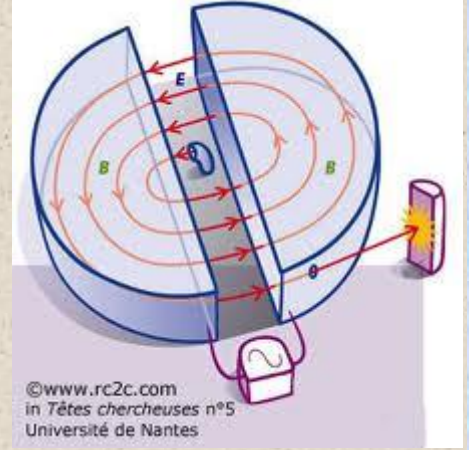
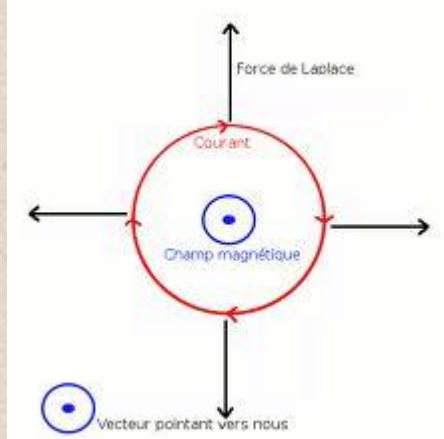


## الحركات المستوية : حركة دقيقة مشحونة في مجال مغناطيسي منتظم

$$\vec{a}_G \begin{cases} a_t = \frac{dv}{dt} = 0 \\ a_n = \frac{v^2}{\rho} = \frac{e}{m} \cdot v \cdot B \\ a_z = 0 \end{cases}$$



$$\vec{a} = \frac{v^2}{\text{rayon}} \vec{n} + \frac{dv}{dt} \vec{t}$$

$$\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B} = qvB \vec{n}$$

### ( 1 ) علاقة لورنتز

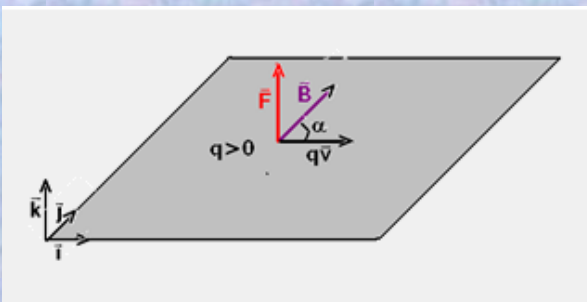
تخضع دقيقة مشحونة ، ذات شحنة  $q$  تتحرك بسرعة متجهتها  $\vec{v}$  داخل مجال مغناطيسي متجهته  $\vec{B}$  إلى قوة مغناطيسية  $\vec{F}$  تسمى قوة لورنتز تحددنا العلاقة المتجهية التالية :

$$\vec{F} = q\vec{E} \wedge \vec{B}$$

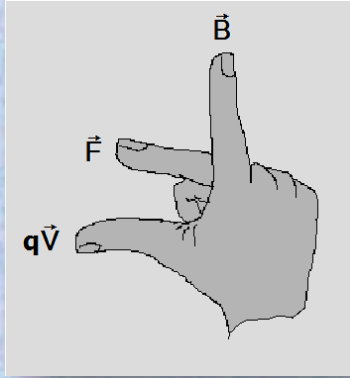
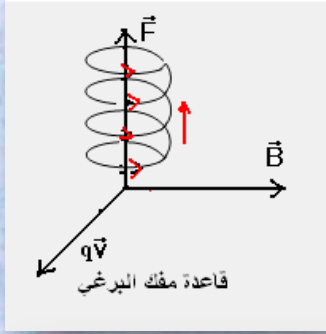
معرفة مميزات المتجهتين  $q\vec{v}$  و  $\vec{B}$  تمكن من استنتاج مميزات القوة  $\vec{F}$  .  
خلال هذه الدراسة نهمل وزن الدقيقة المشحونة أمام القوة المغناطيسية التي تطبق عليها .

### ( 2 ) 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  $q\vec{v}$  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 قواعد التوجيه .  
 - 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 .

**( 3 ) حركة دقيقة مشحونة في مجال مغناطيسي منتظم**

بتطبيق القانون الثاني لنيوتن نحصل على العلاقة :

$$\vec{a} = \frac{q}{m} \vec{v} \wedge \vec{B}$$

$$\begin{cases} \vec{a} \perp \vec{B} & (1) \\ \vec{a} \perp \vec{v} & (2) \end{cases}$$

اذن في كل لحظة لدينا :

العلاقة (1) تعني أن كل دقيقة مشحونة تدخل مجالا مغناطيسيا منتظما بسرعة عمودية على خطوط المجال ، ترسم مسارا يوجد في مستوى يضم السرعة البدئية  $\vec{v}_0$  ومتعامد مع متجهة المجال المغناطيسي .

العلاقة (2) تعني أن اتجاه متجهة سرعة دقيقة مشحونة يتغير خلال حركتها في مجال مغناطيسي منتظم دون أن يتغير منظمها .

حيث بما أن متجهة التسارع  $\vec{a}$  متعامدة مع  $\vec{v}$  في كل لحظة فهي اذن منتظمة :

بالتالي  $\vec{v} = Cte = \vec{v}_0$  أي  $\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{0}$  إذن  $\vec{a} = \vec{0}$  أي  $\vec{a} = \vec{a}_N$

ينحفظ أثناء حركة الدقيقة ، الحركة اذن منتظمة .

من العلاقتين (1) و (2) نكتب :

$$\frac{v^2}{\rho} = \frac{|q|}{m} . v . B \quad \text{مع} \quad v = v_0$$

$$\rho = \frac{m . v_0}{|q| . B} = Cte$$

أي :

حركة دقيقة ذات شحنة  $q$  وكتلة  $m$  عند ولوجها مجالا مغناطيسيا منتظما  $\vec{B}$  بسرعة

بدئية  $\vec{v}_0$  متعامدة مع  $\vec{B}$  ، حركة دائرية منتظمة .

- مسارها ينتمي إلى المستوى العمودي على المجال .

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



- الدراسة الطاقية  
\* 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 دائما منعدمة لكون أن هذه القوة دائما عمودية على السرعة .  
نطبق مبرهنة الطاقة الحركية على الدقيقة عند انتقالها خلال مدة زمنية  $\Delta t$  :

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

المجال المغناطيسي لا يغير الطاقة الحركية لدقيقة مشحونة .

#### 4 ( الانحراف المغناطيسي

نسمي الانحراف المغناطيسي المسافة  $\overline{O'P} = D_m$  تلج حزمة دقائق من النقطة O وبسرعة  $v_0$  حيزا طوله  $\ell$  حيث يخضع لمجال مغناطيسي منتظم متعامد مع متجهة السرعة البدئية . مسار كل دقيقة في المجال المغناطيسي هو عبارة عن

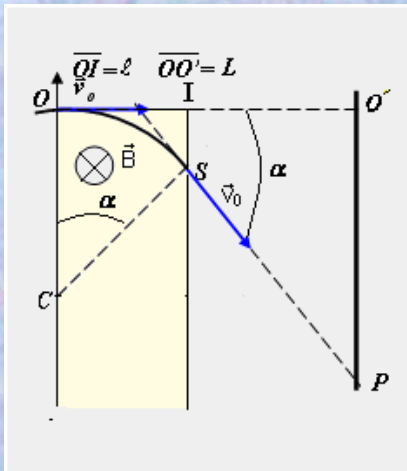
$$\text{قوس من دائرة مركزها } C \text{ وشعاعها } R = \frac{mv_0}{|q|.B}$$

عند النقطة S تغادر الدقيقة المجال المغناطيسي بسرعة  $v_0$  بحيث تصبح حركتها مستقيمة منتظمة ( مبدأ القصور )  
الزاوية  $\alpha = (OC, OS)$  تسمى بالانحراف الزاوي

$$\text{بحيث أن } \sin \alpha = \frac{\ell}{R} \quad \text{وكذلك} \quad \tan \alpha = \frac{\overline{O'P}}{\overline{OO'} - OI} = \frac{D_m}{L - OI}$$

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

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



ملحوظة : المقارنة بين الانحراف الكهربائي والانحراف المغناطيسي

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

يلاحظ أن الانحراف المغناطيسي أكثر تكيفا من الانحراف الكهربائي لأنه يتناسب اطرادا مع  $\frac{1}{v_0}$  . لهذا يستعمل في أنبوب التلفاز .

#### تطبيق 1:

نضع داخل مجال مغناطيسي منتظم  $\vec{B}$  أفقي شدته  $B = 10^{-3} T$  جهازا يبعث إلكترونات بسرعة رأسية  $\vec{v}_0$  وعمودية على  $\vec{B}$  كما يوضح الشكل .

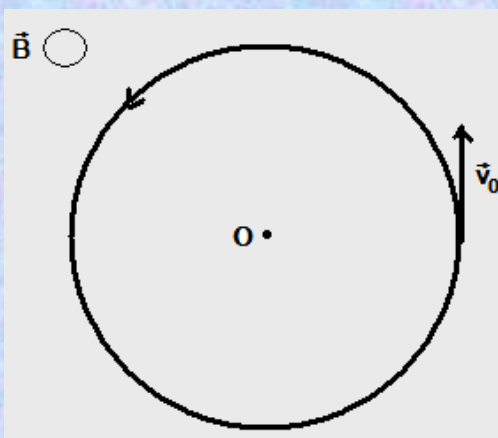
ترسم حزمة الإلكترونات داخل المجال  $\vec{B}$

مسارا دائريا مركزه O وشعاعه  $R = 3,6 \text{ cm}$  .

1 - حدد منحنى  $\vec{B}$  وبين أن حركة كل إلكترون داخل المجال  $\vec{B}$  حركة دائرية منتظمة .

2 - استنتج تعبير السرعة  $v_0$  بدلالة  $m$  و  $BR$  . أحسب  $v_0$

3 - أوجد بدلالة  $\epsilon$  و  $Bm$  تعبير المدة الزمنية T التي تستغرقها حركة إلكترون لإنجاز دورة كاملة . أحسب T .



نعطي : كتلة الإلكترون :  $m = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$  وشحنتها :  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

## حل التطبيق 1 :

1 - منحى  $\vec{B}$  : نطبق قاعدة الأصابع الثلاث لليد اليمنى وسيكون المنحى هو الممثل في الشكل لنبين أن حركة كل إلكترون حركة دائرية منتظمة :  
نطبق القانون الثاني لنبوتن على إلكترون في أساس فريني ،  
جهد القوى المطبقة على الدقيقة :  $\vec{P}$  وزن الدقيقة و  $\vec{F}$  القوة المغناطيسية  
حسب القانون الثاني لنبوتن :

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

$$\vec{F} = -e\vec{v} \wedge \vec{B} \quad \text{إذن } -e\vec{v} \wedge \vec{B} = m\vec{a} \quad \text{أي أن } \vec{a} = \frac{-e}{m}(\vec{v} \wedge \vec{B})$$

في معلم فريني الذي تم اختياره في الشكل  $M(\vec{u}, \vec{n}, \vec{k})$  أن  $\vec{a}(0, a_n, 0)$  أي أن  $a_t = \frac{dv}{dt} = 0$

$$v = Cte = v_0 \quad \text{وكذلك } a_n = \frac{v_0^2}{\rho_N} \quad \text{ونعلم أنه في معلم فريني } \vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_t = \vec{a}_n$$

$$a = a_n \Rightarrow \frac{e}{m} v_0 B = \frac{v_0^2}{\rho} \quad \text{إذن مسار الدقيقة هو } \rho = \frac{m \cdot v_0}{e \cdot B} = Cte = R$$

مسار دائري .

وبالتالي فإن حركة كل إلكترون حركة دائرية منتظمة .

2 - تعبير السرعة  $v_0$  بدلالة  $m$  و  $BR$

حسب العلاقة التي تم الحصول عليها نستنتج أن السرعة  $v_0$  هي :

$$v_0 = \frac{e \cdot B \cdot R}{m} \quad \text{عدديا :}$$

$$v_0 = \frac{1,6 \times 10^{-19} \cdot 10^{-3} \cdot 0,036}{9,1 \times 10^{-31}} = 6,3 \times 10^6 \text{ m/s}$$

3 - تعبير المدة الزمنية  $\Delta t$  لكي تنجز الإلكترون دورة كاملة :

عندما تنجز الإلكترون دورة كاملة فإن  $\Delta t = T$  دور جركة الإلكترون الدائرية ، أي أن  $T = \frac{2\pi}{\omega}$  بحيث أن  $\omega$  السرعة الزاوية للحركة

$$T = \frac{2\pi \times 0,036}{6,3 \times 10^6} = 3,6 \times 10^{-8} \text{ s} \quad \text{عدديا } \left[ T = \frac{2\pi R}{v_0} \right] \quad \text{أي أن } \omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{v_0}{R}$$

تطبيق 2 : ( بكالوريا 2010 الدورة الاستدراكية علوم رياضية ) فرز نظيري عنصر كيميائي

إن قياس طيف الكتلة تقنية ذات حساسية كبيرة، فقد استعملت هذه التقنية في الأصل للكشف عن مختلف نظائر العناصر الكيميائية وأصبحت اليوم تستعمل لدراسة بنية الأنواع الكيميائية.

نريد فرز نظيري الزنك بواسطة راسم الطيف للكتلة. تنتج غرفة التأين

الأيونات  $^{68}\text{Zn}^{2+}$  و  $^{A}\text{Zn}^{2+}$  كتلتاهما، تباعا، هما  $m_1$  و  $m_2$  .

تسرع هذه الأيونات ، في الفراغ، بين صفيحتين فلزيتين متوازيتين

( $P_1$ ) و ( $P_2$ ) بواسطة توتر  $U$  قيمته  $1,00 \cdot 10^3 \text{ V}$  . (الشكل 1)

نفترض أن الأيونات تخرج من غرفة التأين بدون سرعة بدئية وأن وزن الأيون مهمل أمام القوى الأخرى.

معطيات :

الشحنة الابتدائية  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ؛ كتلة بروتون  $m_p$  تساوي كتلة

$$m_n = m_p = m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

1- عين، معلقا جوابك، الصفيحة التي يجب أن يكون لها أكبر جهد

كهربائي.

2- بين أنه يكون للأيونين  $^{68}\text{Zn}^{2+}$  و  $^{A}\text{Zn}^{2+}$  نفس الطاقة الحركية

عند النقطة O .

3- عبر عن السرعة  $v_1$  للأيون  $^{68}\text{Zn}^{2+}$  ، عند النقطة O ، بدلالة  $U$  و  $e$  و  $m$  .

استنتج تعبير السرعة  $v_2$  للأيون  $^{A}\text{Zn}^{2+}$  ، عند نفس النقطة O بدلالة  $v_1$  و  $A$  .

4- تدخل الأيونات  $^{68}\text{Zn}^{2+}$  و  $^{A}\text{Zn}^{2+}$  ، عند  $t=0$  حيزا من الفضاء يوجد فيه مجال مغناطيسي منتظم عمودي على مستوى الشكل ، شدته  $B=0,10 \text{ T}$  وتتحرف حيث يصطدم الأيونان  $^{68}\text{Zn}^{2+}$  و  $^{A}\text{Zn}^{2+}$  بالصفيحة الفوتوغرافية ، تباعا ، عند النقطتين C و C' .

1-4- عين على تبيانة ، معلقا جوابك ، منحى متجهة المجال المغناطيسي  $\vec{B}$  .

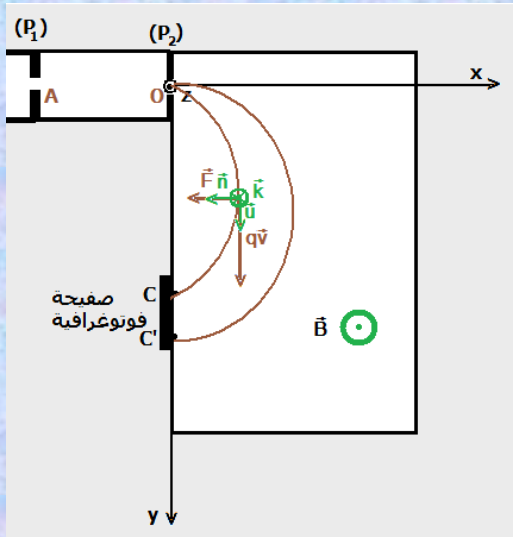


- 2-4- بين أن حركة الأيونات  $Zn^{2+}$  تتم في المستوى  $(O, x, y)$  .  
 3-4- أثبت طبيعة حركة الأيونات  $Zn^{2+}$  داخل المجال المغنطيسي  $\vec{B}$  .  
 4-4- نعطي المسافة :  $CC'=8,0mm$  . استنتج قيمة  $A$  .

## حل التطبيق 2 :

- 1 - الصفيحة التي سيكون لها أكبر جهد كهربائي :  
 حسب معطيات التمرين أن الأيونات تحمل شحن موجبة وستتوجه نحو الصفيحة  $(P_2)$  أي أن منحنى القوة الكهروستاتيكية  $\vec{F}_e$  المطبقة على الأيونات منحناها من  $(P_1)$  نحو  $(P_2)$  وبما أن  $\vec{F}_e = q\vec{E}$  و  $q = +2e$  فإن  $\vec{E}$  و  $\vec{F}_e$  لهما نفس المنحنى أي أن  $\vec{E}$  منحناها من  $(P_1)$  نحو  $(P_2)$  ، نحو الجهود التناقصية أي  $V_{P_2} < V_{P_1}$  أي الصفيحة التي سيكون لها أكبر جهد هي  $P_1$  .  
 2 - لنبين أن الأيونيين لهما نفس الطاقة الحركية عند وصولهما إلى النقطة  $O$  :  
 حسب مبرهنة الطاقة الحركية للأيونين عند انتقالهما من غرفة التأين بدون سرعة بدئية إلى النقطة  $O$  أن تغير الطاقة الحركية بين هاتين النقطتين يساوي شغل القوى الخارجية المطبقة على الأيونات وبما أن شدة الوزن مهملة فإن  $E_C(O) = W(\vec{F}_e)$  لدينا  $W(\vec{F}_e) = 2eU$  وهذه العلاقة لا تتعلق بكتلة الأيونات وبالتالي فإن الطاقة الحركية كذلك أي أن الأيونات لها نفس الطاقة الحركية  
 3 - تعبير السرعة  $v_1$  للأيونات  ${}^{68}Zn^{2+}$  :

حسب مبرهنة الطاقة الحركية لدينا :  $E_C(O) = 2eU$  أي أن  $\frac{1}{2}m_1v_1^2 = 2eU$  بحيث أن  $m_1 = 68m$  ومنه فإن  $v_1 = \sqrt{\frac{eU}{17m}}$



وبتطبيق نفس العلاقة لدينا  $v_2 = \sqrt{\frac{4eU}{Am}}$  أي أن  $\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{68}{A}}$

- 4 - 1 منحنى متجهة المجال المغنطيسي  $\vec{B}$   
 $q > 0$  أي أن  $q\vec{v}$  منحناها هو حسب الشكل جانبه  $\vec{F}$  و  $\vec{F}$  منحناها حسب انحناء مسار الأيونات فإن  $\vec{B}$  سيكون منحناها حسب قاعدة الأصابع الثلاث لليد اليمنى ( أنظر الشكل جانبه )  $\vec{B} = -B\vec{k}$   
 4 - 2 لنبين أن حركة الأيونات تتم في المستوى  $Oxy$  :

نطبق القانون الثاني لنيتون على الدقيقة  $\alpha$  في أساس فريني ،  
 جرد القوى المطبقة على الدقيقة :  $\vec{P}$  وزن الدقيقة و  $\vec{F}$  القوة المغنطيسية  
 حسب القانون الثاني لنيتون :  
 $\vec{P} + \vec{F} = m\vec{a}$  نهمل وزن الدقيقة أمام الشدة القوة المغنطيسية فتصبح

العلاقة المتجهية السابقة على الشكل التالي :  $\vec{F} = m\vec{a}$  وبما أن  $\vec{F} = 2e\vec{v} \wedge \vec{B}$  إذن  $2e\vec{v} \wedge \vec{B} = m\vec{a}$  أي أن  $\vec{a} = \frac{2e}{m}(\vec{v} \wedge \vec{B})$

في معلم فريني الذي تم اختياره في الشكل  $M(\vec{u}, \vec{n}, \vec{k})$  ( أنظر الشكل )

لدينا حسب الشكل  $\vec{a} = (0, a_n, 0)$  يعني أن  $a_z = 0$  ومنه  $z = g(t) = 0$  مما يبين أن حركة الدقيقة تتم في المستوى  $(\vec{u}, \vec{n})$  وبما أن  $(\vec{u}, \vec{n})$  نظمة تنتمي إلى المستوى  $Oxy$  فإن حركة الدقيقة حركة مستوية تتم في المستوى  $Oxy$   
 4 - 3 طبيعة حركة الأيونات :

لدينا كذلك في معلم فريني  $a_t = \frac{dv}{dt} = 0$  أي أن  $Cte = v$  وكذلك  $a_n = \frac{v}{\rho_N}$  ونعلم أنه في معلم

فريني  $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_t = \vec{a}_n$  إذن  $\frac{2e}{m}vB = \frac{v}{\rho}$   $a = a_n \Rightarrow \frac{2e}{m}vB = \frac{v}{\rho}$  نستنتج أن  $\rho = \frac{m \cdot v_2}{2e \cdot B} = Cte = R$

إذن مسار الدقيقة هو مسار دائري . وبالتالي فإن حركة الدقائق  $\alpha$  حركة دائرية منتظمة .

$$R = \frac{mv}{2eB} \text{ شعاعها هو :}$$

4 - 4 حساب  $A$

- لدينا بالنسبة للأيونات  ${}^{68}Zn^{2+}$  :  $R_1 = \frac{68mv_1}{2eB}$  وبالنسبة للأيونات  ${}^A Zn^{2+}$  لدينا  $R_2 = \frac{Amv_2}{2eB}$

$$\left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 = \frac{A}{68} \quad \text{أي أن } \frac{R_2}{R_1} = \frac{A}{60} \times \sqrt{\frac{60}{A}} = \sqrt{\frac{A}{60}} \quad \text{فإن } \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{68}{A}} \quad \text{وبما أن } \frac{R_2}{R_1} = \frac{A}{68} \times \frac{v_2}{v_1}$$

– حساب  $R_1$  و  $R_2$

لدينا حسب المعطيات أن  $R_2 - R_1 = 0,008\text{m}$

$$R_2 = 0,109 - 0,008 = 0,101\text{m} \quad \text{و } R_1 = \frac{68mv_1}{2eB} = 0,11\text{m} \quad \text{أي أن } v_1 = \sqrt{\frac{eU}{17m}} = 7,51 \times 10^4 \text{ m/s}$$

$$A = 68 \times \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 \approx 58 \quad \text{ومنه فإن}$$