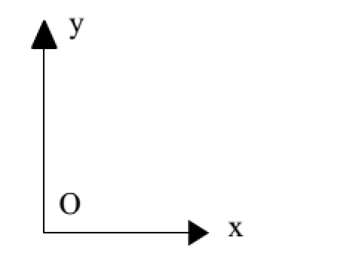
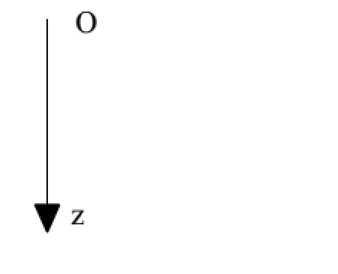
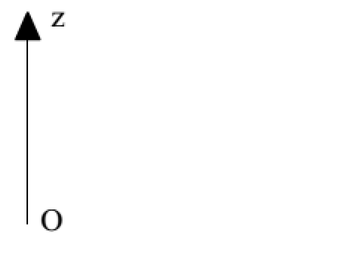
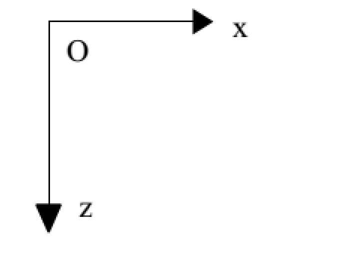
CAPEXOS Chapitre C2 - Correction

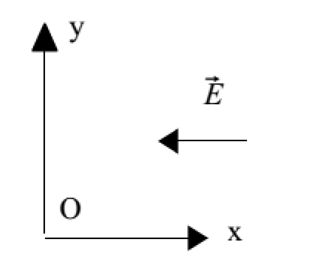
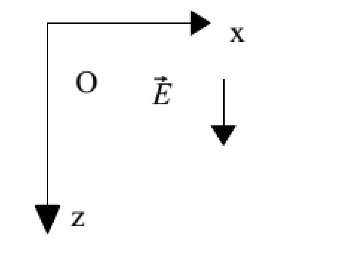
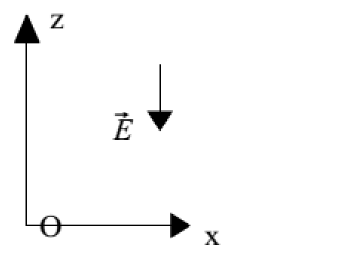
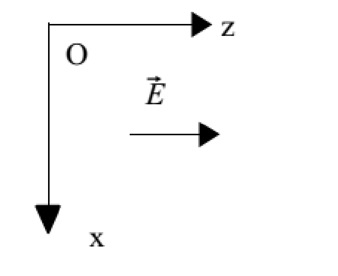
Exploiter la 2e loi de Newton pour étudier et prévoir des mouvements dans des champs de pesanteur et électrostatique uniformes :

- **coordonnées du vecteur accélération**

Capexo 1-

			
$\vec{g}\begin{pmatrix}0\\-g\\0\end{pmatrix}$	$\vec{g}\begin{pmatrix}0\\0\\g\end{pmatrix}$	$\vec{g}\begin{pmatrix}0\\0\\-g\end{pmatrix}$	$\vec{g}\begin{pmatrix}0\\0\\g\end{pmatrix}$
$\vec{a}\begin{pmatrix}0\\-g\\0\end{pmatrix}$	$\vec{a}\begin{pmatrix}0\\0\\g\end{pmatrix}$	$\vec{a}\begin{pmatrix}0\\0\\-g\end{pmatrix}$	$\vec{a}\begin{pmatrix}0\\0\\g\end{pmatrix}$

Capexo 2-

			
$\vec{E}\begin{pmatrix}-E\\0\\0\end{pmatrix}$	$\vec{E}\begin{pmatrix}0\\0\\E\end{pmatrix}$	$\vec{E}\begin{pmatrix}0\\0\\-E\end{pmatrix}$	$\vec{E}\begin{pmatrix}0\\0\\E\end{pmatrix}$
$\vec{a}\begin{pmatrix}\frac{-qE}{m}\\0\\0\end{pmatrix}$	$\vec{a}\begin{pmatrix}0\\0\\\frac{qE}{m}\end{pmatrix}$	$\vec{a}\begin{pmatrix}0\\0\\\frac{-qE}{m}\end{pmatrix}$	$\vec{a}\begin{pmatrix}0\\0\\\frac{qE}{m}\end{pmatrix}$

Capexo 3- .

a- Déterminer les coordonnées du vecteur accélérateur.

La 2[e] loi de Newton donne $\sum \vec{F}_{ext} = \frac{d\vec{v}}{dt}$. Ici, comme le système n'est soumis qu'à son poids et que la masse est constante, cela donne $\vec{a} = \vec{g}$, d'où $\vec{a}_G \begin{pmatrix} a_x(t)=0 \\ a_y(t)=0 \\ a_z(t)=g \end{pmatrix}$.

b- Ces coordonnées sont-elles les mêmes si on place le centre du repère au niveau du sol ?
Oui, car le vecteur g ne dépend pas de l'origine. En revanche, si on change l'orientation des axes, les coordonnées du vecteur g et donc a changent.

Capexo 4- Une bille de masse m considérée comme un objet ponctuel, est lancée vers le haut depuis un point situé à H= 2,0m du sol avec une vitesse initiale de 10 $m.s^{-1}$. On suppose que les forces dues à l'air sont négligeables. On prend comme origine des dates celle à laquelle on lâche la bille et pour origine du repère spatial la position initiale de la bille. L'axe Oz est pris orienté vers le haut.
a- Déterminer les coordonnées du vecteur accélérateur.

$$\vec{a}_G \begin{pmatrix} a_x(t)=0 \\ a_y(t)=0 \\ a_z(t)=-g \end{pmatrix}$$

b- Ces coordonnées sont-elles les mêmes si on place le centre du repère au niveau du sol ?
Oui, car le vecteur g ne dépend pas de l'origine. En revanche, si on change l'orientation des axes, les coordonnées du vecteur g et donc a changent.

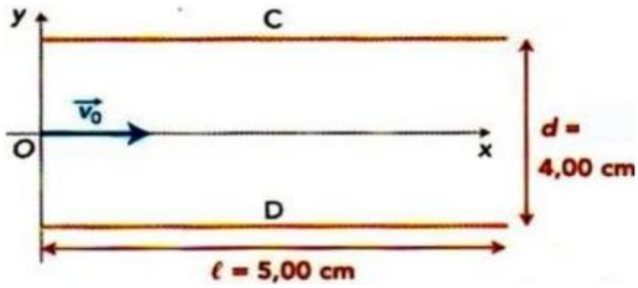
Capexo 5- Un plongeur, représenté uniquement par son centre de gravité G effectue un saut de l'ange depuis le haut d'un tremplin de hauteur h. On néglige les frottements avec l'air lors du saut. A l'instant t=0, le plongeur entame son saut depuis le point G_0 de coordonnées z_0 selon l'axe z et 0 selon l'axe x, avec une vitesse $\vec{v_0}$ inclinée de l'angle α sur l'horizontale dans le repère $(O,\vec{i},\vec{k})$. On prend l'axe Oz orienté vers le haut. Déterminer les coordonnées du vecteur accélération.

$$\vec{a}_G \begin{pmatrix} a_x(t)=0 \\ a_y(t)=0 \\ a_z(t)=-g \end{pmatrix}$$

Capexo 6- Paul lance des pierres horizontalement depuis le sommet O d'un pont à la vitesse v_0. On néglige l'action de l'air sur les pierres. On choisit pour origine du repère la position des pierres au moment où Paul les lance. On choisit un axe Oz orienté vers le bas. Déterminer les coordonnées du vecteur accélération.

$$\vec{a}_G \begin{pmatrix} a_x(t)=0 \\ a_y(t)=0 \\ a_z(t)=g \end{pmatrix}$$

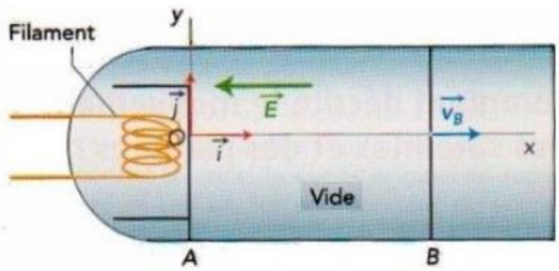
Capexo 7- Une particule α (noyau d'hélium ^4_2He) arrive au point O dans un condensateur plan avec une vitesse $\overrightarrow{v_0}$ de direction parallèle aux armatures C et D du condensateur, horizontales, de part et d'autre de l'axe Ox. Une tension U est appliquée entre ces deux armatures de longueur l et distantes de d. On négligera le poids de la particule devant la force électrostatique. On observe que la particule est déviée vers le haut. Déterminer les coordonnées du vecteur accélération.



Capexo 8- Un particule de charge e et de masse m pénètre dans un champ électrostatique uniforme avec une vitesse initiale $\overrightarrow{v_0}$ inclinée de l'angle α selon l'axe Ox. On étudie son mouvement dans le référentiel terrestre muni d'un repère (O,$\vec{\imath},\vec{\jmath}$).. Le champ électrostatique est $\vec{E} = -E\vec{\jmath}$. On utilise le même système d'axe que dans l'exercice précédent. Déterminer les coordonnées du vecteur accélération.

$$m\vec{a}_G=\vec{F}_e=q.\vec{E}=e.\vec{E}$$ et donc $$\vec{a}_G\begin{pmatrix} a_x(t)=0 \\ a_y(t)=\frac{eE}{m} \\ a_z(t)=0 \end{pmatrix}$$

Capexo 9- Un canon à électrons est constitué d'un filament qui, lorsqu'il est porté à haute température, émet des électrons de vitesse initiale v_0 selon l'axe x. Ces électrons sont ensuite accélérés à l'intérieur d'un condensateur plan dont les armatures sont verticales et ente lesquelles règne un champ électrostatique uniforme de valeur E tel que $\vec{E} = -E\vec{\imath}$. On négligera le poids de l'électron devant la force électrostatique. On utilise le référentiel terrestre. Déterminer les coordonnées du vecteur accélération.



$$\vec{a}_G\begin{pmatrix} a_x(t)=\frac{-qE}{m} \\ a_y(t)=0 \\ a_z(t)=0 \end{pmatrix}$$ **ou** $$\vec{a}_G\begin{pmatrix} a_x(t)=\frac{eE}{m} \\ a_y(t)=0 \\ a_z(t)=0 \end{pmatrix}$$

- coordonnées du vecteur vitesse

Capexo 10- Reprendre les énoncés des capexos 3 à 9. On donne les coordonnées du vecteur accélération pour chaque cas ci-dessous. En déduire les coordonnés du vecteur vitesse dans chaque exemple.

3-

- On sait que $\vec{a_G}\begin{pmatrix} a_x(t)=0 \\ a_y(t)=0 \\ a_z(t)=g \end{pmatrix}$. De plus, par définition, $\vec{a_G}=\frac{d\vec{v_G}(t)}{dt}$. Donc par intégration, on a $\vec{v_G}(t)\begin{pmatrix} v_x(t)=A \\ v_y(t)=B \\ v_z(t)=g\times t+C \end{pmatrix}$ où A, B et C sont des constantes d'intégration. On utilise alors les conditions initiales : la balle est lâchée sans vitesse initiale donc $\vec{v_{G0}}\begin{pmatrix} v_{0x}=0 \\ v_{0y}=0 \\ v_{0z}=0 \end{pmatrix}$ et d'après l'expression de la vitesse déterminée ci-dessus : $\vec{v_G}(t=0)\begin{pmatrix} v_x(t=0)=A \\ v_y(t=0)=B \\ v_z(t=0)=C \end{pmatrix}$. Par identification A=B=C=0 et donc $\vec{v_G}(t)\begin{pmatrix} v_x(t)=0 \\ v_y(t)=0 \\ v_z(t)=g\times t \end{pmatrix}$

4- $$\vec{v_G}(t)\begin{pmatrix} v_x(t)=0 \\ v_y(t)=0 \\ v_z(t)=-g\times t+v_0 \end{pmatrix}$$

5- $$\vec{v_G}(t)\begin{pmatrix} v_x(t)=v_0\cos\alpha \\ v_y(t)=0 \\ v_z(t)=-g\times t+v_0\sin\alpha \end{pmatrix}$$

6- $$\vec{v_G}(t)\begin{pmatrix} v_x(t)=v_0 \\ v_y(t)=0 \\ v_z(t)=g\times t \end{pmatrix}$$

7- $$\vec{v_G}(t)\begin{pmatrix} v_x(t)=v_0 \\ v_y(t)=\frac{qE}{m}\times t \\ v_z(t)=0 \end{pmatrix}$$

8- $$\vec{v_G}(t)\begin{pmatrix} v_x(t)=v_0\cos\alpha \\ v_y(t)=\frac{eE}{m}\times t+v_0\sin\alpha \\ v_z(t)=0 \end{pmatrix}$$

9- $$\vec{v_G}(t)\begin{pmatrix} v_x(t)=\frac{eE}{m}\times t+v_0 \\ v_y(t)=0 \\ v_z(t)=0 \end{pmatrix}$$

- **coordonnées du vecteur position**

Capexo 11- Reprendre les énoncés des capexos 3 à 9. On donne les coordonnées du vecteur vitesse pour chaque cas ci-dessous. En déduire les coordonnés du vecteur vitesse dans chaque exemple.

3- $\vec{OG}(t)\begin{pmatrix} x(t)=0 \\ y(t)=0 \\ z(t)=g\dfrac{t^2}{2} \end{pmatrix}$ 4- $\vec{OG}(t)\begin{pmatrix} x(t)=0 \\ y(t)=0 \\ z(t)=-g\dfrac{t^2}{2}+v_0\times t \end{pmatrix}$

5- $\vec{OG}(t)\begin{pmatrix} x(t)=v_0\cos\alpha\, t \\ y(t)=0 \\ z(t)=-g\dfrac{t^2}{2}+v_0\sin\alpha\, t+z_0 \end{pmatrix}$ 6- $\vec{OG}(t)\begin{pmatrix} x(t)=v_0 t \\ y(t)=0 \\ z(t)=g\dfrac{t^2}{2} \end{pmatrix}$ 7- $\vec{OG}(t)\begin{pmatrix} x(t)=v_0 t \\ y(t)=\dfrac{qE}{2\mathrm{m}}\times t^2 \\ z(t)=0 \end{pmatrix}$

8- $\vec{OG}(t)\begin{pmatrix} x(t)=v_0\cos\alpha\, t \\ y(t)=\dfrac{eE}{2\mathrm{m}}\times t^2+v_0\sin\alpha\, t \\ z(t)=0 \end{pmatrix}$ 9- $\vec{OG}(t)\begin{pmatrix} x(t)=\dfrac{eE}{2\mathrm{m}}\times t^2+v_0 t \\ y(t)=0 \\ z(t)=0 \end{pmatrix}$

Capexo 12- Dans le capexo 3, les coordonnées sont-elles les mêmes si on choisit de positionner l'origine au niveau du sol, avec la même abscisse ?

Non, on a alors des conditions initiales différentes : $\vec{OG}_0\begin{pmatrix} x_0=0 \\ y_0=0 \\ z_0=-H \end{pmatrix}$ et d'après l'expression de la vitesse déterminée ci-dessus : $\vec{OG}(t=0)\begin{pmatrix} x(t=0)=A \\ y(t=0)=B \\ z(t=0)=C \end{pmatrix}$. Par identification A=B=0 et C=-H et donc

$$\vec{OG}(t)\begin{pmatrix} x(t)=0 \\ y(t)=0 \\ z(t)=g\dfrac{t^2}{2}-H \end{pmatrix}$$

Capexo 13- Même question pour le capexo 4.

Non, on a alors des conditions initiales différentes : $\overrightarrow{OG}_0 \begin{pmatrix} x_0=0 \\ y_0=0 \\ z_0=H \end{pmatrix}$ et d'après l'expression de la vitesse déterminée ci-dessus : $\overrightarrow{OG}(t=0) \begin{pmatrix} x(t=0)=A \\ y(t=0)=B \\ z(t=0)=C \end{pmatrix}$. Par identification A=B=0 et C=H et donc

$$\overrightarrow{OG}(t) \begin{pmatrix} x(t)=0 \\ y(t)=0 \\ z(t)=-g\dfrac{t^2}{2}+v_0\times t+H \end{pmatrix}$$

- **trajectoire**

Capexo 14- Reprendre les énoncés des capexos 5 à 8. On donne les équations horaires pour chaque cas ci-dessous. En déduire l'équation de la trajectoire dans chaque exemple.

5- $z(x)=\dfrac{-g\times x^2}{(2v_0\cos\alpha)}+\tan\alpha\, x+h$

6- $z(x)=\dfrac{gx^2}{2v_0}$

7- $y(x)=\dfrac{qE}{2mv_0^2}\times x^2$

8- $y(x)=\dfrac{eE}{(2mv_0^2\cos^2\alpha)}\times x^2+\tan\alpha\, x$

Faire un calcul littéral et numérique pour à partir des équations-horaire ou de la trajectoire, déterminer des points particuliers du mouvement

Capexo 15- Dans le capexo 3, l'équation horaire est z(t)=$\frac{1}{2}gt^2$. Le mouvement se fait selon l'axe Oz uniquement. Etablir l'expression littérale puis calculer à quelle date la bille touche le sol.

La balle touche le sol à l'instant t_{sol} pour $y(t_{sol})$=H et donc $H=\dfrac{g\times t_{sol}^2}{2}$ soit $t_{sol}=\sqrt{\dfrac{2H}{g}}=\sqrt{\dfrac{2\times 2}{9{,}81}}=0{,}64\,s$

Capexo 16- Dans le capexo 4, l'équation horaire de la trajectoire est z(t)=$\frac{1}{2}gt^2$+ v_0t. Le mouvement se fait selon l'axe Oz uniquement.

a- Etablir l'expression littérale de la hauteur maximale atteinte par la bille puis calculer sa valeur.

La hauteur est maximale cela signifie donc que la dérivée de la hauteur (donc v_Z) est nulle. Donc cela correspond à l'instant t_1 tel que $v_z(t_1)=-g\times t_1+v_0$ soit $t_1=\dfrac{v_0}{g}=\dfrac{10}{10}=1\text{s}$. A cet instant, on a alors :

$z(t)=\dfrac{-g\times t_1^2}{2}+v_0\times t_1=\dfrac{-9{,}81\times 1^2}{2}+10\times 1=5{,}1\,m$ soit 7,1 m du sol.

b- Etablir l'expression littérale de la date à laquelle la balle touche le sol puis calculer sa valeur. Calculer alors sa vitesse.

La balle touche le sol pour t_2 tel que $z(t_2)=-H$ et donc on résout l'équation : $-H=\frac{-g\times t_2^2}{2}+v_0\times t_2$ soit $0=\frac{-g\times t_2^2}{2}+v_0\times t_2+H$. C'est une équation du seconde degré qu'on résout classiquement. Et on trouve $t_2=1{,}33s$. On a alors $v=v_z(t_2)=-g\times t_2+v_0=-9{,}81\times 1{,}33+10=-3{,}05\,m/s$. La vitesse est négative selon z, c'est logique car la balle est en mouvement vers le bas

Capexo 17- Pour servir un joueur de tennis lance la balle verticalement vers le haut, il veut la frapper lorsqu'elle atteint 90cm de plus que l'endroit où elle a quitté la main du joueur. Quelle est la valeur minimale de la vitesse pour qu'il puisse faire son service ? Quelle durée sépare l'instant où la balle est lancée de celui où elle est frappée ?

On est dans le cas de l'exercice 4. L'équation horaire du mouvement est $z(t)=\frac{-g\times t^2}{2}+v_0\times t$ si l'on considère comme origine le point initial de lancé de la balle et l'axe des z vers le haut. La balle atteint le point à 0,90cm une première fois à l'aller et une deuxième fois, à l'instant t_1 au retour. C'est ce point qui nous intéresse.

On résout donc l'équation suivante : $z(t)=\frac{-g\times t_1^2}{2}+v_0\times t_1=0{,}9$ soit, $\frac{-g\times t_1^2}{2}+v_0\times t_1-0{,}9=0$. Il s'agit d'une équation au second degré. $\Delta=b^2-4ac=v_0^2-4\times(-g/2)\times(-0{,}9)=v_0^2-17{,}7$. Pour que la balle arrive suffisamment haut il faut que $\Delta\geqslant 0$ et donc $v_0\geqslant\sqrt{17{,}7}=4{,}2\,m/s$

On a alors deux solutions à l'équation : $t_1=\frac{-v_0-\sqrt{v_0^2-17{,}7}}{-g}=\frac{v_0+\sqrt{v_0^2-17{,}7}}{g}$ et $t_1'=\frac{-v_0+\sqrt{v_0^2-17{,}7}}{-g}=\frac{v_0-\sqrt{v_0^2-17{,}7}}{g}$. D'après les deux expressions, $t_1'<t_1$, donc t_1' correspond à l'instant où la balle atteint 90cm sur la montée et t_1 sur le retour. Donc c'est t_1 qui correspond à notre question et la durée entre le lancer et le service est $\Delta t=t_1-t_0=t_1$.

Capexo 18- Lors du tournage d'un film, on lâche du haut d'un pont un objet qui doit tomber sur les sièges arrière d'une voiture décapotable 11m plus bas. La vitesse de la voiture est constante de égale à 20m/s.
Où doit se trouver la voiture lorsque l'objet est lâché ?
On est dans le cas de l'exercice 6, si l'on considère l'origine comme le point de départ de l'objet sur le pont et l'axe Oz orienté vers le bas. Il n'y a pas de vitesse initiale. Les équations horaires sont alors :

$$\vec{OG}(t)\begin{pmatrix} x(t)=0 \\ y(t)=0 \\ z(t)=\frac{g\times t^2}{2}\end{pmatrix}$$.

l'objet aura chuté de 11m à l'instant t_1 pour lequel $z(t_1)=11$. On résout donc l'équation : $g\frac{t_1^2}{2}=11$, ce qui donne $t_1=\sqrt{\frac{2\times 11}{g}}=1{,}50\,s$. Or, à cet instant l'automobile doit être dessous. Elle aura avancé d'une distance $d=v_0 t_1=1{,}5\times 20=30\text{m}$. Il faut donc que la voiture soit à 30mètres derrière l'objet selon l'axe horizontal lorsqu'on lâche l'objet pour que celui-ci tombe au bon endroit.

Capexo 19- Dans le capexo 5, on trouve

$$\vec{OG}(t)\begin{pmatrix} x(t)=v_0\cos\alpha\, t \\ y(t)=0 \\ z(t)=\frac{-g\times t^2}{2}+v_0\sin\alpha\, t+h \end{pmatrix} \text{ et } \vec{v_G}(t)\begin{pmatrix} v_x(t)=v_0\cos\alpha \\ v_y(t)=0 \\ v_z(t)=-g\times t+v_0\sin\alpha \end{pmatrix}$$

Déterminer la hauteur maximale atteinte par le plongeur.

La hauteur maximale est atteinte pour $\frac{dz}{dt}=v_z(t)=0$ cela signifie que, à cet instant t_1, on a $-g\times t_1+v_0\sin\alpha=0$ soit $t_1=\frac{(v_0\sin\alpha)}{g}$. et on a alors $z(t_1)=\frac{-g\times t_1^2}{2}+v_0\sin\alpha\, t_1+h$. En remplaçant par l'expression de t_1 : $z_{max}=\frac{-(v_0^2\sin^2\alpha)}{2g}+\frac{v_0^2}{g}\sin^2\alpha+h$.

Capexo 20 - Dans le capexo 6, Paul lance des pierres avec une vitesse de plus en plus grande. Les équations horaires du mouvement sont :

$$\vec{OG}(t)\begin{pmatrix} x(t)=v_0 t \\ y(t)=0 \\ z(t)=\frac{g\times t^2}{2} \end{pmatrix}.$$

Montrer que toutes les pierres atteignent l'eau au bout de la même durée.

Les pierres atteignent l'eau à l'instant t_1 tel que $z(t_1)=g\frac{t_1^2}{2}$, c'est à dire $t_1=\sqrt{\frac{2z(t_1)}{g}}=\sqrt{\frac{2h}{g}}$. Ce temps ne dépend pas ni de m ni de v_0. Il est donc identique pour toutes les pierres.

Capexo 21 - Dans le capexo 7, on trouve une équation de la trajectoire : $y(x)=\frac{qE}{2mv_0^2}\times x^2$.

a- Exprimer la tension U en fonction des autres grandeurs.

On sait que E=U/d. On pet donc réécrire l'équation selon U : $y(x)=\frac{qU}{2mdv_0^2}\times x^2$. On en déduit :

$$2mdv_0^2\frac{y(x)}{qx^2}=U$$

b- Calculer sa valeur pour que la particule sorte au point d'ordonnée y_S=1,00cm du condensateur.

D'après le schéma, la particule sort du condensateur pour x_s=l et on a aussi que q=+2e (noyau d'hélium). On en déduit : $U=m_\alpha dv_0^2\frac{y_s}{el^2}$.

Application numérique : $U=6{,}64.10^{-27}\times0{,}04\times(5.10^5)^2\frac{0{,}01}{1{,}60.10^{-19}\times0{,}05^2}=1{,}66.10^3\,V$

<u>Données</u> : $v_0=5{,}00.10^5$ m/s, E=U/d ; $e=1{,}60.10^{-19}$ C ; $m_\alpha=6{,}64.10^{-27}$ kg ; l=5,00cm ; d=4,00cm

Exploiter la 2e loi de Newton pour montrer que la quantité de mouvement d'un système isolé ou pseudo-isolé se conserve

Interpréter un phénomène de propulsion par réaction à l'aide d'un bilan qualitatif de quantité de mouvement

Capexo 22 - Vrai ou faux :

a- Si la valeur du vecteur quantité de mouvement est constante, alors le vecteur quantité de mouvement est constant. FAUX, la direction peut changer b- Le vecteur quantité de mouvement est colinéaire au vecteur vitesse VRAI

c- Les vecteurs vitesse et quantité de mouvement sont représentés par une échelle identique FAUX, pas la même unité pour les valeurs

d- Un garçon court et saute sur sa planche à roulettes. Le système {garçon+planche} est pseudo-isolé. Une fois sur sa planche à roulettes, sa vitesse va augmenter. FAUX, la vitesse reste constante

Capexo 23 - Un joueur de billard propulse une boule blanche à la vitesse V_1= 0,50 m.s^{-1} sur la boule rouge alors immobile.

Au moment du choc, la trajectoire de la boule rouge part avec une vitesse V_2=0,20 m.s^{-1} et fait 90° avec celle de la boule blanche incidente.

La masse des boules est m= 209 g

a- Quel est le référentiel d'étude ? le billard par exemple ou le référentiel terrestre

b- Appliquer la première loi de Newton et faire un schéma représentant les vecteurs quantité de mouvement avant et après le choc sans souci d'échelle.

La quantité de mouvement se conserve : $\overrightarrow{p_1} = \overrightarrow{p'_2} + \overrightarrow{p'_1}$

Avant : après

c- Appliquer la première loi de Newton pour déterminer la vitesse V'_1 de la boule blanche après le choc.

$\overrightarrow{p_1} = \overrightarrow{p'_1} + \overrightarrow{p'_2}$ les 3 vecteurs forment un triangle rectangle : $(p'_1)^2 + (p'_2)^2 = (p_1\ )^2$

on trouve V'_1= 0,46 m/s

Capexo 24 – Une balle de pistolet de masse m=2,0 g quitte le canon à la vitesse de 300 m.s^{-1}. Le système {balle + pistolet} est considéré comme pseudo-isolé. Le pistolet ayant une masse de 1,0kg, calculer la vitesse de recul du pistolet lorsque la balle est tirée.

Avant le tir la quantité de mouvement est nulle. Après le tir également et on peut en déduire : 2.10^{-3}x300=1xv où v est la vitesse du pistolet (vecteur dans le sens opposé au vecteur vitesse de la balle). On en déduit que la vitesse du pistolet vaut 0,6 m.s^{-1}.

Capexo 25 – Même exercice que le précédent avec un fusil de 4,0 kg.

On trouve 4 fois moins : 0,15m.s^{-1}.