حيث m تمثل كتلة الجسيم الموجب الشحنة . ولو تأملنا هذه المعادلة لوجدنا ان تعجيل الجسيم هو بنفس اتجاه المجال . وسوف نأخذ حالتين لحركة الجسيم المشحون في مجال كهربائي منتظم :

أولاً : عندما يوضع الجسيم ساكناً في مجال كهربائي منتظم

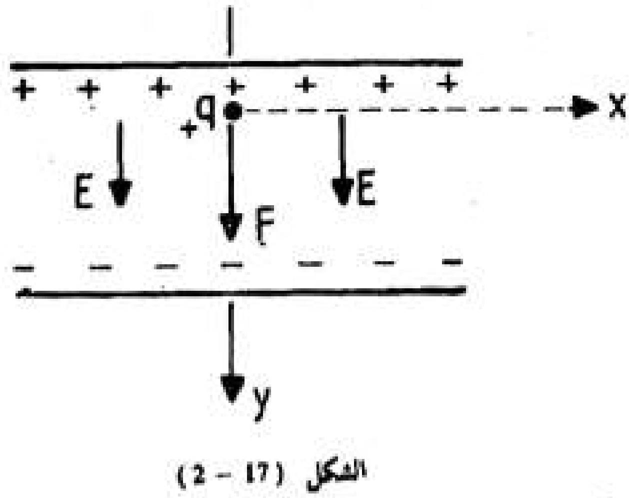
يمكننا الحصول على مجال كهربائي منتظم (كما سنرى في بند قادم)، اذا وصلنا طرفي بطارية بلوحين معدنيين متوازيين ومعزولين أحدهما عن الآخر . وكلما كانت المسافة بين اللوحين صغيرة (بالمقارنة مع أبعاد اللوحين) ، كان المجال بينهما منتظماً الى درجة كبيرة .

فلو فرضنا أن جسيم (كتلته m وشحنته q) وضع ساكناً في مثل هذا المجال ، كما هو مبين في الشكل (2-17) ، لتحرك هذا الجسيم بخط مستقيم وبتعجيل ثابت قدره :

$$a = \frac{qE}{m}$$

لاحظ أن هذه الحركة تشبه حركة الأجسام الساقطة على سطح الأرض بتأثير الجاذبية الأرضية ، وبهذا يمكننا تطبيق قوانين الحركة ذات التعجيل الثابت والتي لا بد وأن يتذكرها الطالب في دراسته السابقة في الميكانيك . لذا فان سرعة الجسيم بعد زمن قدره t تصبح

$$v = v_o + at = at = \frac{qE}{m} t$$



الشكل (17 - 2)

جسيم ترك ساكنا في مجال كهربائي منتظم

أذ أن السرعة الابتدائية للجسيم هي صفر وأما المسافة y التي يقطعها الجسيم بعد نفس الزمن فتصبح

$$y = (1/2)\,at^2 = \frac{qE}{2m}\,t^2$$

وكذلك نجد أن

$$v^2 = 2ay = \frac{2qE}{m}\,y$$

مثـــال 6

الكترون وضع ساكنا في مجال كهربائي منتظم شدته تساوي 10^4 N/C (أنظر الى الشكل (2-17)) . أحسب :

(أ) التعجيل الذي يتحرك به الالكترون .
(ب) سرعته بعد ان يقطع مسافة قدرها (1 cm)
(جـ) طاقته الحركية بعد أن يقطع هذه المسافة .

الحـــل

شحنة الالكترون = $1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C
كتلة الالـكترون = $9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg

(أ) لما كانت شحنة الالكترون سالبة ، لذا فان تعجيل الالكترون يكون بعكس المجال E أي نحو الأعلى . أما مقداره فيمكن ايجاده من المعادلة

$$a = \frac{eE}{m}$$

$$= \frac{1{\cdot}6 \times 10^{-19} \times 10^4}{9{\cdot}1 \times 19^{-31}} = 1{\cdot}8 \times 10^{15}\ \mathrm{m/s^2}$$

(ب) اما سرعة الالكترون فتصبح

$$v = \sqrt{2ay}$$

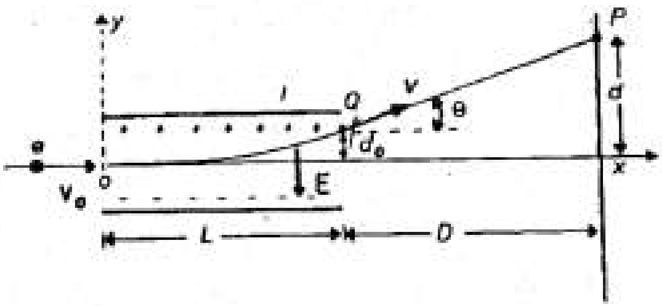
$$= \sqrt{2 \times 1{\cdot}8 \times 10^{15} \times 10^{-2}} = 6 \times 10^{6}\ m/s$$

(جـ) وبهذا فان طاقته الحركية تساوي

$$K = (1/2)\,mv^2$$
$$= (1/2) \times 9{\cdot}1 \times 10^{-31}(6 \times 10^{6})^2$$
$$= 1{\cdot}6 \times 10^{-17} J$$

ثانيـا : عندما يقذف الجسيم بسرعة عمودية على المجال

لنفرض أن الكتروناً قذف بسرعة ابتدائية v_o بصورة عمودية على مجال منتظم شدته E كما هومبين في الشكل (2–18).



الشكل (18 – 2) الـكترون قذف بسرعة عمودية على مجال كهربائي منتظم

ان حركة الألكترون ستكون مشابهة لحركة الجسيم المقذوف افقياً في مجال الجاذبية الأرضية . وباستخدامنا المعلومات التي قد يتذكرها الطالب عن القذائف ، نجد أنه من الممكن أن نعتبر حركة الالكترون مكونة من حركتين ، افقية باتجاه محور x وهي حركة ذات سرعة ثابتة ، وعمودية باتجاه محور y وهي حركة ذات تعجيل ثابت . وبهذا فان المسافة الافقية x التي يقطعها الألكترون بعد زمن قدره t تكون

$$x = v_o t$$

بينما نجد ان المسافة العمودية y التي يقطعها بعد نفس الزمن تكون

$$y = (1/2)\,at^2 = \frac{eE}{2m}t^2$$

وبحذف t من هاتين المعادلتين نحصل على

$$y = \frac{eE}{2mv_o^2}x^2 \qquad (2\text{–}18)$$

وهي المعادلة التي تمثل مسار الالكترونات في المجال الكهربائي –وهي معادلة قطع مكافيء Parabola . وبواسطة هذه المعادلة يمكن حساب الانحراف الذي يحدث في مسار الالكترونات عند اية نقطة واقعة تحت تأثير المجال الكهربائي .

ولكن بعد خروج الالكترونات من المجال بين اللوحين فانها تنطلق في اتجاه المماس للقطع المكافيءعند نقطة خروجها (لاحظ الشكل 2–18) بسرعة ثابتة هي v. وبهذا تنحرف الالكترونات عن اتجاه مسارها الاصلي بزاوية معينة ولتكن θ ويمكن ادراك الانحراف الذي يطرأ على مسار الالكترونات بوضع شاشة متفلورة Flourescent screen على بعد مسافة معينة من اللوحين ، حيث تظهر بقعة صغيرة مضيئة على الشاشة في موضع اصطدام الالكترونات بها ، فيبدو انحراف الالكترونات بسبب تأثرها بالمجال الكهربائي واضحاً على الشاشة وهذه هي الفكرة الاساسية لعمل راسمة ذبذبات الاشعة المهبطية (او الكاثودية)

ولحساب مقدار الانحراف على الشاشة المتفلورة (d) نفرض ان طول اللوحين المتوازيين هو L . ثم نجد زاوية الانحراف (θ) وذلك بحساب ميل المسار عند نقطة خروج الالكترونات من المجال فنحصل على

$$\tan\theta = \left.\frac{dy}{dx}\right|_{x=L} = \left.\frac{2eEx}{2mv_o^2}\right|_{x=L} = \frac{eEL}{mv_o^2}$$

ولوكانت الشاشة تبعد مسافة D عن اللوحين المتوازيين نجد ان ظل الزاوية θ يساوي بصورة تقريبيه .

$$\tan\theta \simeq \frac{d}{D}$$

ومن هاتين المعادلتين نحصل على مقدار الانحراف الذي يحدث على الشاشة. اي

$$d = \frac{eELD}{mv_o^2} \qquad (2\text{-}19)$$

وبقياس الكميات L,D,E,d نستطيع ان نجد السرعة الابتدائية للالكترونات اذا علمنا النسبة بين شحنة الالكترون الى كتلته (e/m) او بالعكس يمكننا حساب (e/m) اذا علمنا v_o

مثـــال 7

اذا كانت شدة المجال الكهربائي بين اللوحين في جهاز راسمة ذبذبات الاشعة الكاثودية (2×10^4 N/C) . فما مقدار الانحراف الذي يحدث في مســـار الالـكترون (أ) عند خروجه من المجال الكهربائي (النقطة Q) و (ب) عند سقوطه على الشاشة (النقطة P) ، اذا قذف الالكترون بشكل عمودي على المجال وبطاقة حركية قدرها (3.2×10^{-16} J) ؟ ان طول اللوحين يساوي 2 cm والمسافة بين الشاشة واللوحين تساوي 40 cm (انظر الشكل 2-18) .

الحـــل

(أ) بما أن الطاقة الحركية للالـكترون

$$K = (1/2)\, mv^2$$

عندئذ يمكن كتابة المعادلة (2-18) بدلالة K بالشكل الآتي :

$$y = \frac{eE}{4K} x^2$$

ولما كانت احداثيات النقطة Q هي $x = L$ و $y = d_o$ لذا يصبح بالامكان الحصول على مقدار انحراف الالكترون (d_o) من المعادلة :

$$d_o = \frac{eE}{4K} L^2$$

$$= \frac{(1.6 \times 10^{-19})(2 \times 10^4)(2 \times 10^{-2})^2}{4(3.2 \times 10^{-16})} = 0.001 \text{ m} = 1 \text{ mm}$$

(ب) ولحساب الانحراف الذي يحدث على الشاشة المفلورة عند النقطة P نستعين بالمعادلة (2-19) فنحصل على

$$d = \frac{eELD}{2K}$$

$$d = \frac{(1{\cdot}6 \times 10^{-19})(2 \times 10^{4})(2 \times 10^{-2})(40 \times 10^{-2})}{2(3{\cdot}2 \times 10^{-16})}$$

$$= 0{\cdot}04\ \text{m} = 40\ \text{mm}$$

2 – 6 تأثير المجال الـكهربائـي على ثنائيات الاقطاب

عرفنا في البند 2-4 ثنائي القطب الـكهربائي على انه يتكون من شحنتين متساويتين في المقدار احداهما موجبة والاخرى سالبة تفصلهما مسافة صغيرة . وذكرنا في حينها ان حاصل ضرب احدى الشحنتين (q) في المسافة المحصورة بينهما (2a) يدعى عـزم ثنائي القطب ويرمز له بالحرف p . والآن نضيف حقيقة اخرى هو ان عزم ثنائي القطب يعد كمية اتجاهية يشير اتجاهها صوب الشحنة الموجبة ابتداءً من الشحنة السالبة .

لو وضع ثنائي القطب في مجال كهربائي خارجي منتظم بحيث يصنع عزمه $\vec{p}$ زاوية قدرها θ مع المجال ، كما هوموضح في الشكل (2–19) ، لتأثرت شحنتاه بقوتين متعاكستين مقدار كل منهما يساوي qE استنادا الى المعادلة (2-1) ، القوة المؤثرة على الشحنة الموجبة ($\vec{F}$) تكون بنفس اتجاه المجال ، والقوة المؤثرة على الشحنة السالبة ($-\vec{F}$) تكون عكس اتجاه المجال . هاتان القوتان تولدان عزماً دورانياً torque حول محور خلال نقطة 0 مقداره يساوي

$$\tau = 2F\,(a \sin\theta)$$

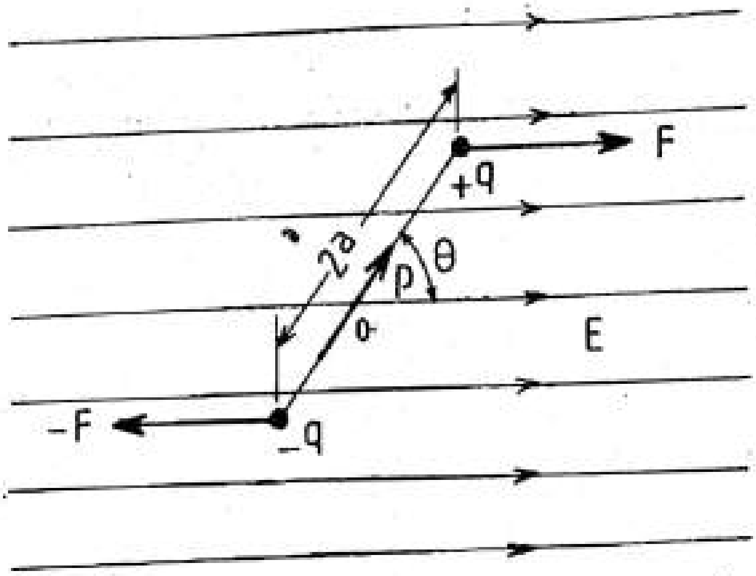
وبالتعويض عن قيمة F بما تساويه ينتج

$$\tau = 2a\,qE \sin\theta$$

لكن الكمية 2aq تساوي عزم ثنائي القطب p ، لذا

$$\tau = pE \sin\theta \qquad (2\text{–}20)$$

تشير هذه المعادلة بشكل واضح على ان المجال الكهربائي المسلط على ثنائي القطب يولد عزماً دورانياً يعمل على تراصف الثنائي مع المجال . لكن العزم الدوراني هوكمية



الشكل (19 - 2)
ثنائي قطب موضوع
في مجال كهربائي منتظم

متجهه شأنه في ذلك شأن شدة المجال وعزم ثنائي القطب . لذلك قد يكون من الافضل في بعض الاحيان ان تكتب المعادلة (2-20) بالصيغة الاتجاهية الآتية :

$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E} \qquad (2\text{–}21)$$

اذ تعبر هذه المعادلة عن اتجاه الكميات الثلاث فضلا عن مقاديرها ، ويمكن بواسطتها تحديد اتجاه أي من الكميات الثلاث فيما اذا عرف اتجاه الكميتين الاخريتين طبقا لخصائص الضرب الاتجاهي .

على ان تدوير ثنائي القطب داخل المجال يتطلب بذل شغل (سالب أو موجب) قيمته تساوي

$$W = \int \tau \, d\theta$$

وبالتعويض عن مقدار العزم الدوراني من المعادلة (2-20) ينتج

$$W = \int pE \sin\theta \, d\theta$$

لنفرض ان الزاوية الابتدائية التي يعملها ثنائي القطب مع المجال تساوي تسعون درجة ، وأن الزاوية النهائية قدرها θ . عندئذ يصبح الشغل المبذول لتدوير ثنائي القطب من الموضع الاول الى الموضع الثاني كما هو آت .

$$W = pE \int_{\pi/2}^{\theta} \sin d\theta$$

$$= pE\left[-\cos\theta\right]_{\pi/2}^{\theta}$$

أي

$$W = -pE\cos\theta$$

وذلك لان $\cos \pi/2 = 0$

لكن الشغل المنجز يساوي التغير في طاقة الوضع الكهربائية (أو الطاقة الكامنة) لثنائي القطب لذا

$$U = -pE\cos\theta \qquad (2-22)$$

كما يمكن كتابة هذه المعادلة بالصيغة الاتجاهية الآتية

$$U = -\vec{p}\cdot\vec{E} \qquad (2-23)$$

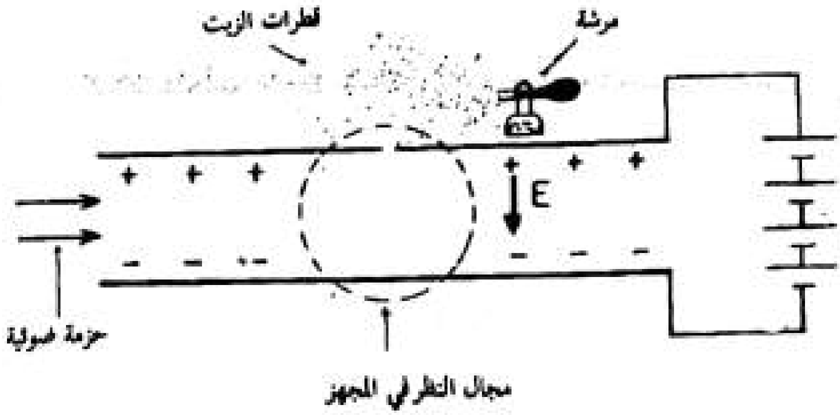
2 – 7 شحنة الالكترون The charge of the electron

الشحنة الكهربائية، كما أثبتت التجارب، ليست متصلة ولكنها مكونة من مضاعفات صحيحة لكمية معينة. هي شحنة الألكترون والتي يرمز لها بالحرف e. وبذلك تكون أية شحنة موجودة في الطبيعة مهما كان أصلها مساوية الى

$$q = ne \qquad \ldots (2-24)$$

حيث n تمثل أي عدد صحيح، وبهذا نقول ان الشحنة مكممة "Charge is quantized".

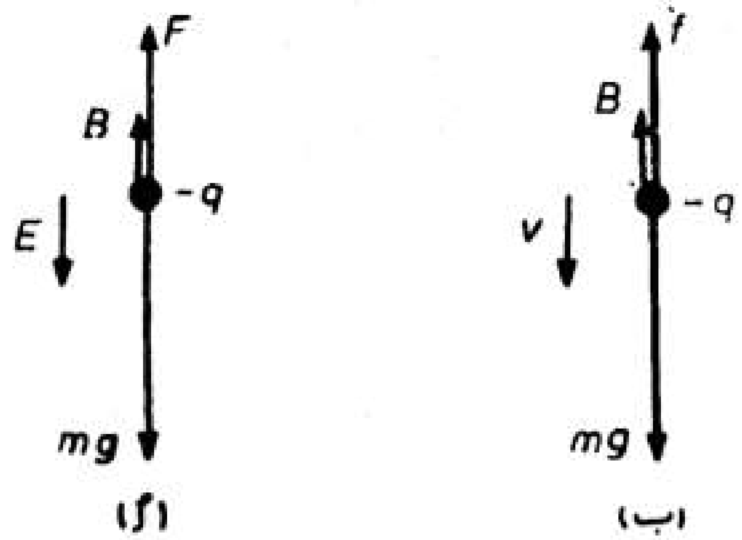
لقد قيست شحنة الألكترون لأول مرة بدقة من قبل العالم مليكان ومساعديه بين عامي 1909 و 1913. بعد أكثر من عشر سنوات من اكتشافه من قبل تومسون. والشكل (2 – 20) يبين رسما تخطيطيا للجهاز الذي استعمله مليكان. فهو يتكون من لوحين معدنيين متوازيين ومعزولين عن بعضهما ويفصلهما الهواء، ويولد بينهما مجال كهربائي منتظم وذلك بربطهما الى بطارية كهربائية ذات فولتية عالية. ويتطاير رذاذ من الزيت من مرشة (Spray) بشكل قطارات صغيرة جداً فوق اللوح العلوي، ثم يسمح لقسم من هذه القطرات بالدخول من خلال ثقب في اللوح العلوي الى المنطقة بين اللوحين حيث تسلط حزمة ضوئية أفقياً. عندئذ يمكن مشاهدة هذه القطرات المضاءة وتتبع حركتها بواسطة مجهر Microscope .



الشكل (20 – 2) تجربة قطرة الزيت لميلكان

لقد لوحظ أن قطرات الزيت تكتسب شحنات كهربائية ، غالباً ماتكون سالبة ، نتيجة لأحتكاكها بالهواء أثناء عملية الرش (ولكنها قد تشحن أيضاً نتيجة لتأيين الهواء بين اللوحين.وذلك بتسليط أشعة اكس مثلا) .

لو فرضنا ان احدى هذه القطرات قد أكتسبت شحنة كهربائية سالبة قدرها q . وان المجال الكهربائي المنتظم بين اللوحين كان متجهاً نحو الأسفل ، لوجدنا أن هناك ثلاث قوى تؤثر على هذه القطرة .كما هو مبين في الشكل (21 – 2 أ) وهي :



الشكل (21 – 2)
(أ) قطرة الزيت وهي ساكنة
(ب) قطرة الزيت تسقط بسرعة

1 - القوة الكهربائية F نحو الأعلى .
2 - وزن القطرة mg نحو الأسفل .
3 - قوة الطفو للهواء buoyant force (B) نحو الأعلى .

وبتغيير شدة المجال الكهربائي يمكننا موازنة القطرة وابقائها معلقة في المجال بين اللوحين عند نقطة معينة . عندئذ يكون :

$$E + B = mg$$

وبالتعويض عن m التي تساوي حجم القطرة مضروباً في كثافتها ، وعن B التي تساوي حجم الهواء المزاح (الذي حجمه بقدر حجم القطرة) مضروباً في كثافة الهواء وفي التعجيل الأرضي g ينتج :

$$qE + (4/3)\pi R^3 dg = (4/3)\pi R^3 Dg$$

حيث R تمثل نصف قطر القطرة و D كثافة الزيت و d كثافة الهواء . وبتبسيط هذه المعادلة نحصل على :

$$qE = (4/3)\pi R^3 g (D - d) \qquad \ldots(2-25)$$

ولحساب مقدار الشحنة q التي تحملها القطرة ، نجد ان جميع الكميات في هذه المعادلة يمكن قياسها بسهولة ، عدا R التي تمثل نصف قطر هذه القطرة الصغيرة جداً والتي لايمكن قياسها بصورة مباشرة . وقد استخدم مليكان قانون ستوكس Stoke s law في اللزوجة لحساب R . ينص هذا القانون على ان قوة الأحتكاك التي تؤثر على كرة نصف قطرها R ، تسقط في مائع fluid معامل لزوجته η بسرعة مقدارها v هي

$$f = 6\pi\eta Rv$$

فاذا ازيل المجال الكهربائي وتركت القطرة تسقط بفعل الجاذبية الأرضية لوجدنا ان سرعتها تزداد حتى تصل قيمة ثابتة هي v . عندها يحدث التوازن ويصبح مجموع القوى المؤثرة عليها صفراً ، (أنظر الى الشكل 21 - 2 ب) . هذه القوى هي :

1 - وزن القطرة mg نحو الأسفل .
2 - قوة الطفو للهواء B نحو الأعلى .
3 - قوة اللزوجة f نحو الأعلى .

وبهذا نجد أن