

## تطبيقات : الحركات المستوية Application M mouvements plans

### I - حركة قذيفة في مجال الثقالة

نسمي قذيفة كل جسم تم إرساله من سطح الأرض بسرعة بدئية  $\vec{v}_0$  على أن يبقى قريبا من سطح الأرض .

خلال هذه الدراسة ، نهمل قوى الاحتكاك مع الهواء ، ونعتبر أن القذيفة خاضعة لوزنها فقط أي حركتها سقوط حر .

#### 1 - متجهة التسارع

نرسل من نقطة O قذيفة ( كرية ) ذات كتلة m بسرعة بدئية  $\vec{v}_0$  غيرإسوية أي أنها تكون زاوية  $\alpha$  مع المستوى الأفقي Oxy ، نسمي الزاوية  $\alpha$  بزاوية القذف . نعتبر أن مجال الثقالة منتظم . ندرس حركة القذيفة في مرجع أرضي نعتبره غاليليا ، بحيث نمعلم مواضع G مركز قصور القذيفة في كل لحظة بإحداثياتها في معلم متعامد وممنظم  $\mathcal{R}(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$  مرتبط بالمرجع الأرضي . نطبق القانون الثاني لنيوتن :

تخضع القذيفة إلى وزنها فقط أي أن  $\vec{P} = m \cdot \vec{a}_G$  ومنه  $\vec{a}_G = \vec{g}$  (1)

إحداثيات  $\vec{a}_G$  في المعلم  $\mathcal{R}(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$  :

على المحور  $(O, \vec{i})$  لدينا  $a_x = 0$

على المحور  $(O, \vec{j})$  لدينا  $a_y = 0$

على المحور  $(O, \vec{k})$  لدينا  $a_z = -g$

أي أن متجهة التسارع  $\vec{a}_G$  رأسية منحاهما من الأعلى نحو الأسفل ومنظمها يساوي عدديا منظم متجهة الثقالة  $\vec{g}$  .

#### 2 - متجهة السرعة

لدينا حسب متجهة التسارع :

$$\begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = 0 \\ \frac{dv_y}{dt} = 0 \\ \frac{dv_z}{dt} = -g \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v_x = C_1 \\ v_y = C_2 \\ v_z = -gt + C_3 \end{cases}$$

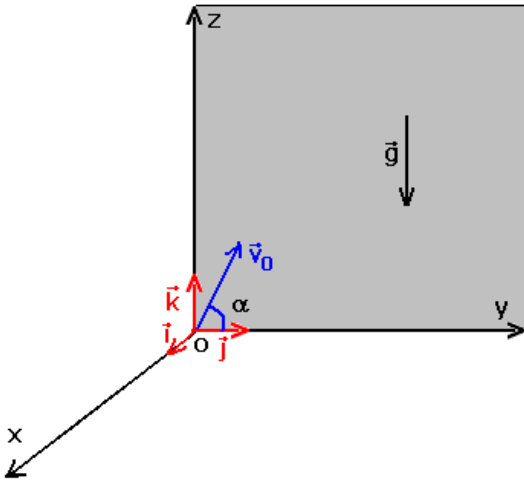
$C_1, C_2, C_3$  ثوابت تحدد انطلاقا من الشروط البدئية .

أن متجهة السرعة البدئية توجد في المستوى  $(Oyz)$

عند اللحظة  $t_0 = 0$  لدينا :

$$\vec{v}_0 \begin{cases} v_{0x} = 0 \\ v_{0y} = v_0 \cos \alpha \\ v_{0z} = v_0 \sin \alpha \end{cases} \text{ وبالتالي ستكون}$$

أي أن إحداثيات متجهة السرعة في المعلم  $\mathcal{R}(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$  هي :



$$(2) \vec{v}_G \begin{cases} v_x = 0 \\ v_y = v_0 \cos \alpha \\ v_z = -gt + v_0 \sin \alpha \end{cases}$$

### 3 \_ المعادلات الزمنية للحركة :

لدينا :

$$\begin{cases} v_x = \frac{dx}{dt} = 0 \\ v_y = \frac{dy}{dt} = v_0 \cos \alpha \\ v_z = \frac{dz}{dt} = -gt + v_0 \sin \alpha \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = C_4 \\ y = (v_0 \cos \alpha)t + C_5 \\ z = -\frac{1}{2}gt^2 + (v_0 \sin \alpha)t + C_6 \end{cases}$$

بحيث أن  $C_4, C_5, C_6$  توابث يجب تحديدها انطلاقا من الشروط البدئية أي أنه في اللحظة  $t_0 = 0$  لدينا :

$$\begin{cases} C_4 = 0 \\ C_5 = 0 \\ C_6 = 0 \end{cases} \left. \begin{array}{l} \text{وبالتالي فإن } \vec{OG}_0 \\ \text{و } \vec{OG}_0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} 0 \\ 0 \\ 0 \end{array}$$

وبالتالي تكون إحداثيات النقطة G في اللحظة t في المعلم  $\mathcal{R}(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$  هي كالتالي :

$$\vec{OG} \begin{cases} x = 0 \\ y = (v_0 \cos \alpha)t \quad (1) \\ z = -\frac{1}{2}gt^2 + (v_0 \sin \alpha)t \quad (2) \end{cases}$$

من خلال هذه المعادلات يتبين أن حركة G تتم في المستوى الرأسي (Oyz) نقول أن **الحركة**

### مستوية

\_ على المحور  $(O, \vec{j})$  ، حركة G حركة مستقيمة منتظمة

\_ على المحور  $(O, \vec{k})$  ، حركة مستقيمة متغيرة بانتظام .

### 4 \_ معادلة المسار

معادلة المسار هي العلاقة التي تجمع بين إحداثياتي النقطة المتحركة G ونحصل عليها بإقصاء المتغير t

بين y و z .

من المعادلتين الزميتين (1) و (2) نحصل على :

$$y = (v_0 \cos \alpha)t \Rightarrow t = \frac{y}{v_0 \cos \alpha}$$

$$z = -\frac{1}{2}gt^2 + (v_0 \sin \alpha)t$$

أي أن معادلة المسار هي :

$$z = -\frac{g}{2v_0^2 \sin^2 \alpha} y^2 + y \tan \alpha$$

نستنتج أن مسار مركز قصور قذيفة في سقوط حر بسرعة بدئية  $\vec{v}_0$  غير رأسية في مجال الثقالة

منتظم هو جزء من شلجم ينتمي إلى المستوى الرأسي الذي يحتوي على المتجهة  $\vec{v}_0$  .

### 5 \_ بعض مميزات المسار

أ \_ **قمة المسار** : (la flèche) هي أعلى نقطة يصل إليها مركز قصور القذيفة .

عند وصول مركز قصور القذيفة إلى قمة المسار F تكون لدينا

$$\frac{dz}{dt} = 0 \text{ بالنسبة لـ } y = y_F$$

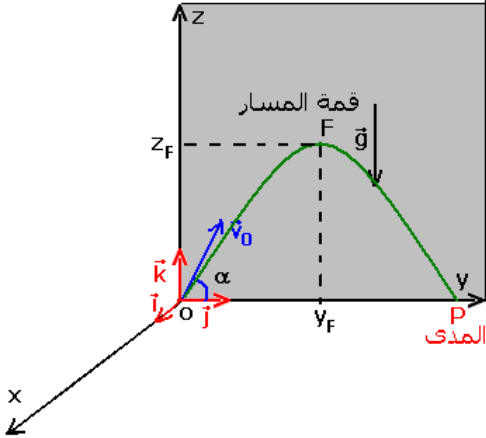
من خلال المعادلة (2) نحصل على :

$$\frac{dz}{dt} = -gt_F + v_0 \sin \alpha = 0 \Rightarrow t_F = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$$

نعوض  $t_F$  في المعادلة (1)

$$y_F = \frac{v_0^2 \cos \alpha \sin \alpha}{g} \Rightarrow y_F = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{2g}$$

$$z_F = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$



ملحوظة : نحصل على أقصى قيمة لقمة المسار إذا كان

$$\alpha = \frac{\pi}{2} \text{ أي في حالة إرسال قذيفة رأسيا نحو الأعلى .}$$

### ب - المدى **la portée**

هو المسافة بين الموضع  $G_0$  لمركز قصور القذيفة لحظة انطلاقها والموضع P للنقطة G أثناء سقوط

القذيفة بحيث تنتمي P إلى المحور الأفقي الذي يشمل  $G_0$  .

لتكن  $y_p$  و  $z_p$  إحداثيتا النقطة P ، لدينا :  $z_p = 0$

أي أن

$$y_p \left( -\frac{g}{2v_0^2 \cos \alpha} y_p + \tan \alpha \right) = 0 \Rightarrow \begin{cases} y_p = 0 \\ \text{ou} \\ y_p = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \end{cases}$$

## II - حركة دقيقة مشحونة في مجال كهرساكن منتظم .

### 1 - المجال الكهرساكن

أ - المجال الكهرساكن المحدث من طرف شحنة نقطية

تحدث دقيقة مشحونة شحنتها q توجد في نقطة O من الفراغ ، مجالا كهرساكن في نقطة M متجهته

$\vec{E}(M)$  بحيث أن :

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

نعبر عن الشحنة q بالكولوم (C)

وعن F بالوحدة النيوتن N

وعن E شدة المجال الكهرساكن ب (N/C)

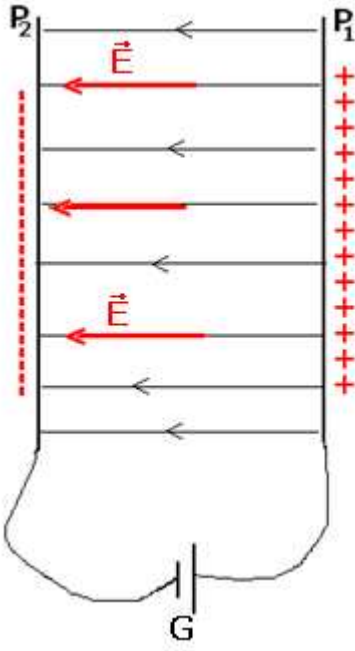
ملحوظة :

-  $F = qE$  في حالة أن  $q > 0$

-  $F = |q|E$  في حالة  $q < 0$

- يبرز وجود مجال كهرساكن في نقطة ما بوضع دقيقة مشحونة في تلك النقطة حيث تخضع إلى قوة كهرساكنة .

ب - خطوط المجال



نسمي خط المجال الكهرساكن كل منحني ( أو مستقيم ) تكون متجهة مجال الكهرساكن مماسة له في كل نقطة من نقطه .  
ج - المجال الكهرساكن المنتظم

يكون المجال كهرساكن منتظما إذا كان لمتجهته  $\vec{E}$  ، في كل نقطة من نقطه ، نفس الاتجاه ونفس المنحى ونفس المنظم .  
إذا كان المجال الكهرساكن منتظما تكون خطوط المجال عبارة عن مستقيمات متوازية .

يتحقق المجال الكهرساكن المنتظم بتطبيق توتر مستمر ثابت بين صفيحتين فليزيتين متوازيتين لهما أبعاد أكبر بكثير من المسافة d التي تفصلهما .

$$U = V_{P_1} - V_{P_2} > 0$$

لدينا حسب الشكل جانبه :  
عند تطبيق توتر كهربائي مستمر U على صفيحتين فليزيتين لهما أبعاد أكبر بكثير من المسافة d التي تفصلهما تكون متجهة المجال الكهرساكن  $\vec{E}$  ثابتة ، وعمودية على الصفيحتين ، وموجهة نحو الجهود التناقضية ومنظمها

$$\text{هو : } E = \frac{U}{d} \text{ بحيث أن :}$$

U التوتر المطبق بين الصفيحتين بالفولط (V)  
d المسافة الفاصلة بين الصفيحتين .

E شدة المجال الكهرساكن نعبّر عنه  $V/m$

## 2 - حركة دقيقة في مجال كهرساكن منتظم

نعتبر دقيقة مشحونة ، ذات كتلة m وشحنة q بحيث أن ( $q < 0$ ) مثلا إلكترون ، توجد في مجال كهرساكن منتظم .

جرد القوى المطبقة على الدقيقة :

$\vec{F}$  القوة الكهرساكنة بحيث أن  $\vec{F} = q\vec{E}$  وإلى وزنها  $\vec{P}$  الذي نهمل شدته أمام F .

باعتبار مرجع أرضي كمرجع غاليليا نطبق القانون الثاني لنيوتن على الدقيقة أثناء حركتها في معلم مرتبط بالمرجع الأرضي :

$$\vec{F} = m\vec{a} \text{ حيث } \vec{a} \text{ متجهة تسارع الدقيقة .}$$

يتعلق مسار الدقيقة باتجاه  $\vec{v}_0$  متجهة السرعة البدئية للدقيقة لحظة

دخولها المجال الكهرساكن المنتظم ، بالنسبة لاتجاه  $\vec{E}$  :

### الحالة الأولى : $\vec{v}_0$ متوازية مع $\vec{E}$

تدخل دقيقة مشحونة ( $q < 0$ ) المجال الكهرساكن  $\vec{E}$  في النقطة O في

اللحظة  $t_0 = 0$  بالسرعة  $\vec{v}_0$  متوازية مع  $\vec{E}$  .

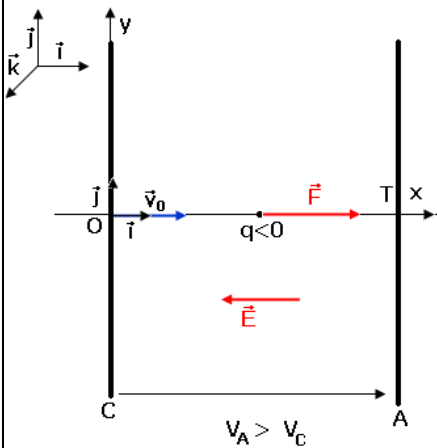
$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \Rightarrow \vec{a} = \frac{q}{m} \vec{E}$$

نسقط هذه العلاقة في المعلم المتعامد والممنظم المرتبط بالمرجع

الأرضي ، ( $O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ ) فنحصل على إحداثيات متجهة التسارع ومتجهة

السرعة ومتجهة الموضع ، باعتبار الشروط البدئية التالية :

$$\begin{cases} 0 \\ 0 \\ 0 \end{cases} \text{ و } \begin{cases} v_0 \\ 0 \\ 0 \end{cases}$$



$$\overrightarrow{OM} \begin{cases} x_M = -\frac{1}{2} \frac{qE}{m} t^2 + v_0 t \\ y_M = 0 \\ z_M = 0 \end{cases} \text{ و } \vec{v} \begin{cases} v_x = -\frac{qE}{m} t + v_0 \\ v_y = 0 \\ v_z = 0 \end{cases} \text{ و } \vec{a} \begin{cases} a_x = -\frac{qE}{m} \\ a_y = 0 \\ a_z = 0 \end{cases}$$

نستنتج من خلال هذه المعادلات أنه ليست هناك حركة على المحورين  $(Oy)$  و  $(Oz)$  بل تتم حركة الدقيقة على المحور  $(Ox)$  وبالتالي فإن حركة الدقيقة على هذا المحور مستقيمة متغيرة بانتظام . هل هذه الحركة متسارعة أم متباطئة ؟  
بتحديد الجداء السلمي التالي :  $\vec{a} \cdot \vec{v} > 0$  وبالتالي فالحركة مستقيمة متسارعة .

**حالة خاصة :** مدفع الإلكترونات حيث تكون السرعة البدئية  $v_0$  للإلكترون مهملة وتقارب الصفر . في هذه الحالة تكون معادلات حركة الإلكترون هي :

$$x = \frac{eE}{2m} t^2 , \quad v_x = \frac{eE}{m} t , \quad a_x = \frac{eE}{m}$$

يمكن حساب السرعة التي تغادر بها الإلكترون الثقب T وذلك بتطبيق مبرهنة الطاقة الحركية على الإلكترون بين O و T :

$${}^T_o \Delta E_C = W_{o \rightarrow T}(\vec{F}) \Rightarrow \frac{1}{2} m v^2 = e U_{AC}$$

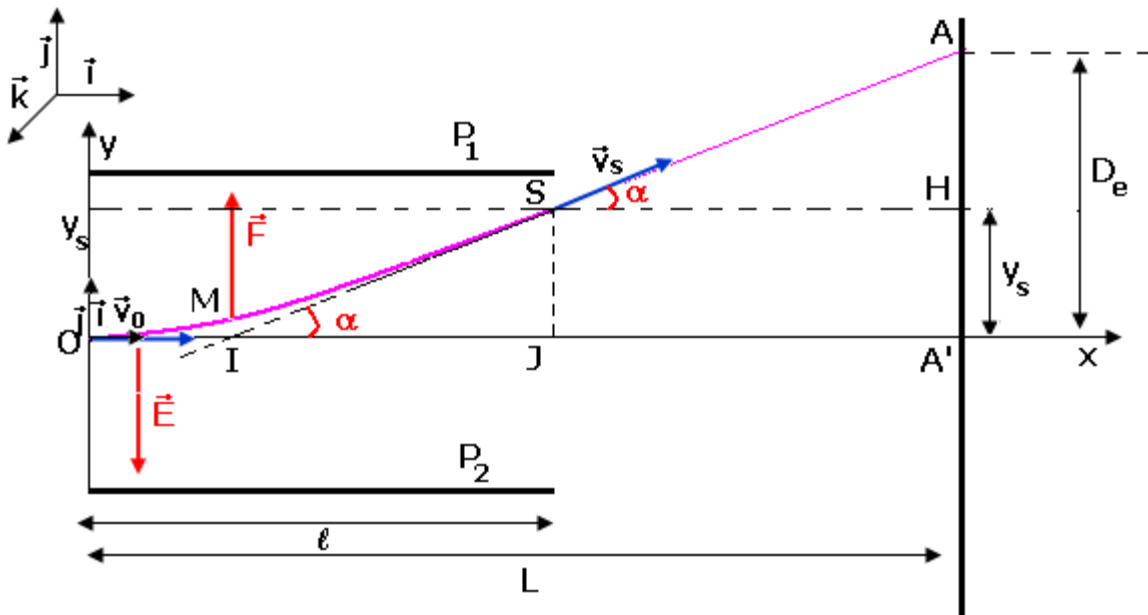
$$U_{AC} = E \cdot d \Rightarrow \frac{1}{2} m v^2 = e E \cdot d$$

وبالتالي تكون سرعة الإلكترون هي :  $v = \sqrt{\frac{2e \cdot E \cdot d}{m}}$  وتكون هذه السرعة جد عالية ونلاحظ أن هذه

السرعة تكبر كلما تزايدت شدة المجال الكهرساكن  $\vec{E}$  ، نقول أن المجال الكهرساكن يتصرف **كمسرع** **للدقيقة** .

**الحالة الثانية :  $\vec{v}_0$  عمودية على  $\vec{E}$**

تدخل دقيقة مشحونة ( $q < 0$ ) في اللحظة  $t_0 = 0$  بالسرعة  $\vec{v}_0$  عمودية على متجهة المجال الكهرساكن المنتظم  $\vec{E}$  في النقطة O.



أ - متجهة التسارع :

متجهة التسارع للدقيقة في المجال  $\vec{E}$  هي :  $\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$  في مرجع أرضي .

نسقط العلاقة في المعلم المتعامد والممنظم  $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$  حيث  $\vec{E} = -E\vec{j}$

$$\vec{a} \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -\frac{qE}{m} \\ a_z = 0 \end{cases} \quad \vec{E} \begin{cases} a_x & 0 \\ a_y & -E \\ a_z & 0 \end{cases}$$

ونستنتج من خلال القانون الثاني لنيوتن أن

ب - المعادلات الزمنية

باعتبار الشروط البدئية التالية :

$$\vec{v} \begin{cases} v_x = v_0 \\ v_y = -\frac{qE}{m}t \\ v_z = 0 \end{cases} \quad \vec{OM}_0 \begin{cases} v_0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{cases}$$

نحصل على إحداثيات متجهة السرعة :

$$\vec{OM} \begin{cases} x = v_0t \\ y = -\frac{qE}{m}t^2 \\ z = 0 \end{cases}$$

في المعلم  $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$  أي أن

نستنتج أن حركة الدقيقة في مجال كهرساكن منتظم عمودي على متجهة السرعة البدئية  $\vec{v}_0$  ، تتم في المستوى  $(Oxy)$  إذن فهي حركة مستوية .

على المحور  $(O, \vec{i})$  حركة مستقيمة منتظمة

على المحور  $(O, \vec{j})$  حركة مستقيمة متغيرة بانتظام .

ج - معادلة المسار ،

نحصل على معادلة المسار بإقصاء الزمن  $t$  بين المعادلتين الزمنيتين  $x(t)$  و  $y(t)$  :

$$t = \frac{x}{v_0} \quad \text{في المعادلة الزمنية } y(t) \text{ لدينا : } y = -\frac{qE}{2mv_0^2}x^2 \quad \text{بحيث أن } q < 0 .$$

مسار الدقيقة المشحونة في مجال كهرساكن منتظم عمودي على متجهة السرعة البدئية  $\vec{v}_0$  عبارة

عن جزء من شلجم .

د - سرعة الدقيقة لحظة خروجها من المجال الكهرساكن :

لدينا حسب الشكل أعلاه أن إحداثياتي  $S$  نقطة خروج الدقيقة من المجال الكهرساكن هما :

$$S \begin{cases} x_s = \ell \\ y_s = -\frac{qE}{2mv_0^2}\ell^2 \end{cases} \quad \text{وتوجد الدقيقة في النقطة } S \text{ عند اللحظة } t_s = \frac{\ell}{v_0} \text{ في المعادلات السرعة نحصل}$$

$$\vec{v}_s \begin{cases} v_{sx} = v_0 \\ v_{sy} = -\frac{qE}{m} \left( \frac{\ell}{v_0} \right) \end{cases} \quad \text{على :}$$

تكون المتجهة  $\vec{v}_s$  مع الاتجاه الأفقي زاوية  $\alpha$  تسمى الانحراف الزاوي بحيث أن

$$\tan \alpha = \frac{v_{sy}}{v_{sx}} = -\frac{qE}{mv_0^2}$$

هـ - الانحراف الكهرساكن :

طبيعة حركة الدقيقة عند مغادرتها المجال الكهرساكن :

عند خروجها من المجال الكهرساكن فالقوى المطبقة عليها هي وزنها فقط وبإهماله ، حسب مبدأ القصور تكون حركة الدقيقة مستقيمة منتظمة سرعتها  $\vec{v}_s$  . فتصطدم بشاشة مستشعرة عمودية على المحور  $(O, \vec{i})$  . نعطي  $OA' = L$  المسافة الفاصلة بين الشاشة والنقطة 0 نقطة انطلاق الدقيقة

نسمي  $D_e$  الانحراف الكهربائي وهو المسافة بين النقطة A' نقطة اصطدام في غياب المجال

الكهرساكن و A نقطة اصطدام بوجود المجال الكهرساكن . من خلال الشكل لدينا :

$$D_e = A'A = A'H + HA \quad \text{بحيث أن } A'H = y_s \quad \text{و } \tan \alpha = \frac{AH}{L-\ell} \quad \text{أي أن } D_e = y_s + (L-\ell)\tan \alpha$$

حسب العلاقات السابقة لدينا :

$$D_e = -\left(L - \frac{\ell}{2}\right) \frac{qE\ell}{mdv_0^2} \quad \text{و بما أن } E = \frac{U}{d} \quad \text{تصبح العلاقة : } D_e = -\left(L - \frac{\ell}{2}\right) \frac{qU\ell}{mdv_0^2} \quad \text{والتي تكتب على}$$

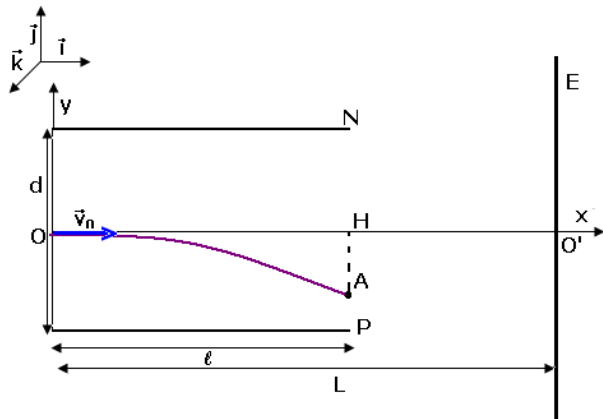
$$\text{الشكل التالي : } D_e = K.U \quad \text{بحيث } K = -\left(L - \frac{\ell}{2}\right) \frac{q\ell}{mdv_0^2} \quad \text{هي}$$

نستنتج أن الانحراف الكهرساكن يتناسب اطرادا مع التوتر المطبق بين الصفيحتين وتستغل هذه الخاصية في مبدأ اشتغال راسم التذبذب ، حيث يتناسب الانحراف الرأسي مع التوتر المطبق على الصفيحتين الأفقيتين والانحراف الأفقي مع التوتر المطبق على الصفيحتين الرأسيتين **تمرين تطبيقي :**

تلج إلكترون بين صفيحتين فليزيتين أفقيتين لراسم تذبذب بسرعة بدئية  $\vec{v}_0$  أفقية ،  $v_0 = 10^7 \text{ m/s}$  . التوتر بين الصفيحتين  $U = V_p - V_N = 40V$  ؛ المسافة الفاصلة بين الصفيحتين  $d = 4\text{cm}$  وطول كل منهما  $\ell = 6\text{cm}$  .

- 1 - أحسب المسافة AH التي تمثل الانتقال الرأسي للإلكترون عند مغادرتها المجال الكهرساكن  $\vec{E}$
- 2 - حدد مميزات متجهة سرعة الإلكترون في النقطة A .
- 3 - أحسب قيمة الانحراف الكهربائي  $D_e$  . المسافة الفاصلة بين الشاشة المستشعرة والنقطة O

هي  $L = 50\text{cm}$



لكي تلج الإلكترون بالسرعة البدئية  $v_0 = 10^7 \text{ m/s}$  ما هي

قيمة توتر التسريع  $U'$  التي يجب استعماله ؟ أوجد تعبير  $D_e$

بدلالة U و  $U'$

الأجوبة :

1 -  $|AH| \approx 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$  - 2  $\alpha \approx 6^\circ$  مع الخط الأفقي

والسرعة تساوي تقريبا السرعة  $v_0$

3 -  $D_e \approx 5\text{cm}$  و  $U' = 282,5V$

### III - حركة دقيقة مشحونة في مجال مغناطيسي منتظم .

1 - تأثير مجال مغناطيسي على حزمة من إلكترونات  
تجربة : عند تقرب مغناطيس من أنبوب مفرغ نلاحظ انحراف الحزمة الإلكترونية . نفس الملاحظة عند تقرب ملف لولبي يمر فيه تيار كهربائي . يتغير منحى الانحراف عند عكس موضعي قطبي المغناطيس أو بعكس منحى التيار الكهربائي المار في الملف اللولبي .  
نستنتج :

ميكانيكا على حزمة الإلكترونات داخل الأنبوب المفرغ من الهواء . نقرن هذا التأثير الميكانيكي بقوة تسمى القوة المغناطيسية . ما هي مميزاتها ؟

2 - القوة المغناطيسية ،

2 - 1 علاقة لورنتز

تخضع دقيقة مشحونة ، ذات شحنة  $q$  تتحرك بسرعة متجهتها  $\vec{v}$  داخل مجال مغناطيسي متجهته  $\vec{B}$  إلى قوة مغناطيسية  $\vec{F}$  تسمى قوة لورنتز تحددتها العلاقة المتجهية التالية :  $\vec{F} = q\vec{E} \wedge \vec{B}$

معرفة مميزات المتجهتين  $q\vec{v}$  و  $\vec{B}$  تمكن من استنتاج مميزات القوة  $\vec{F}$  .

خلال هذه الدراسة نهمل وزن الدقيقة المشحونة أمام القوة المغناطيسية التي تطبق عليها  
2 - 2 مميزات القوة المغناطيسية

مميزات قوة لورنتز هي :

- نقطة التأثير الدقيقة نفسها باعتبارها نقطة مادية .

- خط التأثير : العمودي على المستوى المحدد بواسطة  $(\vec{v}, \vec{B})$  ؛  $\vec{F}$  عمودية على المتجهة  $\vec{v}$  وعلى المتجهة  $\vec{B}$  .

- المنحى : هو المنحى بحيث يكون ثلاثي الوجه  $(q\vec{v}, \vec{B}, \vec{F})$  مباشرا .

- الشدة :  $F = |qvB \sin \alpha|$

$q$  : شحنة الدقيقة ب (C)

$v$  : سرعة الدقيقة ب (m/s)

$B$  : شدة المجال المغناطيسي (T)

$\alpha$  الزاوية التي تكونها  $\vec{v}$  مع  $\vec{B}$

$F$  : شدة قوة لورنتز (N)

ملحوظة :

منحى  $\vec{F}$  يتغير حسب إشارة  $q$  . عمليا للحصول على منحى المتجهة  $\vec{F}$  نطبق إحدى القواعد .

- قاعدة الأصابع الثلاث لليد اليمنى . الإبهام  $q\vec{v}$  . السبابة :  $\vec{B}$  .

الوسطى :  $\vec{F}$

- قاعدة مفك البرغي

- قاعدة اليد اليمنى

الحالات التي تنعدم فيها القوة المغناطيسية :

•  $q=0$  دقيقة محايدة كهربائيا

•  $\vec{v} = \vec{0}$  دقيقة متوقفة

•  $\vec{B} = \vec{0}$  غياب المجال المغناطيسي

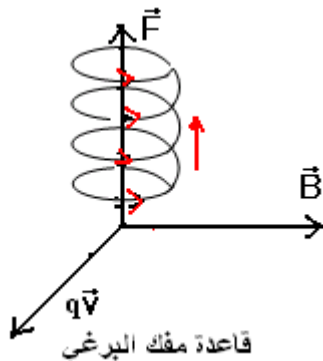
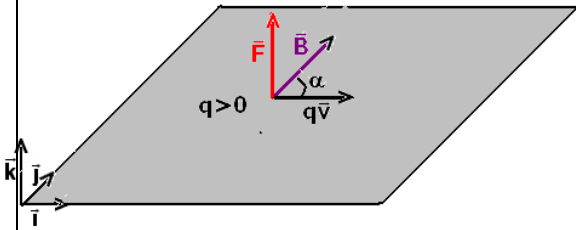
•  $\alpha = 0$  أو  $\alpha = \pi$  أي  $\vec{v}$  و  $\vec{B}$  على استقامة واحدة .

**تمرين تطبيقي :** ندخل حزمة من دقائق الهيليوم  ${}^2_4\text{He}^{2+}$

بسرعة  $v_0 = 10^3 \text{ m/s}$  مجالا مغناطيسيا شدته  $B = 2.10^{-3} \text{ T}$  . علما أن  $(\vec{v}_0, \vec{B})$  تكون زاوية  $60^\circ$  ،

أحسب شدة القوة المغناطيسية التي تخضع إليها الدقائق الهيليوم . ومثل المتجهات  $\vec{B}$  و  $\vec{v}_0$

و  $\vec{F}$  على تبيانة في الحالتين التاليتين :  $(\vec{v}_0, \vec{B}) = 60^\circ$  و  $(\vec{B}, \vec{v}_0) = 60^\circ$





**الحل :** حسب علاقة لورنتز :  $\vec{F} = q\vec{v}_0 \wedge \vec{B}$  حسب المعطيات عندنا  $q = +2e$  و  $v_0 = 10^3 m/s$

$$B = 2.10^{-3} T$$

بما أن شدة القوة  $\vec{F}$  هي  $F = |qvB \sin \alpha|$  فإن  $F = 3,2.10^{-19} N$



### 3- حركة دقيقة مشحونة في مجال مغناطيسي منتظم

ندرس حركة دقيقة تم نعممها على الحزمة الإلكترونية باعتبار أن جميع الدقائق مماثلة في الحركة .  
نعتبر دقيقة شحنتها  $q$  وكتلتها  $m$  تلج مجالاً مغناطيسياً منتظماً  $\vec{B}$  بسرعة بدئية  $\vec{v}_0$  عمودية على  $\vec{B}$ .

#### أ - طبيعة حركة الحزمة الإلكترونية داخل المجال المغناطيسي $\vec{B}$ .

- نبين أن مسار الإلكترون مسار مستوي

نطبق القانون الثاني لنيوتن على الدقيقة في اللحظة  $t$  ،

$$\vec{P} + \vec{F} = m\vec{a}$$

الشكل التالي :  $\vec{F} = m\vec{a}$  وبما أن  $\vec{F} = q\vec{v}_0 \wedge \vec{B}$  إذن  $q\vec{v}_0 \wedge \vec{B} = m\vec{a}$  أي أن  $\vec{a} = \frac{q}{m}(\vec{v}_0 \wedge \vec{B})$

في معلم فريني الذي تم اختياره في الشكل  $M(\vec{u}, \vec{n}, \vec{k})$  أن  $\vec{a}(0, a_n, 0)$  يعني أن  $a_z = 0$  ومنه

$z = g(t) = 0$  مما يبين أن حركة الدقيقة تتم في المستوى  $(\vec{u}, \vec{n})$  وبالتالي فحركة الدقيقة حركة

مستوية .

#### ب - ما هو شكل المسار ؟

حسب التحليل السابق وفي معلم فريني  $a_t = \frac{dv}{dt} = 0$  أي أن

$$v = cte = v_0$$

وكذلك  $a_n = \frac{v_0^2}{\rho_n}$  ونعلم أنه في معلم فريني  $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_t = \vec{a}_n$

$$\rho = \frac{m.v_0}{|q|.B} = Cte = R \quad \text{إذن} \quad a = a_n \Rightarrow \frac{q}{m} v_0 B = \frac{v_0^2}{\rho}$$

إذن مسار الدقيقة هو مسار دائري .

#### ج - خلاصة

**حركة دقيقة ذات شحنة  $q$  وكتلة  $m$  عند ولوجها مجالاً مغناطيسياً منتظماً  $\vec{B}$  بسرعة بدئية  $\vec{v}_0$  متعامدة مع  $\vec{B}$  ، حركة دائرية منتظمة .**

**- مسارها ينتمي إلى المستوى العمودي على المجال .**

$$\text{- شعاعها يساوي : } R = \frac{m.v_0}{|q|.B} \quad (1)$$

#### د - الدراسة الطاقة

**\* قدرة القوة المغناطيسية**

$$\mathcal{P} = \vec{F} \cdot \vec{v} \Leftrightarrow \mathcal{P} = q(\vec{v} \wedge \vec{B}) \cdot \vec{v} = 0$$

قدرة القوة المغناطيسية دائماً منعدمة لكون أن هذه القوة دائماً عمودية على السرعة

نطبق مبرهنة الطاقة الحركية على الدقيقة عند انتقالها خلال مدة زمنية  $\Delta t$  :

$$\frac{1}{2}mv^2 = Cte \Rightarrow v = cte = v_0 \text{ إذن } E_c = Cte \text{ أي أن } \Delta E_c = W(\vec{F}) = 0$$

**خلاصة : المجال المغناطيسي لا يغير الطاقة الحركية لدقيقة مشحونة .**

#### 4 : الانحراف المغناطيسي

**تعريف :** نسمي الانحراف المغناطيسي المسافة  $\overline{O'P} = D_m$

تلج حزمة دقائق من النقطة O وبسرعة  $\vec{v}_0$  حيزا طوله  $\ell$  حيث يخضع لمجال مغناطيسي منتظم متعامد مع متجهة السرعة البدئية .

مسار كل دقيقة في المجال المغناطيسي هو عبارة عن قوس من دائرة مركزها C وشعاعها  $R = \frac{mv_0}{|q|.B}$

عند النقطة S تغادر الدقيقة المجال المغناطيسي بسرعة  $\vec{v}_0$  بحيث تصبح حركتها مستقيمة منتظمة ( مبدأ القصور )

الزاوية  $\alpha = (OC, OS)$  تسمى بالانحراف الزاوي بحيث أن  $\sin \alpha = \frac{\ell}{R}$  وكذلك

$$\tan \alpha = \frac{\overline{O'P}}{\overline{OO'} - \overline{OI}} = \frac{D_m}{L - \ell}$$

وبما أن في الأجهزة المستعملة  $\alpha$  صغيرة جدا وكذلك  $\ell \ll L$  ( $\sin \alpha = \tan \alpha$ )

$$D_m = \frac{|q|.B.L.\ell}{m.v_0} \text{ أي أن } \frac{\ell}{R} = \frac{D_m}{L}$$

**ملحوظة :** المقارنة بين الانحراف الكهربائي والانحراف المغناطيسي

$$D_m = \frac{|q|.B.L.\ell}{m.v_0} \text{ و } D_e = \frac{|q|.E.L.\ell}{m.v_0^2}$$

يلاحظ أن الانحراف المغناطيسي أكثر تكيفا من الانحراف الكهربائي

لأنه يتناسب اطرادا مع  $\frac{1}{v_0}$  . لهذا يستعمل في أنبوب التلفاز .

#### VI تطبيقات :

##### 1 - السيكلوترون

السيكلوترون جهاز مسرع الدقائق ، يتكون سيكلوترون من علبتين موصليتين  $D_1$  و  $D_2$  على شكل نصف

أسطوانتين مفرغتين تفصل بينهما مسافة جد صغيرة أمام شعاعهما .

يوجد داخل كل علبة مجال مغناطيسي منتظم  $\vec{B}$  شدته  $B = 0.14T$  .

1 - نطبق بين العلبتين توترا U ثابتا وموجبا . تنطلق حزمة من البروتونات

من المنبع S ، فيتم تسارعها نحو العلبة  $D_1$  ، حيث تكون سرعة كل

بروتون عند وصوله النقطة A هي :  $v_1 = 4.38.10^5 m/s$

1 - 2 بتطبيق القانون الثاني لنيوتن أوجد قيمة  $R_1$  ، شعاع المسار

الدائري للبروتون داخل  $D_1$  .

1 - 2 أوجد قيمة الدور T لحركة البروتون . بين أن T لا ترتبط بسرعة

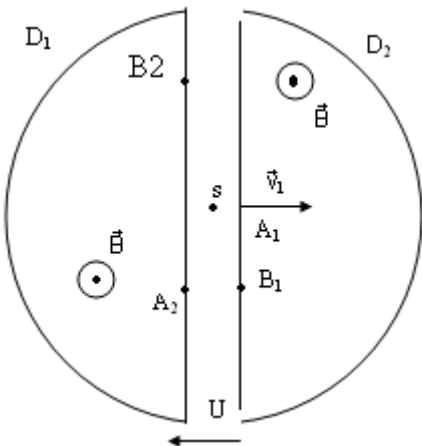
البروتون ولا بشعاع مساره .

2 - يصل البروتون إلى  $B_1$  في اللحظة التي تتغير عندها إشارة التوترا U ،

فيتسرع البروتون ، من جديد ، نحو العلبة  $D_2$

2 - 1 بتطبيق مبرهنة الطاقة الحركية ، أوجد السرعة  $v_2$  للبروتون عند

النقطة  $A_2$  ، علما أن  $U = -2kV$  قارن  $v_1$  و  $v_2$  .



2\_2 ليكن شعاع مسار البروتون داخل العلية  $D_2$  برهن على أن  $R_2 > R_1$  .  
 2\_3 عند وصول البروتون إلى النقطة  $B_2$  ، تتغير إشارة التوتر من جديد . صف حركة البروتون بعد وصوله إلى  $B_2$  . استنتج وظيفة السيكلوترون ، إذا علمت أن إشارة  $U$  تتغير دوريا .  
 نعطي كتلة البروتون  $m = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{kg}$   
 شحنة البروتون  $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{C}$

## 2\_ راسم طيف الكتلة

راسم طيف الكتلة جهاز يمكن من فرز أيونات ذات كتل أو شحن مختلفة ، وذلك باستعمال مجال كهرساكن ومجال مغنطيسي .

يتكون راسم الطيف للكتلة من نوع دمبستر (Dempster) من :  
 حجرة التأين حيث تنتج الأيونات ؛

حجرة التسريع حيث تدخل الأيونات بسرعة تكاد تكون منعدمة لتسرع  
 محدث بواسطة توتر  $U$  .

نريد فرز الأيونات  ${}^4_2\text{He}^{2+}$  ،  ${}^3_2\text{He}^{2+}$  كتلتاهما إتباعا  $m_3 = 5 \cdot 10^{-27} \text{kg}$  و  $m_4 = 6.7 \cdot 10^{-27} \text{kg}$  ندخل الأيونات في مجال كهرساكن منتظم محدث بواسطة توتر  $U$  مطبق بين صفيحتين رأسييتين  $P_1$  و  $P_2$  لتسريعهما إلى النقطة  $A$  .

1\_ تخرج الأيونات  ${}^4_2\text{He}^{2+}$  ،  ${}^3_2\text{He}^{2+}$  من النقطة  $A$  على

التتابع بالسرعتين  $\vec{v}_1$  و  $\vec{v}_2$  نهمل السرعتين عند النقطة  $O$  .  
 عبر عن السرعتين  $v_1$  و  $v_2$  بدلالة معطيات النص .

أحسب  $v_1$  و  $v_2$  .

2\_ تدخل الأيونات ، عند النقطة  $A$  ، مجالا مغنطيسيا منتظما  $\vec{B}$  عموديا على متجهتي السرعتين  $\vec{v}_1$  و  $\vec{v}_2$  وتصل إلى منطقة الإستقبال  $MP$  المعينة على الشكل .

احسب المسافة  $MP$  الفاصلة بين  $M$  و  $P$  نقطتي وقع

الأيونات  ${}^4_2\text{He}^{2+}$  ،  ${}^3_2\text{He}^{2+}$  على منطقة استقبال . نعطي  $U$

$B = 0.5 \text{T}$  و  $U = 10^4 \text{V}$

