينهما مسافة ٤ سم , اذا كان المجال الكهربائي بين اللوحين ٦٢٥ نيوتن/كولوم , احسب :

- فرق الجهد الكهربائي بين النقطتين .
- التغير في طاقة وضع البروتون عند انتقاله بين اللوحين.
- سرعة البروتون بعد قطعه هذه الازاحة .

الحل بالترتيب (ج$_{أب}$ = ٢٥ فولت , Δط$_{أ←ب}$ = −٤×١٠$^{-١٨}$ جول , ع$_{ب}$ = ٦.٩×١٠^{٤}م/ث)

سؤال (١٤) :

يمثل الشكل المجاور مجالاً كهربائياً منتظماً مقداره ١٠^{٣} فولت /م , اعتماداً على القيم المثبته عليه احسب :



- فرق الجهد الكهربائي بين النقطتين (أ) و (د) .
- الشغل اللازم لنقل شحنة مقدارها (+١) ميكروكولوم من النقطة(هـ) الى النقطة (ب).

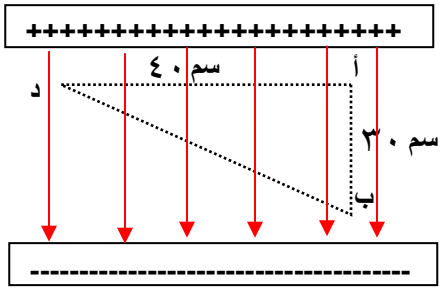
الحل بالترتيب (ج$_{أد}$ = −٣٠٠ فولت , الشغل هـ$_{هـ←ب}$ = ٣٠٠×١٠$^{-٦}$ جول)

الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

سؤال (١٥) :

يمثل الشكل المجاور لوحان معدنيان متوازيان , فرق الجهد بينهما $١٠^{٣}$ فولت و المسافة بينهما ٠.٥م في الهواء

وضعت شحنة كهربائية سالبة مقدارها ١×١٠^{-٦} كولوم في النقطة (د) , احسب :



- القوة الكهربائية المؤثرة في الشحنة عند النقطة (د) .
- الشغل اللازم لنقل الشحنة من (د) الى (ب) .
- ما النقطتان اللتان يكون عندهما الجهد الكهربائي متساوياً .

الحل بالترتيب ($ق = ٢ \times ١٠^{-٣}$ نيوتن , الشغل $ش_{د \leftarrow ب} = ٦٠٠ \times ١٠^{-٦}$ جول , $جـ_{أ} = جـ_{ب}$)

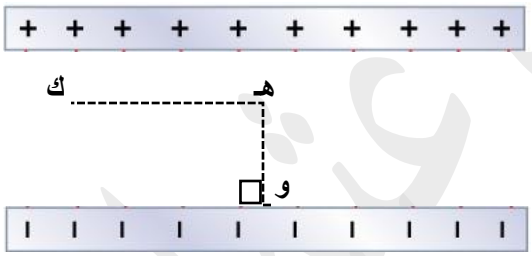
سؤال (١٦) :

علل :

- الجسيم المشحون يتحرك بخط مستقيم داخل المجال الكهربائي المنتظم ؟
- الجسيم المشحون يتسارع داخل المجال الكهربائي المنتظم ؟

سؤال (١٧) :

يمثل الشكل لوحين فلزيين متوازيين لانهائيين , الفرق في الجهد بينهما (٢) فولت و تفصل بينهما مسافة (٠,١) م , اذا كانت النقطتان (هـ , ك) تقعان في منتصف المسافة بين اللوحين , و النقطة (و) تقع على اللوح السالب , إحسب :



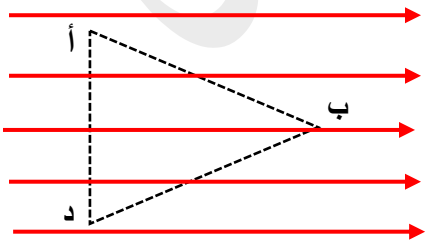
١) المجال الكهربائي عند النقطة (هـ) .

٢) فرق الجهد ($جـ_{هـ و}$) .

٣) الشغل المبذول لنقل إلكترون من (و) الى (ك) .

سؤال (١٨) :

يوضح الشكل المجاور مجالاً كهربائياً منتظماً مقداره ($١٠^{٤}$) فولت/م , النقاط (أ , ب , د) واقعة في المجال و تمثل رؤوس مثلث متساوي الأضلاع طول ضلعه (٢) سم و الخط الواصل بين (أ , د) عمودي على خطوط المجال . إحسب الشغل المبذول في نقل شحنة كهربائية موجبة مقدارها (١×١٠^{-٩}) كولوم من النقطة أ الى ب , عبر المسار (أ د ب) .



الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

سطوح تساوي الجهد (Equipotential Surfaces) .

سطح تساوي الجهد : هو السطح الذي يكون الجهد عند نقاطه جميعها متساوياً و يساوي قيمة ثابتة .

تكمن اهميتها في فهم و تصور توزيع قيم الجهد حول شحنة نقطية أو توزيع من الشحنات .

خصائص خطوط تساوي الجهد :

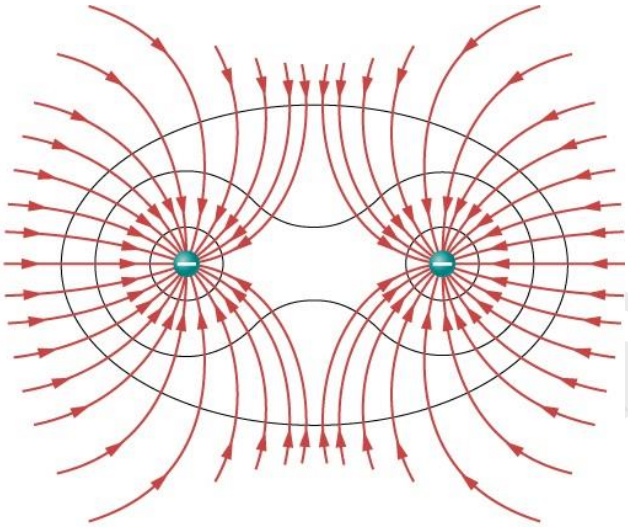
١– سطوح تساوي الجهد لا تتقاطع , لانه لو تقاطعت لكان للجهد أكثر من قيمة عند نقطة التقاطع و هذا يخالف التعريف .

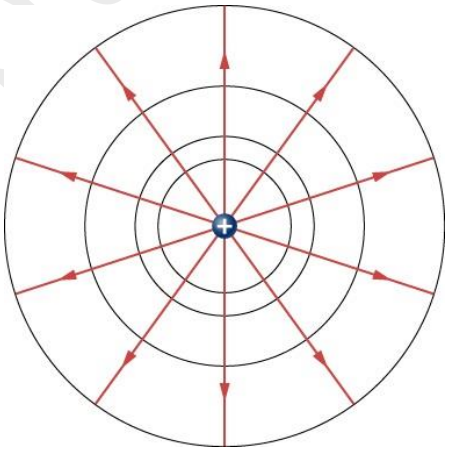
٢– سطوح تساوي الجهد متعامدة مع خطوط المجال الكهربائي , (علل):

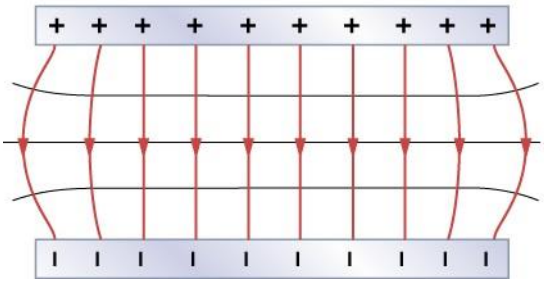
الشغل = ش م جتاθ ⇐ الشغل اللازم لنقل الشحنات على سطح تساوي الجهد يساوي صفر .

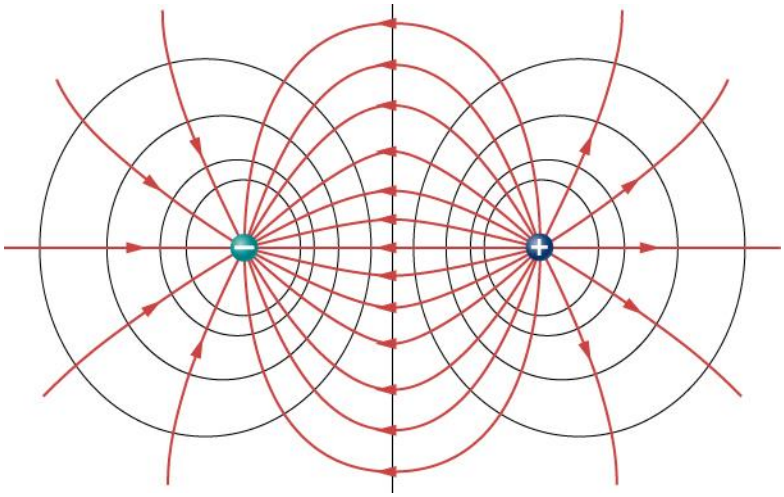
الشغل = ش م جتاθ = صفر ⇐ $\theta = ٩٠^{\circ}$ أي عندما يتعامد خط المجال (م) مع الازاحة ($\vec{ف}$)

(أنماط من سطوح تساوي الجهد الكهربائي.)





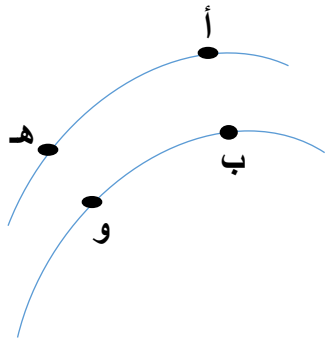




الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

مثـــال :

يمثل الشكل المجاور سطحي تساوي جهد ($جـ_{أ}$ = ١٠ فولت) , ($جـ_{ب}$ = ١٥ فولت) ,



أوجد ما يلي :

١- $جـ_{هـ}$, $جـ_{و}$

٢- $جـ_{أو}$ ، $جـ_{بهـ}$ ، $جـ_{أب}$ ، $جـ_{أهـ}$

٣- الشغل المبذول في نقل بروتون من النقطة هـ ← و

الحـــل :

١- $جـ_{هـ}$ = ١٠فولت , $جـ_{و}$ = ١٥ فولت .

٢- $جـ_{أو}$ = $جـ_{أ}$ − $جـ_{و}$ = ١٠ − ١٥ = −٥ فولت .

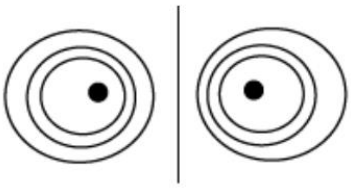
$جـ_{بهـ}$ = $جـ_{ب}$ − $جـ_{هـ}$ = ١٥ − ١٠ = ٥فولت .

$جـ_{أهـ}$ = $جـ_{أ}$ − $جـ_{هـ}$ = ١٠ − ١٠ = صفر .

٣- الشغل $_{هـ←و}$ = ش $_{P}$ ($جـ_{و}$ − $جـ_{هـ}$) ⇐ الشغل $_{هـ←و}$ = ١.٦ × $١٠^{-١٩}$ (١٥ − ١٠) = ٨ × $١٠^{-١٩}$ جول .

سؤال وزارة :

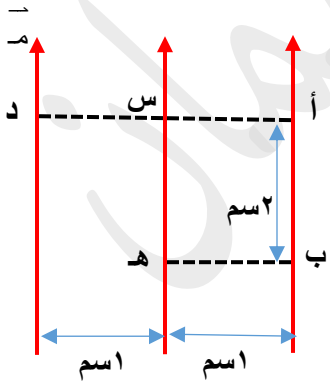
يمثل الشكل المجاور سطوح تساوي الجهد الناشئة عن :



الجواب : شحنتان نقطيتان مختلفتان .

سؤال (١٩) :

في الشكل المجاور يوجد شحنة مقدارها (٢) ميكروكولوم عند النقطة (د) في مجال كهربائي منتظم مقداره (٤ × $١٠^{٤}$) فولت/م , اذا علمت أن جهد النقطة ب = ٤٠٠ فولت , إحسب :



١- القوة الكهربائية على الشحنة الموضوعة عند النقطة (د) .

٢- الشغل المبذول لنقل الشحنة من (د) الى(∞) .

٣- سمي سطحين من سطوح تساوي الجهد .

٤- إحسب $جـ_{أهـ}$

٥- الشغل اللازم لنقل الشحنة المذكورة من (ب) الى (د) .

٦- جهد النقطة (س) .

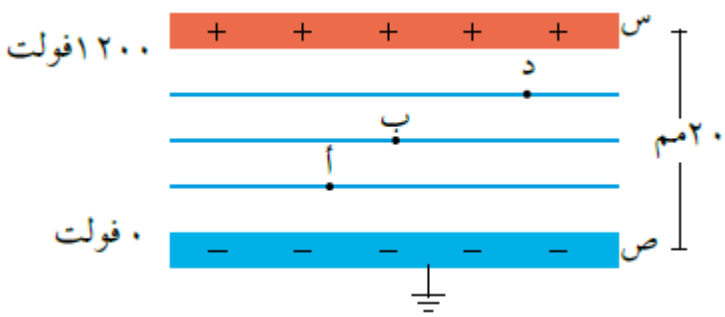
الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

مثال (٢-٩) كتاب صفحة ٥٠ :

صفيحتان موصلتان متوازيتان شحنت الصفيحة (س) بشحنة موجبة , ووصلت الصفيحة (ص) بالأرض فشحنت بالحث بشحنة سالبة , و يبين الشكل سطوح تساوي الجهد في الحيز بين الصفيحتين , إحسب :

١- المجال الكهربائي بين الصفيحتين مقداراً و اتجاهاً .

٢- الجهد الكهربائي عند النقاط (أ , ب , د) .



الحل :

١- لحساب المجال الكهربائي بين الصفيحتين نطبق العلاقة : (جـ = مـ ف) , و بما أن الصفيحة (ص) تتصل بالأرض , فإن جهدها يساوي صفراً , و يكون فرق الجهد بين الصفيحتين :

جـ = ١٢٠٠ – ٠ = ١٢٠٠ فولت .

$$\text{مـ} = \frac{\text{جـ}}{\text{ف}} = \frac{١٢٠٠}{٢٠ \times ١٠^{-٣}} = ٦ \times ١٠^{٤} \text{ فولت / م .}$$

و يكون اتجاه المجال الكهربائي نحو المحور الصادي السالب , أي من الصفيحة الموجبة الى الصفيحة السالبة .

٢- بما أن المجال الكهربائي بين الصفيحتين منتظم فالمسافات بين سطوح تساوي الجهد متساوية , و عليه فإن :

$$\text{ف}_{\text{أص}} = \frac{\text{ف}}{٤} \Leftarrow \text{ف}_{\text{أص}} = \frac{٢٠}{٤} \Leftarrow \text{ف}_{\text{أص}} = ٥ \text{ مم .}$$

$$\text{جـ}_{\text{أص}} = \text{مـ} \times \text{ف}_{\text{أص}}$$

$$\text{جـ}_{\text{أ}} - ٠ = ٦ \times ١٠^{٤} \times ٥ \times ١٠^{-٣} \Leftarrow \text{جـ}_{\text{أ}} = ٣٠٠ \text{ فولت .}$$

و بالمثل نتوصل الى أن :

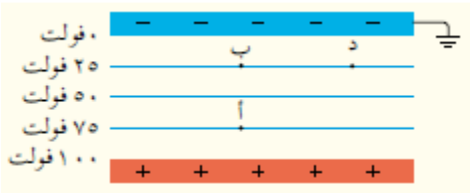
$\text{جـ}_{\text{ب}} = ٦٠٠$ فولت .

$\text{جـ}_{\text{د}} = ٩٠٠$ فولت .

الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

مراجعة (٢-٥) كتاب صفحة ٥١ :

١) يبين الشكل سطوح تساوي الجهد في الحيز بين صفيحتين موصلتين متوازيتين , إحسب :



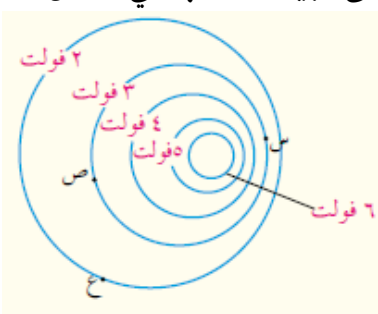
أ) فرق الجهد ($جـ_{أب}$) .

$جـ_{أب} = جـ_{أ} - جـ_{ب} = ٧٥ - ٢٥ = ٥٠$ فولت .

ب) شغل القوة الكهربائية المبذول عند نقل شحنة (٢) نانوكولوم من (ب) الى (د) .

$شغل_{ب \leftarrow د} = ش_{ه} (جـ_{د} - جـ_{ب}) = ٠$

٢) يبين الشكل بعض سطوح تساوي الجهد لتوزيع من الشحنات الكهربائية , معتمداً على البيانات المثبته في الشكل أجب عما يأتي :



أ) هل الجهد عند النقطة (س) يساوي الجهد عند النقطة (ص) ؟ فسر إجابتك .

(س , ص) نقطتان تقعان على سطح تساوي الجهد نفسه لذلك

$جـ_{س} = جـ_{ص} = ٣$ فولت .

ب) قارن بين مقدار المجال الكهربائي عند النقطة (س) و (ص) مفسراً إجابتك .

المجال الكهربائي عند (س) أكبر , بدليل تقارب سطوح تساوي الجهد في المنطقة التي توجد فيها النقطة (س)

جـ) إحسب شغل القوة الخارجية اللازم لنقل بروتون من النقطة (ع) الى النقطة (ص) برعة ثابتة .

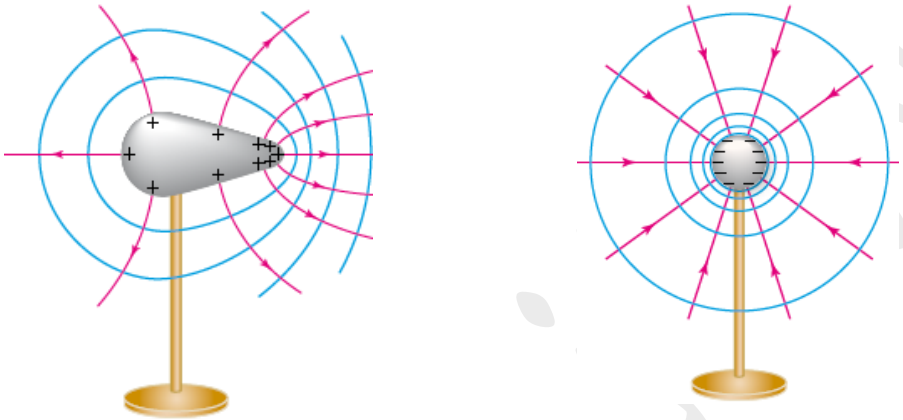
$الشغل_{ع \leftarrow ص} = ش_{ه} (جـ_{ص} - جـ_{ع}) = ش_{P} (٣ - ٢) = ١.٦ \times ١٠^{-١٩}$ جول .

الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

الجهد الكهربائي لموصل مشحون
(Electric Potential due to a Charged Conductor) .

عند شحم موصل فإن الشحنات تتنافر و تتباعد فتستقر على السطح الخارجي للموصل لإبقاء أكبر مسافة بينها .

المجال الكهربائي للموصل المشحون يعتمد على شكل الموصل و يبين الشكل المجال الكهربائي و خطوط تساوي الجهد لموصلين مختلفين .



لاحظ أن : ١) توزيع الشحنات على الموصل المنتظم الشكل يكون منتظماً .

٢) توزيع الشحنات على الموصل غير المنتظم الشكل يكون غير منتظم .

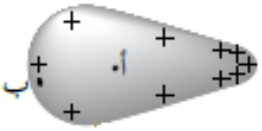
وجد تجريبياً أن الكثافة السطحية للشحنة تكون أكبر عند الرؤوس المدببة مقارنة بالمناطق الأخرى الأقل تحدباً على الموصل نفسه .

تكون الشحنات على سطح الموصل مستقرة و ساكنة و بالتالي تكون في حالة إتزان و القوة المحصلة المؤثرة في كل شحنة تكون صفراً , و يكون فرق الجهد الكهربائي بين أي نقطتين صفراً , أي أن جميع النقاط الواقعة على سطح الموصل متساوية في الجهد و بالتالي يعد سطح الموصل المشحون سطح تساوي جهد .

أثبت العالم غاوس أن الشحنات تستقر على السطح الخارجي للموصل و بالتالي فإن المجال الكهربائي داخله يساوي صفراً .

بما ان المجال يساوي صفر فأنه لا يلزم شغل لنقل شحنة بين نقطتين داخل الموصل المشحون .

يبين الشكل المجاور نقطتين , النقطة (أ) تقع داخل الموصل , و النقطة (ب) تقع على سطح الموصل , و بالتالي فإن :



الشغل $_{\leftarrow ب}$ = صفر (فرق الجهد بين النقطتين يساوي صفر)

و بالتالي فإن الجهد عند أي نقطة داخل الموصل ثابت و يساوي قيمة جهد سطح الموصل .

الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

ظاهرة التفريغ الكهربائي للشحنات :

تحدث هذه الظاهرة بالقرب من الموصلات ذات الجهد الكهربائي العالي أو بالقرب من الرؤوس المدببة .

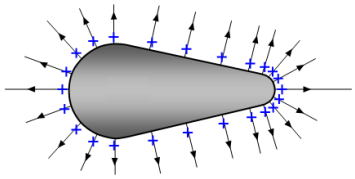
يتولد حول الرأس المدبب مجال كهربائي قوي يعمل على تأيين جزيئات الهواء في تلك المنطقة فيصبح الهواء موصلاً , و يحدث تفريغ كهربائي للشحنات في الهواء " أي ينشأ تيار كهربائي " فتظهر شرارة تشبه البرق .

ســـؤال : علل كلاً مما يلي :

١) سطح أي موصل مشحون (سطح تساوي جهد) علل ؟

الشحنات ساكنة (مستقرة) على سطح الموصل المشحون فلو كان هناك فرق الجهد على هذا السطح فذلك يعني وجود شغل يبذل في تحريك الشحنات على سطح الموصل المشحون و هذا يتنافى مع كون الشحنات ساكنة على سطح الموصل المشحون .

٢) خطوط المجال الكهربائي عمودية على سطح الموصل المشحون .



خطوط المجال الكهربائي لموصل مشحون

لأن سطح الموصل المشحون هو سطح تساوي جهد و الشحنات الكهربائية ساكنة (مستقرة) على سطحه ,فاذا وجدت للمجال مركبة أفقية عند سطح الموصل فانها تعمل على تحريك الشحنات , و هذا يتعارض مع حقيقة كون الشحنات ساكنة على سطح الموصل المشحون .

٣) لا يلزم بذل شغل لتحريك شحنة من نقطة لأخرى على سطح الموصل المشحون .

لأن سطح الموصل المشحون هو سطح تساوي جهد , و فرق الجهد بين أي نقطتين عليه = صفر و بما أن :

الشغل = فرق الجهد × الشحنة ⇐ فرق الجهد = صفر ⇐ الشغل = صفر .

٤) لا تتغير طاقة الوضع الكهربائية لشحنة عند نقلها عبر مسار متعامد مع خطوط المجال .

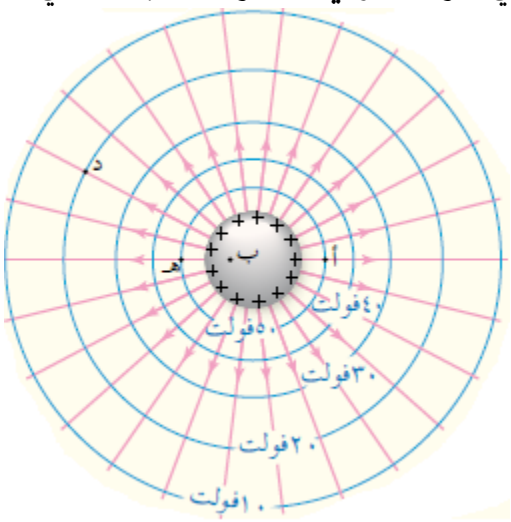
لأن أي مسار متعامد مع خطوط المجال يكون واقع على سطح تساوي جهد و بالتالي لا يوجد فرق في الجهد على سطح هذا المسار .

و بما أن : الشغل = فرق الجهد × الشحنة ⇐ فرق الجهد = صفر ⇐ الشغل = صفر .

الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

مراجعة (٢-٣٣) كتاب صفحة ٥٤ :

١) معتمداً على الشكل الذي يبين سطوح تساوي الجهد و خطوط المجال الكهربائي لموصل كروي مشحون , أجب عما يأتي :



أ) رتب النقاط (أ , ب , هـ , د) تصاعدياً وفق قيم المجال الكهربائي عندها .

م ب = صفر < م د < م أ = م هـ

ب) رتب النقاط (أ , ب , هـ , د) تصاعدياً وفق قيم الجهد عندها .

جـ د < جـ هـ = جـ أ < جـ ب

ج) هل تتغير طاقة الوضع الكهربائية لإلكترون عند إنتقاله من النقطة (ب) داخل الموصل الى سطح الموصل ؟ فسر إجابتك .

لا , لأن الجهد داخل الموصل يساوي الجهد على سطحة

Δ ط و = Δ جـ ش ← Δ جـ = ٠ ← Δ ط و = ٠

٢) لماذا يجب الحذر من الرؤوس المدببة عند التعامل مع أجسام فلزية ذات جهد كهربائي عالٍ ؟

لأن كثافة الشحنة تكون كبيرة عند الرؤوس المدببة فيتولد حولها مجال كهربائي قوي يعمل على تأيين جزيئات الهواء فيصبح الهواء موصلاً و يحدث تفريغ كهربائي للشحنات في الهواء فينشأ تيار كهربائي فتظهر شرارة .

الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

الجهد الكهربائي

$$\Delta \text{جـ} = \frac{\Delta \text{ط}_{\text{و}}}{\text{ش}_{\circ}}$$

$$\text{ط}_{\text{و}} = \text{ا} \frac{\text{ش}_{١}}{\text{ف}} \text{ش}_{٢}$$

الشغل خ = ش المنقولة (جـ نهاية − جـ بداية)

الشغل ك = - ش المنقولة (جـ نهاية − جـ بداية)

الجهد الكهربائي لشحنة نقطية

$$\text{جـ} = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{\text{ش}}{\text{ف}}$$

الجهد الكهربائي لعدة شحنات نقطية

$$\text{جـ} = ٩ \times ١٠^{٩} \times \left(\frac{\text{ش}_{١}}{\text{ف}_{١}} + \frac{\text{ش}_{٢}}{\text{ف}_{٢}} + \cdots + \frac{\text{ش}_{ن}}{\text{ف}_{ن}} \right)$$

الجهد الكهربائي بين نقطتين في مجال منتظم

$$\text{جـ}_{\text{اب}} = \text{مـ ف}_{\text{اب}} \text{جتا}\theta$$

الجهد الكهربائي في مجال منتظم

$$\text{جـ} = \text{مـ ف}$$

$$\text{ع} = \sqrt{\frac{٢\text{ش}_{\circ}\text{جـ}}{\text{ك}}}$$

LIKE US ON facebook
الأستاذ محمد عثمان