Chapitre 1 : FORCES ET CHAMPS

A- L'ESSENTIEL DU COURS

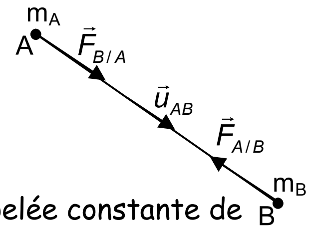
I Les forces de gravitation, le champ gravitationnel

I.1 Les forces de gravitation

Le physicien anglais Isaac Newton (1642-1727) est le premier à énoncer la loi d'attraction universelle. En contemplant le mouvement de chute d'une pomme, il eut l'idée de l'existence d'une force d'attraction universelle exercée par la terre sur tout corps solide ou liquide qui l'environne. Il énonce alors la loi de gravitation universelle pour deux corps ponctuels (c'est-à-dire deux corps de dimensions très petites devant la distance qui les sépare).

Enoncé de la loi d'attraction universelle : Deux corps ponctuels A et B de masses respectives m_A et m_B, exercent l'un sur l'autre des forces d'attraction directement opposées, dirigées suivant la droite (AB), d'intensités proportionnelles aux masses et inversement proportionnelles au carré de la distance séparant ces deux corps.

$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A} = -G \cdot \dfrac{m_A.m_B}{r^2} \cdot \vec{u}_{AB}$; avec $r = AB$ et $\vec{u}_{AB} = \dfrac{\overrightarrow{AB}}{AB} = \dfrac{\overrightarrow{AB}}{r} =$ vecteur unitaire de la droite (AB)



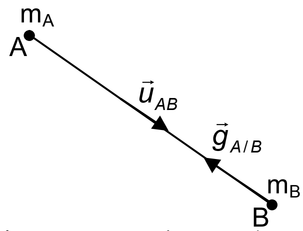
Nous en déduisons les intensités $F_{A/B} = F_{B/A} = G \cdot \dfrac{m_A \cdot m_B}{r^2}$;

$F_{A/B}$ *et* $F_{B/A}$ en Newton(N), la distance r en mètres(m),
m_A *et* m_B en kilogrammes(kg), G en $m^3.kg^{-1}.s^{-2}$. La constante G est appelée constante de gravitation universelle; Sa valeur approchée est : $G = 6,67.10^{-11} m^3.kg^{-1}.s^{-2}$.

Remarque : les forces d'attraction gravitationnelle s'exercent aussi bien à des distances astronomiques entre les corps célestes qu'à des distances microscopiques entre atomes, noyaux, etc.

I.2 Le champ gravitationnel

Considérons deux objets ponctuels (A) et (B) de masses respectives m_A et m_B placés en deux points A et B respectivement. La force d'attraction gravitationnelle exercée par (A) sur (B) a pour expression : $\vec{F}_{A/B} = -G \cdot \dfrac{m_A.m_B}{r^2} \cdot \vec{u}_{AB} = -G.\dfrac{m_A}{r^2} \cdot m_B \cdot \vec{u}_{AB}$.



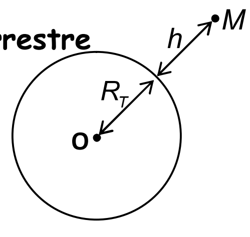
Posons $\vec{g}_{A/B} = -G.\dfrac{m_A}{r^2} \cdot \vec{u}_{AB}$, nous obtenons : $\vec{F}_{A/B} = m_B \cdot \vec{g}_{A/B}$ où $\vec{g}_{A/B}$ est le vecteur champ de gravitation créé par l'objet (A) en B.

N.B : $\vec{g}_{A/B}$ ne dépend pas de la masse placée en B; en plus, $\vec{g}_{A/B}$ existe même en l'absence de la masse m_B en B.

$F_{A/B}$ s'exprime en Newton (N); m_A et m_B en kilogrammes (kg); $g_{A/B}$ en Newton par kilogramme ($N.kg^{-1}$) ou en mètre par seconde carré($m.s^{-2}$);

- **Cas particulier de la terre : Champ de gravitation terrestre**

Supposons que la terre est une sphère de centre O, de rayon R_T et de masse M_T.



En un point M situé à une distance $r = R_T + h$ où h est l'altitude du point M, la terre crée un champ de gravitation $\vec{g}_h = -G \cdot \dfrac{M_T}{r^2} \cdot \vec{u}$ avec $\vec{u} = \dfrac{\overrightarrow{OM}}{r} = \dfrac{\overrightarrow{OM}}{OM}$;

Puisque $r = R_T + h$, nous pouvons écrire :

$$\vec{g}_h = -G \cdot \frac{M_T}{(R_T + h)^2} \cdot \vec{u}.$$

Nous en déduisons l'intensité du champ de gravitation en M, $g_h = G \cdot \frac{M_T}{(R_T + h)^2} = G \cdot \frac{M_T}{r^2}$.

Au point M_0 d'altitude nulle(h = 0), l'intensité de la pesanteur a pour expression : $g_0 = G \cdot \frac{M_T}{R_T^2}$;

Relation entre g_h et g_0

Nous avons établi : $g_h = G \cdot \frac{M_T}{(R_T + h)^2}$ et $g_0 = G \cdot \frac{M_T}{R_T^2}$;

$$\frac{g_h}{g_0} = \frac{G \cdot \frac{M_T}{(R_T + h)^2}}{G \cdot \frac{M_T}{R_T^2}} = \frac{G.M_T}{(R_T + h)^2} \times \frac{R_T^2}{G.M_T} \Rightarrow \frac{g_h}{g_0} = \frac{R_T^2}{(R_T + h)^2};$$

Nous en déduisons $g_h = g_0 \cdot \frac{R_T^2}{(R_T + h)^2}$, Où g_0 est l'intensité du champ de gravitation terrestre à l'altitude $h = 0$ (au niveau de la mer).

Remarque : Pour de faibles altitudes (h <<R_T), nous avons $g_h \approx g_0 \cdot \left(1 - \frac{2h}{R_T}\right)$;

Démonstration :

$$\frac{g_h}{g_0} = \frac{R_T^2}{(R_T + h)^2} = \frac{R_T^2}{R_T^2\left(1 + \frac{h}{R_T}\right)^2} = \frac{1}{\left(1 + \frac{h}{R_T}\right)^2} \Rightarrow g_h = g_0 \cdot \left(1 + \frac{h}{R_T}\right)^{-2};$$

Posons $\varepsilon = \frac{h}{R_T}$; sachant que h<< R_T, nous avons $\varepsilon << 1$; puis $(1+\varepsilon)^n \approx 1 + n\varepsilon$;

Ainsi, $g_h = g_0 \cdot (1+\varepsilon)^{-2}$; avec $\varepsilon << 1 \Rightarrow g_h \approx 1 - 2\varepsilon$

Nous obtenons finalement, $g_h \approx g_0\left(1 - \frac{2h}{R_T}\right)$.

Nous pouvons déduire de ce qui précède l'expression de la diminution relative du champ de pesanteur terrestre avec l'altitude, $\frac{g_0 - g_h}{g_0} = \frac{2h}{R_T}$.

Bon à savoir :

On appelle champ de gravitation terrestre toute région de l'espace où un corps de masse non nulle est soumis à une force d'attraction gravitationnelle exercée par la terre.

Ne pas confondre champ de gravitation et champ de pesanteur; Toutefois, du fait de la faible différence entre les deux grandeurs (de l'ordre de 3.10^{-4}), nous pouvons les considérer égales; ce qui nous permet alors de confondre le poids à la force d'attraction gravitationnelle.

N.B : dans une région de dimensions assez limitées, nous pouvons admettre que le champ de pesanteur terrestre est uniforme.

Remarque : La terre n'étant pas rigoureusement sphérique, l'intensité de la pesanteur varie selon le lieu où l'on se trouve.

II Les forces électriques et le champ électrique

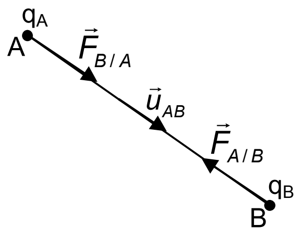
II.1 Définitions et généralités

Electrostatique : c'est l'étude de l'équilibre des charges électriques;
Electrisation : procédé qui consiste à créer un excédent de charg en certains points d'un corps, C'est-à-dire à lui faire gagner ou perdre des électrons.
Les expériences ont montré qu'il existe deux types d'électricité (de charges) : l'électricité (la charge) positive et l'électricité (la charge) négative.

Bon à savoir : toute substance électriquement neutre contient les deux espèces d'électricité en quantités égales;

II.2 Les forces électriques, interaction entre charges, Loi de Coulomb

- Deux objets chargés d'électricité de signes différents s'attirent;
- Deux objets chargés d'électricité de même signe se repoussent.



Enoncé de la loi de coulomb : La force d'attraction ou de répulsion qui s'exerce entre deux charges q_A *et* q_B placées respectivement en A et B est:

- dirigée suivant la droite (AB);
- proportionnelle aux charges q_A *et* q_B ;
- inversement proportionnelle au carré de la distance qui sépare les deux charges;
- d'intensité $F = \frac{K|q_A|.|q_B|}{AB^2}$; avec AB en mètres(m), q_A *et* q_B en coulomb(C),

F en Newton(N), $K=9.10^9$USI.

D'une manière générale, l'expression vectorielle qui met en évidence la nature répulsive ou attractive de l'interaction entre deux charges est : $\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A} = \frac{K.q_A.q_B}{AB^2} \cdot \vec{u}_{AB}$

$$avec\ \ \vec{u}_{AB} = \frac{\overrightarrow{AB}}{AB}\ \ et\ \ AB = \left\|\overrightarrow{AB}\right\|$$

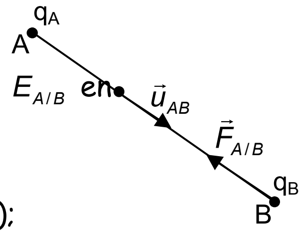
II.3 Le champ électrique

II.3.1 Définition : On dit qu'il règne en un point de l'espace un champ électrique $\vec{E}$ si une charge électrique q placée en ce point subit une force $\vec{F}$ telle que $\vec{F} = q\vec{E}$.

Si nous considérons les charges q_A et q_B précédentes, nous pouvons écrire :

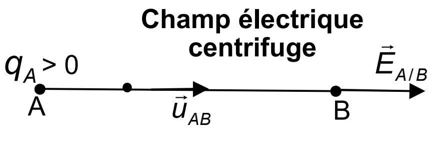
$\vec{F}_{A/B} = \frac{K.q_A \cdot q_B}{AB^2} \cdot \vec{u}_{AB} = q_B \cdot \left(\frac{K.q_A}{AB^2} \cdot \vec{u}_{AB}\right)$; Sachant que, $\vec{F}_{A/B} = q_B \cdot \vec{E}_{AB} \Leftrightarrow \frac{K.q_A \cdot q_B}{AB^2} \cdot \vec{u}_{AB} = q_B \cdot \vec{E}_{AB}$

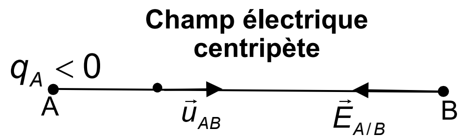
Nous en déduisons l'expression du champ électrique créé par la charge q_A en B, c'est-à-dire $\vec{E}_{A/B} = \frac{Kq_A}{AB^2}\vec{u}_{A/B}$;



Par conséquent, $E_{A/B} = \frac{K|q_A|}{AB^2}$; Avec q_A en coulomb(C), AB en mètres(m), $E_{A/B}$ en volt par mètre($V.m^{-1}$) ou en Newton par coulomb($N.C^{-1}$).

Remarque : Si $q_A < 0$, le champ $\vec{E}_{A/B}$ est centripète(dirigé de B vers A);
Si $q_A > 0$, le champ $\vec{E}_{A/B}$ est centrifuge(dirigé de A vers B);

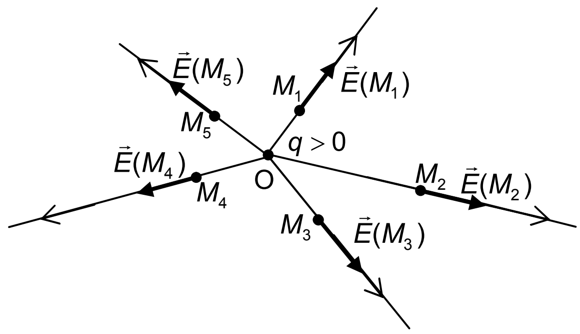




III.3.2 Lignes de champ

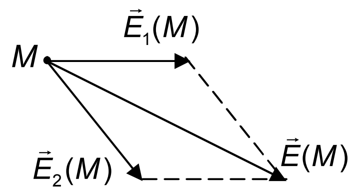
Les lignes de champ sont des lignes tangentes en chacun de leurs points au vecteur champ électrostatique. Ces lignes sont en général orientées dans le sens du vecteur champ électrique.

Exemple : Pour une charge $q > 0$ placée en un point O, les lignes de champ et les vecteurs champ en plusieurs points situés autour de O se présentent comme ci-contre:



II.3.3 Superposition de champs électriques en un point

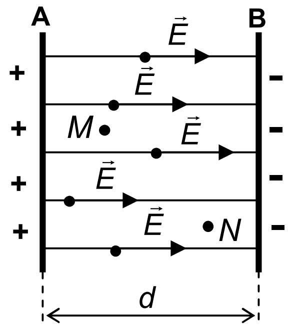
La superposition en un point M de deux champs électriques $\vec{E}_1(M)$ et $\vec{E}_2(M)$ donne un champ résultant $\vec{E}(M)$ tel que, $\vec{E}(M) = \vec{E}_1(M) + \vec{E}_2(M)$.



D'une manière générale, le champ électrique résultant $\vec{E}(M)$ créé en M par plusieurs charges ponctuelles est égal à la somme vectorielle des champs créés par chacune des charges en M.
Ainsi, pour n charges ponctuelles $q_1, q_2, ..., q_n$ créant chacune en M un champ électrique $\vec{E}_1(M), E_2(M), \cdots, \vec{E}_n(M)$, le champ résultant en M s'obtient par la relation vectorielle
$\vec{E}(M) = \vec{E}_1(M) + \vec{E}_2(M) + \cdots + \vec{E}_n(M)$; C'est-à-dire, $\vec{E}(M) = \sum_{i=1}^{n}\left[\vec{E}_i(M)\right]$.

II.3.4 Champ électrique uniforme

Un champ électrique est dit uniforme lorsque tous les vecteurs champ électrique ont la même direction, la même intensité et le même sens.
On réalise un champ uniforme en disposant face à face deux plaques chargées d'électricité de signes contraires.



Soient V_A et V_B les potentiels électriques des plaques A et B respectivement, la différence de potentiel U_{AB} entre les deux plaques est liée au champ électrique $\vec{E}$ par la relation :
$U_{AB} = V_A - V_B = \vec{E}.\overrightarrow{AB}$.
Etant donné que les vecteurs $\vec{E}$ et $\overrightarrow{AB}$ sont parallèles et de même sens, le produit scalaire
$\vec{E}.\overrightarrow{AB} = E.AB.\cos 0 \Rightarrow \vec{E}.\overrightarrow{AB} = E.AB;$
Si nous posons $AB = d$, nous obtenons, $U_{AB} = V_A - V_B = E.d$.
D'une façon générale, la différence de potentiel entre deux points M et N du champ électrique uniforme se calcule par la relation : $U_{MN} = \vec{E}.\overrightarrow{MN} = E.MN.\cos\left(\vec{E}, \overrightarrow{MN}\right)$.

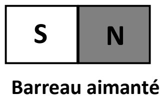
<u>Bon à savoir</u> : Lorsqu'un champ électrique est uniforme, les lignes de champ sont des droites parallèles; réciproquement, si les lignes de champ sont parallèles, le champ électrique est uniforme.

III Les forces magnétiques, le champ magnétique

III.1 Généralités

III.1.1 Les aimants

Définition : Un aimant est un corps qui possède la propriété d'attirer le fer et les objets ferromagnétiques. Un aimant peut être naturel (cas de l'oxyde de fer ou magnétite) ou artificiel(cas des électroaimants).
On appelle électroaimant tout aimant qui fonctionne à l'aide du courant électrique.
Tout aimant possède deux pôles différents : Un pôle **nord** et un pôle **sud**.



Barreau aimanté

III.1.2 Interaction électromagnétique

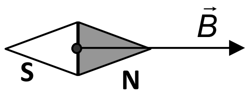
En approchant un aimant d'un autre, on constate qu'ils interagissent différemment suivant les pôles en regard. Deux pôles de même nom se repoussent, alors que deux pôles de noms contraires s'attirent.

III.2 Le champ magnétique

III.2.1 définition : On appelle champ magnétique toute région de l'espace dans laquelle une aiguille aimantée est soumise à des forces magnétiques.

III.2.2 Le vecteur champ magnétique

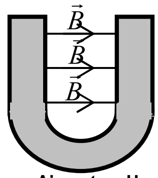
Il se note $\vec{B}$ et ses caractéristiques sont:



- **Origine** : un point du champ magnétique ;
- **Direction** : celle de l'aiguille aimantée ;
- **Sens** : du pôle Sud vers le pôle nord de l'aiguille ;
- **Intensité** : Grandeur mesurable dont l'unité est le Tesla (T).

<u>Bon à savoir</u> : L'intensité du champ magnétique se mesure à l'aide d'un appareil appelé teslamètre.

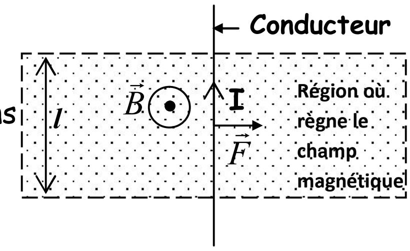
<u>Remarque</u> : Un champ magnétique est dit uniforme lorsque le vecteur champ $\vec{B}$ a la même direction, le même sens et la même intensité en tout point de l'espace où il règne.
Ce champ existe entre les branches d'un aimant en U.
Les lignes de champ sont dans ce cas des droites parallèles et perpendiculaires aux deux armatures de l'aimant en U.



Aimant en U

III.3 Action d'un champ magnétique sur un conducteur ou sur une charge

III.3.1 Action d'un champ magnétique sur une portion de conducteur parcouru par un courant : Force de Laplace



Enoncé de la loi de Laplace : Une portion de conducteur de longueur l, parcourue par un courant d'intensité I, plongée dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$, est soumise à une force électromagnétique dite de Laplace $\vec{F} = I.\vec{l} \wedge \vec{B}$.

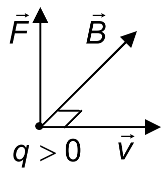
Les caractéristiques de la force de Laplace $\vec{F}$ sont :
- Point d'application : le milieu de l'élément de circuit plongé dans le champ magnétique;
- Direction : orthogonale au plan formé par $I\vec{l}$ et $\vec{B}$;
- Sens : tel que le trièdre formé par les vecteurs $I\vec{l}$, $\vec{B}$ et $\vec{F}$ soit direct;

<u>N.B</u> : étant donné que $\vec{F}, \vec{Il}$ et $\vec{B}$ forment un trièdre direct, leurs sens peuvent être déterminés par la règle des trois doigts de la main droite avec successivement :
- Le pouce (tendu) comme sens du courant(ou de $\vec{Il}$) ;
- l'index (tendu perpendiculairement au pouce) comme sens du champ magnétique $\vec{B}$;
- Le majeur(tendu perpendiculairement au pouce et à l'index) comme sens de la force $\vec{F}$.

- Intensité : $F = Il.B.\sin\left(\vec{Il}, \vec{B}\right)$; avec I en Ampère(A), *l* en mètres(m), B en tesla(T); F en Newton(N).

III.2 Action d'un champ magnétique sur une particule chargée : force de Lorentz

Une particule ponctuelle de charge q, en mouvement à la vitesse $\vec{V}$ dans une région où règne un champ magnétique $\vec{B}$, est soumis à une force magnétique $\vec{F}$ donnée par la relation vectorielle $\vec{F} = q\vec{V} \wedge \vec{B}$.



<u>Bon à savoir</u> : Nous pouvons établir l'expression de la force de Lorentz en partant de la force de Laplace.

Posons $\vec{l} = \vec{V}.t$ et $I = \frac{q}{t}$ puis substituons ces deux grandeurs dans l'expression de la force de Laplace $\vec{F} = I.\vec{l} \wedge \vec{B}$, nous obtenons : $\vec{F} = \frac{q}{t}\vec{V}t \wedge \vec{B} \Rightarrow \vec{F} = q\vec{V} \wedge \vec{B}$

B- ENONCES DES EXERCICES

FORCES DE GRAVITATION. CHAMP GRAVITATIONNEL

N.B : Dans tous les exercices, prendre G = $6{,}67.10^{-11} m^3.kg^{-1}.s^{-2}$

Exercice 1.1

Répondre par **« Vrai »** ou **« Faux »** puis justifier.

1) Les forces d'attraction gravitationnelle ne s'exercent qu'à des distances astronomiques.
2) La terre n'étant pas rigoureusement sphérique, l'intensité de la pesanteur varie selon le lieu où l'on se trouve.
3) L'intensité du vecteur champ de gravitation terrestre croît avec l'altitude.
4) L'intensité g_h du champ de gravitation terrestre à une altitude h est obtenue par la relation:

$$g_h = g_0 \cdot \frac{R_T^2}{(R_T + h)^2}$$ où g_0 est l'intensité de la pesanteur à l'infini.

5) Soient deux masses voisines m et m' telles que m = 2m', l'intensité de la force qu'exerce m sur m' est la moitié de celle qu'exerce m' sur m.
6) Dans la relation P = mg donnant le poids d'un corps de masse m, la grandeur g est l'intensité du champ de gravitation
7) Le champ de pesanteur et le champ de gravitation représentent une seule et même grandeur.
8) Dans une région de dimensions assez limitées, nous pouvons admettre que le champ de pesanteur terrestre est uniforme.
9) Le champ de gravitation terrestre est centrifuge.
10) Si la masse m d'un satellite est négligeable devant celle de l'objet autour duquel il tourne, alors la force exercée par l'objet sur le satellite est négligeable devant celle exercée par le satellite sur l'objet.

Exercice 1.2

1) Enoncer la loi de gravitation universelle.
2) Cette loi est elle valable pour toutes les planètes du système solaire ?

Exercice 1.3

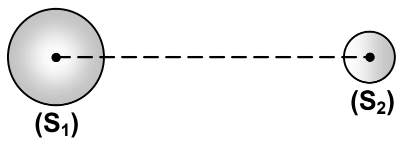
1) Définir : champ de gravitation terrestre
2) Quelle est l'unité de l'intensité du vecteur champ de gravitation terrestre?

Exercice 1.4

1) Quelle est l'expression du vecteur champ de gravitation terrestre à une altitude h quelconque?
2) En déduire l'expression de l'intensité g_m du vecteur champ de gravitation terrestre au niveau de la mer.

Exercice 1.5

Considérons les deux solides (S_1) et (S_2) ci-contre, de masses m_1 et m_2 respectivement, ayant chacun une répartition sphérique homogène de masse.



1) Quelle est la nature des forces qu'exercent les deux solides l'un sur l'autre?
2) Représenter ces deux forces. **N.B: O**n notera $\vec{F}_{1/2}$ la force exercée par (S_1), puis $\vec{F}_{2/1}$ l'autre force.
3) Comparer les caractéristiques de ces deux forces.

Exercice 1.6

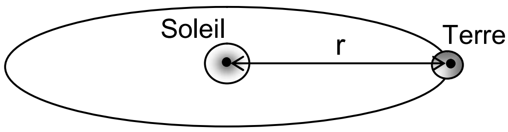
On place côte à côte deux masses identiques de rayon r = 2cm et de masse 750g.
Sachant que les centres des deux sphères pleines et homogènes sont distants de d=50cm,
1) Schématiser ce système de façon à mettre en évidence les forces gravitationnelles existant entre les deux masses.
2) Calculer l'intensité de ces forces.

Exercice 1.7

1) Combien d'électrons et de protons contient un atome d'hydrogène?
2) Faire une représentation schématique de l'atome d'hydrogène de façon à mettre en évidence ses différents constituants ainsi que la trajectoire de l'électron.
3) Comparer la force électrostatique et la force d'interaction gravitationnelle que subit l'électron de la part du seul proton de cet atome.
On donne : masse de l'électron m_e = $9{,}1.10^{-31}$kg; masse du proton m_p = $1{,}67.10^{-27}$kg, $K = 9.10^9 USI$, charge élémentaire $e = 1{,}6.10^{-19} C$, distance proton-électron $r = 1Å$.
4) Déduire de cette comparaison l'incapacité de la loi d'attraction gravitationnelle à expliquer les interactions fortes présentes dans l'atome.

Exercice 1.8

Le schéma ci-contre est une modélisation de l'orbite du centre de la Terre dans son mouvement autour du soleil. Montrer que la Terre et le soleil peuvent être assimilés à des corps ponctuels dans la détermination du champ de gravitation solaire sur l'orbite du centre de la Terre.



On donne : rayon de l'orbite de la terre $r = 1{,}5.10^8 km$, rayon de la terre $R_T = 6380 km$, rayon du soleil $R_S = 6{,}96.10^5 km$.

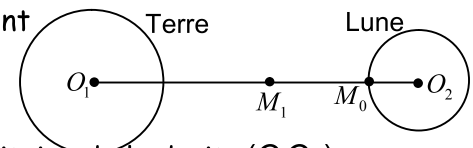
Exercice 1.9

Considérons la relation suivante : $g_h = g_0 \cdot \dfrac{R_T^2}{(R_T + h)^2}$;

1) Identifier chacune des grandeurs figurant dans cette relation.
2) Avec quelle hypothèse cette relation a-t-elle été établie?
3) Montrer que pour $h << R_T$, nous avons $g_h \approx g_0 \cdot \left(1 - \dfrac{2h}{R_T}\right)$.
4) En déduire l'expression de la variation relative $\dfrac{g_0 - g_h}{g_0}$ de l'intensité du champ de gravitation.
5) Calculer cette variation relative à une altitude h = 5km. **On donne** : $R_T = 6400 km$.

Exercice 1.10

1) Déterminer l'intensité du champ de gravitation terrestre au point M_0 de la surface de la lune. **On donne** : masse de la Terre $M_T = 5{,}98.10^{24} kg$, masse de la lune $M_L = 7{,}34.10^{22} kg$, rayon de la terre $R_T = 6400 km$, rayon de la lune $R_L = 1740 km$, distance séparant les centres de gravité de la terre et de la lune $r = 3{,}84.10^5 km$.
2) Déterminer l'altitude h_1 par rapport à la Terre du point M_1 situé entre la Terre et la lune et sur le segment $[O_1O_2]$, où les champs de gravitation de la Terre et de la lune se compensent. **N.B** : $\vec{u} =$ vecteur unitaire de la droite (O_1O_2).



Exercice 1.11

Un satellite de la terre est abandonné à une altitude $h_0 = 5.10^4 km$ de la terre. Ce satellite effectue des rotations autour de la terre mais perd à chaque tour le dix millième de l'altitude qu'il avait au tour précédent. **N.B** : Dans tout l'exercice, nous assimilons la Terre et le satellite à des solides ponctuels.

On prendra : Masse du satellite $M_0 = 360t$; masse de la Terre $M_T = 5,98.10^{24} kg$.

1) Définir satellite de la Terre.

2) Etablir l'expression de l'altitude h_n de ce satellite à la fin du $n^{ième}$ tour en fonction de h_0 et n.

3) En déduire l'intensité du champ de gravitation terrestre au centre de ce satellite à la fin du dixième tour.

On donne : rayon de la Terre $R_T = 6400km$, masse de la Terre : $M_T = 5,98.10^{24} kg$.

4) Au bout de combien de tours (à partir de l'instant où on lâche ce satellite), deviendra-t-il géostationnaire? On rappelle qu'un satellite de la Terre est dit géostationnaire lorsque son altitude est d'environ $h_s = 36000km$.

5) Calculer alors la variation de la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre sur le satellite entre l'instant où on le lâche et l'instant où il devient stationnaire.

6) En réalité, la masse du satellite ne reste pas constante car il consomme pendant son mouvement du carburant. Sachant que les masses de carburant restant dans le réservoir du satellite après chaque tour évoluent selon une progression géométrique de raison $q_0 = 0,98$ et de valeur initiale $m_0 = 30t$.

6.1) Déterminer l'expression de l'intensité du champ de gravitation terrestre au centre du satellite à la fin du $n^{ième}$ tour.

6.2) En déduire l'expression de la force d'attraction gravitationnelle à laquelle est soumis le satellite dès qu'il atteint l'altitude h_s

FORCES ELECTROSTATIQUES. CHAMP ELECTROSTATIQUE

Exercice 1.12

Répondre par "**Vrai**" ou "**Faux**" puis justifier

1) Une particule qui a gagné 5 électrons a une charge $q = 8.10^{-9}C$

2) Toute substance électriquement neutre contient les deux espèces d'électricité en quantités égales;

3) L'intensité de la force de répulsion qu'exercent l'un sur l'autre deux électrons voisins est proportionnelle à la distance qui les sépare.

4) La force de pesanteur est en général négligée dans les problèmes d'électrostatique parce qu'elle n'agit qu'en l'absence de champ électrique.

5) L'intensité de la force électrostatique exercée par une charge q sur une charge q' = 10q vaut dix fois l'intensité de celle qu'exerce q' sur q.

6) Si une charge q_A placée en un point A exerce sur une charge q_B située à une distance d telle que d = AB une force d'intensité F, pour une distance d'=2d on aura une force F' telle que F' = 4F.

7) Un champ électrique est dit uniforme lorsque tous les vecteurs champ en divers points ont le même sens et la même intensité.

Exercice 1.13

1) Enoncer la loi de Coulomb.

2) Cette loi est elle valable : a) pour des atomes? b) pour des ions?

Exercice 1.14

1) Définir : champ électrostatique.

2) Quelle est l'unité de l'intensité du vecteur champ électrostatique?

Exercice 1.15
Déterminer la nature et l'intensité de la force électrostatique s'exerçant entre deux électrons libres distants de $d = 10^{-10} m$. On donne $e = 1,6.10^{-19} C$.

Exercice 1.16
Compléter le tableau ci-dessous par "**répulsion**" ou "**attraction**"

	Ion calcium Ca^{2+}	Ion hydroxyde OH^-	électron	proton
Electron				
proton				

Exercice 1.17
Une charge $q = 10^{-6} C$ est placée à l'origine O d'un repère orthonormé $(O;\vec{i},\vec{j})$, unité sur les axes 1cm.
1) Déterminer les caractéristiques du vecteur champ électrique $\vec{E}$ créé en $M(4;2)$.
2) En déduire les caractéristiques de la force électrostatique $\vec{F}$ que subirait une charge $q' = -2q$ placée en M.

Exercice 1.18
Deux charges électriques q_A et q_B distantes de 10cm et placées sur l'horizontale exercent l'une sur l'autre une force F = 0,9N. Sachant que $q_A = -q_B$ avec $q_A > 0$,
1) Déterminer les caractéristiques de la force $\vec{F}_{B/A}$ qu'exerce q_B *sur* q_A.
2) Déterminer les valeurs de q_A et q_B.
3) En un point C du segment $[AB]$, on place une charge q_C qui subit de la charge q_B une force répulsive de norme $F_{B/C} = 2F_{B/A}$. Sachant que AC = 4cm, déterminer q_C.
4) Calculer la norme de la force résultante $\vec{F}_C$ subie par q_C de la part de q_A et q_B.

Exercice 1.19
Une charge q placée en un point O de l'espace crée un champ électrostatique $\vec{E}(M)$ en un point M situé à une distance x de O.
1) Quelle est l'expression vectorielle du vecteur champ électrostatique $\vec{E}(M)$.
2) Représenter ce champ pour $q < 0$.
3) Donner les caractéristiques de ce champ électrostatique.
4) On place en M une charge témoin $q' > 0$. On constate que celle-ci se met spontanément en mouvement. A quoi est dû ce déplacement spontané? Dans quel sens se déplace la charge q' ?

Exercice 1.20
Trois charges électriques ponctuelles identiques $q = 5.10^{-8} C$ sont placées aux sommets A, B et C d'un carré (ABCD) de coté a = 4cm. Elles y sont maintenues en équilibre par un dispositif approprié.
1) déterminer l'intensité du champ électrique $\vec{E}$ créé par les 3 charges au 4ème sommet D du carré.
2) On place en D une charge inconnue $q_0 < 0$. Dans quel sens se déplace-t-elle?
3) Les quatre sommets du carré sont maintenant occupés par quatre charges identiques $q = 5.10^{-8} C$. Déterminer l'intensité du champ électrique résultant $\vec{E}(O)$ en O, centre de gravité du carré.

Exercice 1.21

Deux charges ponctuelles $q_1 = 2.10^{-6}C$ et $q_2 = 8.10^{-6}C$ sont placées respectivement en deux points A et B distants de d = 50cm.

1) Déterminer les caractéristiques du vecteur champ électrostatique en O milieu du segment $[AB]$.

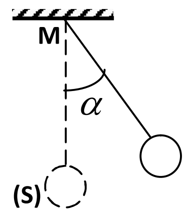
2) Déterminer la position du point C du segment $[AB]$ où la résultante des champs électriques créés par les deux charges est nulle.

Exercice 1.22

Un pendule électrostatique est constitué d'une petite sphère (S) ponctuelle de masse m = 10g suspendue en un point fixe M à un fil isolant inextensible. On place ce pendule dans un champ électrostatique uniforme E = 5.10^4V.m^{-1}.

A l'équilibre, le fil du pendule fait alors un angle α avec la verticale.

On donne : g = 10m.s^{-2}, longueur du fil $l = 1m$, charge de la sphère (S) $q_1 = 10^{-6}C$.



1) définir : champ électrique uniforme.

2) compléter la figure ci-contre en matérialisant les lignes de champ dans lesquels baigne le pendule

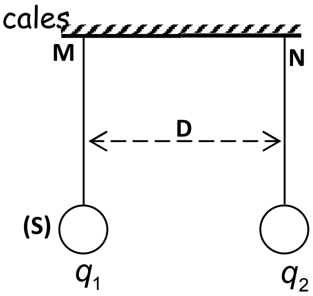
3) déterminer la valeur de l'angle α.

4) En un point N situé à D = 10cm de M, on fixe un second pendule de même masse mais de charge q_2 négative. A l'équilibre, les fils des deux pendules font chacun un angle $\theta = 2°$ avec les verticales passant par M et N.

Les deux pendules en équilibre étant hors du champ électrique précédent, déterminer :

4.1) La distance d séparant les centres de gravité des deux pendules à l'équilibre.

4.2) La valeur de la charge q_2 du second pendule.



Exercice 1.23

Une particule M ayant perdu deux électrons est en équilibre entre deux plateaux métalliques A et B horizontaux et distants de d = 50cm. Sachant qu'il existe entre les deux plateaux une ddp $U = 10^5 V$,

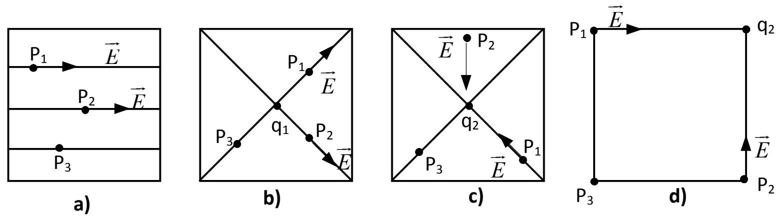
1) Illustrer à l'aide d'un schéma clair les signes des deux plateaux, l'allure et le sens des lignes de champ électrostatique existant dans l'espace séparant les deux plateaux, ainsi que la force agissant sur la particule.

2) Calculer l'intensité du champ électrique $\vec{E}$ existant entre les plateaux A et B.

3) Déterminer le rayon de cette particule si elle est sphérique et de masse volumique ρ = 800kg.m^{-3}, g = 10m.s^{-2}, charge élémentaire e = 1,6.10^{-19}C.

Exercice 1.24

On a représenté dans quatre régions de l'espace les lignes de champ et quelques vecteurs $\vec{E}$



1) Déduire de ces figures le signe des charges q_1, q_2 et q_3.

2) Quelle est la nature du champ correspondant à la figure a ?

2) Représenter en respectant l'échelle, les vecteurs champ $\vec{E}$ en chacun des points P_3.

LES FORCES MAGNETIQUES ET LE CHAMP MAGNETIQUE

Exercice 1.25

Répondre par "**Vrai**" ou "**Faux**" puis justifier

1) Les lignes de champ sont des courbes qui en chacun de leurs points sont tangentes au vecteur champ magnétique.

2) Un tire-bouchon placé dans l'axe d'un solénoïde avance dans le sens du champ magnétique $\vec{B}$ lorsqu'il tourne dans le sens du courant électrique.

3) Le champ magnétique créé par une bobine parcourue par un courant électrique est un champ naturel.

4) Dans la règle du bonhomme d'ampère, le courant électrique traverse l'observateur de la tête vers les pieds.

Exercice 1.26

1) Définir : force de Lorentz

2) Ecrire l'expression de la force de Lorentz agissant sur une charge q se déplaçant dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ à la vitesse constante $\vec{V}$.

Exercice 1.27

Compléter les figures ci – dessous en représentant le vecteur qui manque, de façon que la force de Laplace soit correcte.

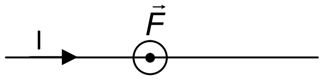


Figure a

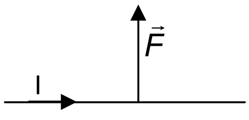


Figure b

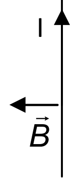


Figure c

Exercice 1.28

Dans chaque cas, représenter le vecteur inconnu de façon que la force de Lorentz soit correcte.

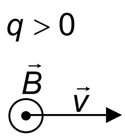


Figure a

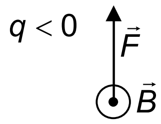


Figure b

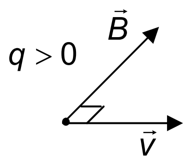


Figure c

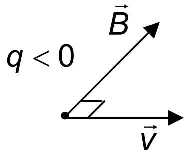


Figure d

Exercice 1.29

Un électron pénètre à la vitesse $\vec{V}$ dans une région où règne un champ magnétique uniforme vertical et descendant d'intensité $B = 0,2T$.

Sachant que cette vitesse est inclinée d'un angle $\alpha = 12°$ par rapport aux lignes de champ horizontales, Calculer la vitesse de cet électron sachant qu'il est soumis dans ce champ à la seule force de Lorentz d'intensité $F = 6,4.10^{-15} N$.

Exercice 1.30

Un courant d'intensité $I = 20A$ circule dans un fil (F_1) vertical et infiniment long.

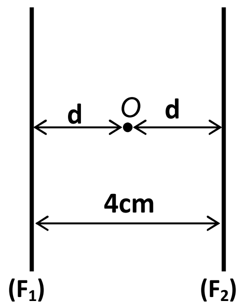
1) Calculer l'intensité B du champ créé par le fil en un point M situé à 2cm du fil.

2) Deux fils F_1 et F_2 infiniment longs sont placés dans le plan du méridien magnétique. En un point O équidistant des fils et contenu dans le même plan, on place une aiguille aimantée mobile autour d'un axe vertical.

2.1) quelle est la position prise par l'aiguille aimantée lorsque aucun courant ne passe dans les deux fils,

2.2) F_1 et F_2 sont traversés par deux courants de sens contraires et d'intensité $I_1 = I_2 = 2A$. De quel angle α dévie l'aiguille placée en O? **On donne** : $B_h = 2.10^{-5}T$.

2.3) Comment s'oriente l'aimant si I_1 et I_2 circulent dans le même sens.



Exercice 1.31

Une bobine plate de rayon $r = 5cm$ et comportant 50 spires est parcourue par un courant I. Son plan coïncide avec celui du méridien magnétique. Elle porte en son centre une aiguille aimantée qui dévie de $\alpha = 45°$.

1) Calculer l'intensité I du courant. **On donne** : composante horizontale du champ magnétique B_h = 2.10^{-5}T.

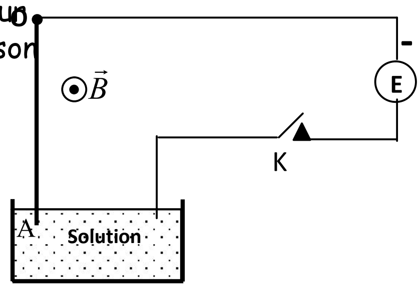
2) Calculer le module du champ magnétique résultant $\vec{B}$ au centre de la bobine.

Exercice 1.32

Un fil traverse l'entrefer d'un électroaimant. La longueur de la portion de fil immergée dans le champ magnétique $\vec{B}$ créé par l'électroaimant est L = 5cm.

A quelle force est soumise la portion de fil parcourue par un courant de 20A? On donne : B = 0,1T. **N.B** : Les lignes de champ sont supposées horizontales.

Exercice 1.33



OA est un fil de cuivre rigide, rectiligne, homogène, de longueur L, susceptible de se mouvoir dans un plan vertical, autour de son extrémité O.

L'extrémité A plonge dans une solution conductrice qui permet de maintenir le contact électrique avec un générateur de tension continue. L'intensité du courant dans le circuit est I. le circuit est plongé dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$, horizontal et orthogonal au plan de la figure.

On néglige la longueur de la partie du fil située dans la solution conductrice et on admet que la force électromagnétique est appliquée au milieu G du fil OA.

1) Dans quel sens dévie le fil OA au passage du courant ?

2) Représenter le fil OA et les différentes forces qui lui sont appliquées à l'équilibre.

3) Ecrire la relation traduisant l'équilibre du fil sachant que l'intensité du poids du fil OA est P.

4) Calculer l'angle de déviation du fil quand il atteint sa position d'équilibre dans le cas où : I = 5 A ; B = $2,5.10^{-2}$T ; L = 10 cm ; P = 9.10^{-2}N.

C- SOLUTIONS DES EXERCICES

Exercice 1.1

1) **Faux.** L'existence des forces d'attraction gravitationnelle ne dépend pas des corps en interaction.

2) **Vrai**. 3) **Faux**. L'intensité du champ de gravitation décroît avec l'altitude.

4) **Faux.** Dans l'expression $g_h = g_0 \cdot \dfrac{R_T^2}{(R_T + h)^2}$, g_0 est l'intensité de la pesanteur à l'altitude $h = 0$ (au niveau de la mer).

5) **Faux.** L'intensité de la force qu'exerce m sur m' est égale à l'intensité de la force qu'exerce m' sur m.

6) **Faux.** Rigoureusement, g est l'intensité du champ de pesanteur.

7) **Faux.** Les deux grandeurs sont différentes mais leurs valeurs sont très proches.

8) **Vrai**. 9) **Faux.** Le champ de gravitation terrestre est plutôt centripète.

10) **Faux.** Les deux objets exercent l'un sur l'autre des forces d'égale intensité.

Exercice 1.2

1) Enoncé de la loi d'attraction gravitationnelle : Voir cours, paragraphe I.1

2) Oui cette loi est valable pour toutes les planètes du système solaire ; c'est elle qui permet de comprendre la cohésion du système solaire.

Exercice 1.3

1) Définition champ d'attraction gravitationnelle : Voir paragraphe I.2.

2) Unité du vecteur champ de gravitation terrestre : mètre par seconde carré($m.s^{-2}$)

Exercice 1.4

1) A une altitude h, le vecteur champ de gravitation terrestre a pour expression

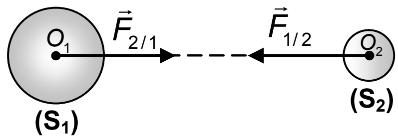
$$g_h = g_0 \cdot \frac{R_T^2}{(R_T+h)^2}.$$

2) Au niveau de la mer, $g_m = g_h(h=0) \Rightarrow g_m = g_0$.

Exercice 1.5

1) Les solides (S_1) *et* (S_2) exercent l'un sur l'autre une force d'attraction gravitationnelle.

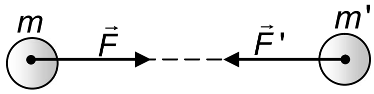
2) Comparons les caractéristiques de $\vec{F}_{1/2}$ et $\vec{F}_{2/1}$.



- Les points d'application des deux forces sont différentes ; O_1 pour $\vec{F}_{2/1}$ et O_2 pour $\vec{F}_{1/2}$;
- les deux forces ont la même direction, la droite (O_1O_2), mais des sens opposés.
- Les deux forces ont la même intensité : $F_{1/2} = F_{2/1} = G \cdot \frac{m_1 m_2}{(O_1O_2)^2}$.

Exercice 1.6

1) Schématisons le système



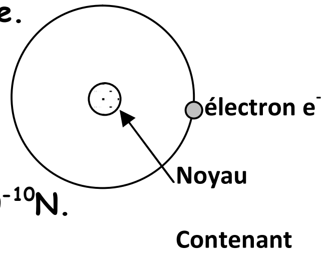
2) **Intensité des forces $\vec{F}$ et $\vec{F}'$**

$F = F' = G \cdot \frac{m.m}{d^2} \Rightarrow F = \frac{G.m^2}{d^2}$; **<u>A.N</u>** : $F = 6{,}67.10^{-11} \times \frac{0{,}75^2}{0{,}5^2}$; F **=1,5.10^{-10}N.**

Exercice 1.7

1) un atome d'hydrogène contient un électron et un proton.

2) représentation schématique de l'atome d'hydrogène.



3) Force électrostatique

$F = K \cdot \frac{e^2}{r^2}$; **<u>A.N</u>** : $F = 9.10^9 \times \frac{(1{,}6.10^{-19})^2}{(10^{-10})^2}$; F **=2,3.10^{-10}N.**

Force d'attraction gravitationnelle : $F' = G \cdot \frac{m_{e^+} m_{e^-}}{r^2}$;

<u>A.N</u> : $F = 6{,}67.10^{-11} \times \frac{1{,}67.10^{-27} \times 9{,}1.10^{-31}}{(10^{-10})^2}$; F' =1,01.10^{-49}N.

$\frac{F}{F'} = \frac{2{,}3.10^{-10}}{1{,}01.10^{-49}} \Rightarrow F = 2{,}3.10^{39} F'$;

4) étant donné que la force d'attraction gravitationnelle exercée par le proton sur l'électron est très petite devant la force électrostatique qu'il exerce sur ce même électron, nous pouvons conclure que l'interaction entre l'électron et le proton est quasiment électrostatique. D'où l'incapacité de la loi d'attraction gravitationnelle à expliquer les interactions fortes présentes dans l'atome.

Exercice 1.8

$\frac{R_T}{r} = \frac{6380}{1,5.10^8} \Rightarrow \frac{R_T}{r} = 4,25.10^{-5}$; $\frac{R_S}{r} = \frac{6,96.10^5}{1,5.10^8} \Rightarrow \frac{R_S}{r} = 4,64.10^{-3}$

Ces deux rapports nous prouvent que les rayons du soleil et de la terre sont très faibles devant la distance terre-soleil. Nous pouvons donc assimiler le soleil et la terre à des solides ponctuels lorsque nous représentons la trajectoire de la terre autour du soleil.

Exercice 1.9

1) Identifions chacune des valeurs de l'expression $g_h = g_0 \cdot \frac{R_T^2}{(R_T + h)^2}$

$g_h =$ intensité du champ de gravitation terrestre à l'altitude h ;
$g_0 =$ intensité du champ de gravitation terrestre au niveau de la mer ;
$h =$ altitude ; R_T = rayon de la terre.

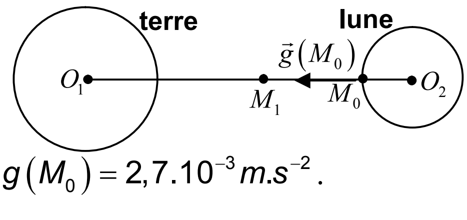
2) L'hypothèse fondamentale qui permet d'obtenir cette relation est l'assimilation de la forme de la terre à une sphère de rayon R_T .
3) Démonstration : Voir cours paragraphe I.2

4) Déduction de l'expression de la variation relative à une altitude $h = 5km$
Voir paragraphe I.2
5) Calculons la variation relative à une altitude $h = 5km$

$\frac{g_0 - g_h}{g_0} = \frac{2h}{R_T}$; **A.N :** $\frac{g_0 - g_h}{g_0} = \frac{2 \times 5.10^3}{6400.10^3}$; $\frac{g_0 - g_h}{g_0} = 1,6.10^{-3}$.

Exercice 1.10
1) Intensité du champ de gravitation terrestre au point M_0 de la surface de la lune

$g(M_0) = G \cdot \frac{M_T}{(O_1M_0)^2}$;



or $O_1M_0 = O_1O_2 - R_L \Rightarrow g(M_0) = G \cdot \frac{M_T}{(O_1O_2 - R_L)^2}$;

A.N : $g(M_0) = 6,67.10^{-11} \cdot \frac{5,98.10^{24}}{(3,84.10^8 - 1740.10^3)^2}$; $g(M_0) = 2,7.10^{-3} m.s^{-2}$.

2) Altitude par rapport à la lune du point M_1 où se compensent les champs de gravitation de la terre et de la lune

Soient $\vec{g}_1$ *et* $\vec{g}_2$ les champs de gravitation créés par la terre et la lune respectivement en M_1

$\vec{g}_1 = G.\frac{M_T}{(O_1M_1)^2} \cdot \vec{u}$ et $\vec{g}_2 = -G.\frac{M_T}{(O_2M_1)^2} \cdot \vec{u}$

$$\vec{g} = \vec{g}_1 + \vec{g}_2 \Leftrightarrow \vec{g} = G.\frac{M_T}{(O_1M_1)^2} \cdot \vec{u} - G.\frac{M_T}{(O_2M_1)^2} \cdot \vec{u} = G.M_T\left(\frac{1}{(O_1M_1)^2} - \frac{1}{(O_2M_1)^2}\right) \cdot \vec{u}$$

Nous en déduisons $g = G\left|\dfrac{M_T}{(O_1M_1)^2} - \dfrac{M_L}{(O_2M_1)^2}\right|$;

Or $O_1M_1 = R_T + h_1$ **(2)** Or $O_2M_1 = r - (R_T + h_1)$ **(3)**

(2) et (3) dans (1) : $g = G.\left|\dfrac{M_T}{(R_T + h_1)^2} - \dfrac{M_L}{(r - R_T - h_1)^2}\right|$;

$$g = 0 \Rightarrow \frac{M_T}{(R_T + h_1)^2} - \frac{M_L}{(r - R_T - h_1)^2} = 0 \Rightarrow (R_T + h_1)^2 M_L - (r - R_1 - h_1)^2 .M_T = 0$$

En résolvant cette équation, nous obtenons deux solutions parmi lesquelles une seule est bonne $h = \dfrac{(r - R_T)\sqrt{M_T} - R_T\sqrt{M_L}}{\sqrt{M_L} + \sqrt{M_T}}$;

A.N : $h = \dfrac{(3{,}84.10^8 - 6400.10^3)\sqrt{5{,}98.10^{24}} - 6400.10^3\sqrt{7{,}34.10^{22}}}{\sqrt{7{,}34.10^{22}} + \sqrt{5{,}98.10^{22}}}$; $h = \mathbf{3{,}39.10^8 m}$.

Exercice 1.11

1) On appelle satellite de la terre tout astre ou engin spatial qui gravite autour de la terre.
Bon à savoir : Les astres sont des satellites naturels alors que les engins sont des satellites artificiels car ils sont mis en orbite par propulsion dans l'atmosphère.

2) Expression de l'altitude h_n à la fin du $n^{ème}$ tour

$$h_1 = h_0 - \frac{1}{10.000}h_0 \Rightarrow h_1 = \frac{9999}{10.000}.h_0 \Rightarrow h_1 = 9999.10^{-4}h_0$$

$$h_2 = 9999.10^{-4}h_1 \Rightarrow h_2 = (9999.10^{-4})^2 h_0$$

Nous obtenons la relation de récurrence $h_n = (9999.10^{-4})^n h_0$ qui est de la forme $h_n = q^n h_0$.
Ces altitudes forment une suite géométrique de raison $q = 9999.10^4$.

3) Intensité du champ de gravitation au centre du satellite à la fin du 10ème tour

$g = G \cdot \dfrac{M_T}{(R_T + h_{10})^2}$; avec $h_{10} = q^{10}h_0$; par conséquent, $g = G \cdot \dfrac{M_T}{(R_T + q^{10}h_0)^2}$;

A.N : $g = 6{,}67.10^{-11} \cdot \dfrac{5{,}98.10^{24}}{\left[6400.10^3 + (9999.10^{-4})^{10} \times 5.10^7\right]^2}$; $g = 0{,}126 m.s^{-2}$

4) Nombre de tours au bout duquel le satellite devient géostationnaire

$$h_n = h_S \Leftrightarrow q^n h_0 = h_S \Rightarrow \ln(q^n h_0) = \ln h_S \Rightarrow n\ln q = \ln h_S - \ln h_0$$

$$\Rightarrow n = \frac{\ln h_S - \ln h_0}{\ln q} \; ; \; n = \frac{\ln 36.10^6 - \ln 5.10^7}{\ln 0{,}9999} \; ; \; n = 3285\, tours$$

5) Variation de la force d'attraction gravitationnelle

Nommons $\vec{F}_1$ *et* $\vec{F}_2$ les forces d'attraction gravitationnelle aux altitudes h_0 et h_S respectivement :

$$F_1 = G \cdot \frac{M_T M_0}{(R_T + h_0)^2} \; et \; F_2 = G \cdot \frac{M_T M_0}{(R_T + h_s)^2} \; ; \quad \Delta F = F_2 - F_1 = G.M_T.M_0\left[\frac{1}{(R_T + h_0)} - \frac{1}{(R_T + h_S)}\right]$$

A.N : $\Delta F = 6{,}67.10^{-11} \times 5{,}98.10^{24} \times 360.10^3 \left[\dfrac{1}{(6400.10^3 + 5.10^7)^2} - \dfrac{1}{(6400.10^3 + 36.10^6)^2}\right]$

$\Delta F = \mathbf{-3{,}47.10^4 N}$

6.1) Intensité du champ de gravitation terrestre au centre du satellite à la fin du n^{ième} tour

$g_n = G.\frac{M_T}{\left(R_T + h_n\right)^2}$, avec $h_n = q^n h_0; n = 3285 tours,\ q = 0,9999,\ h_0 = 5.10^7\, m$

$$g_n = G.\frac{M_T}{\left(R_T + q^n h_0\right)^2}$$

6.2) Déduisons-en l'intensité de la force d'attraction gravitationnelle à laquelle est soumise le satellite à l'altitude h_S

$F = M_n.g_n$ où $M_n = q_0^n m_0$, $n = 3285 tours$ et $g_n = G \cdot \frac{M_G}{\left(R_T + h_n\right)^2}$

A l'altitude h_S, nous avons $F = q_0^n \cdot m_0 \cdot G \cdot \frac{M_T}{\left(R_T + h_S\right)^2}$.

Exercice 1.12

1) Faux. Une particule qui gagne des électrons se charge positivement. **2) Vrai.**

3) Faux. Cette intensité est inversement proportionnelle à la distance qui sépare les deux électrons.

4) **Faux**. La force de pesanteur est négligée dans les problèmes d'électrostatique parce qu'elle est très faible par rapport à la force électrostatique.

5) **Faux**. Les deux intensités sont égales.

6) **Faux**. $F = K \cdot \frac{|q_A| \cdot |q_B|}{d^2}$; $F' = K \cdot \frac{|q_A| \cdot |q_B|}{(d')^2} = K \cdot \frac{|q_A| \cdot |q_B|}{(2d)^2} \Rightarrow F' = \frac{1}{4}F$

7) **Faux**. Les vecteurs champ en divers points d'un champ électrique uniforme ont une même direction, un même sens et une même intensité.

Exercice 1.13

1) voir cours paragraphe II.2

2.a) Cette loi n'est pas valable pour les atomes car ils sont électriquement neutres.

2.b) la loi de coulomb est valable pour les ions car ils sont porteurs de charge électrique.

Exercice 1.14

1) Voir cours paragraphe II.3.1

2) Unité de l'intensité du vecteur champ électrostatique : Newton par Coulomb ($N.C^{-1}$) ou Volt par mètre($V.m^{-1}$).

Exercice 1.15

Les deux électrons exercent l'un sur l'autre une force de répulsion $\vec{F}$ d'intensité $F = K \cdot \frac{e^2}{d^2}$;

<u>**A.N**</u> : $F = 9.10^9 \cdot \frac{\left(1,6.10^{-19}\right)}{\left(10^{-10}\right)^2}$; **$F = 2,3.10^{-10}$N**

Exercice 1.16

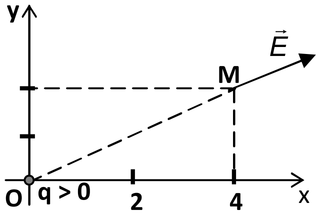
Complétons le tableau

	Ion calcium Ca^{2+}	Ion hydroxyde OH^-	électron	proton
Electron	**Attraction**	**répulsion**	**répulsion**	**Attraction**
proton	**répulsion**	**Attraction**	**Attraction**	**répulsion**

Exercice 1.17

1) Caractéristiques du vecteur champ électrique $\vec{E}$ en $M(4;2)$

- point d'application : le point M ; - Direction : oblique ;
- Sens : ascendant ; - Intensité : $E = \dfrac{K.|q|}{OM^2} = \dfrac{K.|q|}{x^2+y^2}$

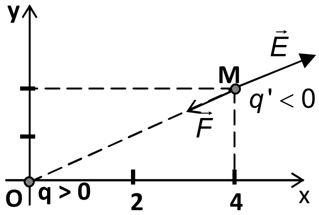


2) Déduction des caractéristiques de $\vec{F}$

$\vec{F} = q\vec{E}$ avec $q' = -2q$. Puisque $q' < 0$, $\vec{F}$ et $\vec{E}$ sont colinéaires et de sens contraires.

- Point d'application : le point M ; - Direction : oblique ;
- Sens : descendant ; - Intensité : $F = |q'|E = 2qE;$

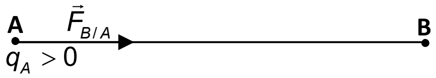
A.N : $F = 2\times10^{-6}\times4{,}5.10^{-6}$; **F = 9N.**



Exercice 1.18

1) Caractéristiques de $\vec{F}_{B/A}$ **Nous avons** $\vec{F}_{B/A} = K\cdot\dfrac{q_A\cdot q_B}{AB^2}\cdot\vec{u}$

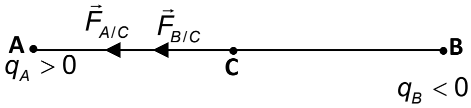
- Point d'application : le point A ; - Direction : verticale ;
- Sens : de A vers B ; - Intensité : $F_{B/A} = F = 0{,}9N$



2) Valeurs de q_A et q_B

$$F_{B/A} = K.\frac{q_A\cdot q_B}{AB^2} = K\frac{q_A^2}{AB^2} \Rightarrow q_A = AB\sqrt{\frac{F_{B/A}}{K}};\ \textbf{A.N}:\ q_A = 0{,}1\sqrt{\frac{0{,}9}{9.10^9}};\ q_A = 10^{-6}C;\ q_B = -10^{-6}C$$

.



3) Détermination de q_C

$$F_{B/C} = 2F_{B/A} \Leftrightarrow K.\frac{|q_B|\cdot|q_C|}{BC^2} = 2F_{B/A} \Rightarrow |q_C| = \frac{2F_{B/A}\cdot BC^2}{K.|q_B|}$$

La force $\vec{F}_{B/C}$ étant répulsive, q_B et q_C ont le même signe : le signe négatif.

Ainsi, $q_C = \dfrac{2F_{B/A}.BC^2}{K.|q_B|}$; **A.N** : $q_C = \dfrac{2\times0{,}9\times0{,}06^2}{9.10^9\times10^{-6}}$; **q_C = -7,2.10^{-7} C.**

4) Calcul de la norme de $\vec{F}_C$

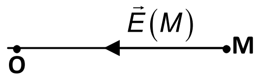
$\vec{F}_C = \vec{F}_{A/C} + \vec{F}_{B/C}$; puisque $\vec{F}_{A/C}$ et $\vec{F}_{B/C}$ sont colinéaires et de même sens,

$F_C = F_{A/C} + F_{B/C} \Rightarrow F_C = K\cdot\dfrac{|q_A|.|q_C|}{AC^2} + 2F_{B/A}$; **A.N** : **$F_C$ = 5,85N.**

Exercice 1.19

1) Expression vectorielle de $\vec{E}(M)$: $\vec{E}(M) = K\cdot\dfrac{q}{OM^2}\cdot\vec{u} = K\cdot\dfrac{q}{x^2}\cdot\dfrac{\overrightarrow{OM}}{OM}$

2) Représentons ce champ pour $q < 0$



3) Caractéristiques de $\vec{E}(M)$

- point d'application : le point M ; - direction : la droite (OM) ;
- sens : de M vers O ; - intensité : $E = \dfrac{K.|q|}{x^2}$.

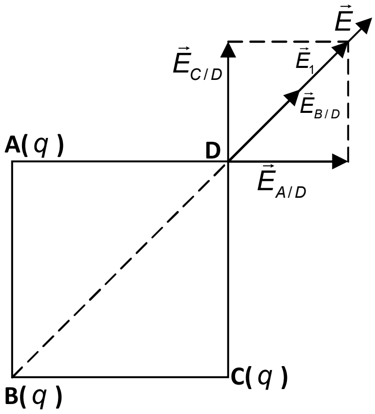
4) Ce déplacement est dû à la force qu'exerce la charge q sur q'.

Etant donné que $\vec{F} = q\vec{E}(M)$ avec $q' > 0$, les vecteurs $\vec{F}$ et $\vec{E}(M)$ ont le même sens ; la charge q' se déplace donc de M vers O.

Exercice 1.20

1) Calcul de l'intensité du champ $\vec{E}$ en D

$$\vec{E} = \vec{E}_{A/D} + \vec{E}_{B/D} + \vec{E}_{C/D} \text{ avec } E_{A/D} = E_{C/D} = K \cdot \frac{|q|}{a^2} \text{ et } E_{B/D} = K \cdot \frac{|q|}{\left(a\sqrt{2}\right)^2} = \frac{1}{2} E_{A/D}$$



Posons $\vec{E}_1 = \vec{E}_{A/D} + \vec{E}_{C/D} \Rightarrow \vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_{B/D}$;

Les vecteurs $\vec{E}_1$ et $\vec{E}_{B/D}$ étant colinéaires et de même sens,

$E = E_1 + E_{B/D}$

$E_1 = \sqrt{E_{A/D}^2 + E_{C/V}^2} = \sqrt{2E_{A/D}^2} \Rightarrow E_1 = E_{A/D}\sqrt{2}$;

Ainsi, $E = E_{A/D}\sqrt{2} + E_{B/D} = E_{A/D}\sqrt{2} + \frac{1}{2}E_{A/D} \Rightarrow E = \left(\frac{1}{2} + \sqrt{2}\right)E_{A/D}$

Nous obtenons finalement $E = \left(\frac{1}{2} + \sqrt{2}\right) \cdot \frac{K.|q|}{a^2}$;

A.N : $E = \left(\frac{1}{2} + \sqrt{2}\right) \cdot \frac{9.10^9 \times \left|5.10^{-8}\right|}{0{,}04^2}$; **E = 5,4.10⁵V/m.**

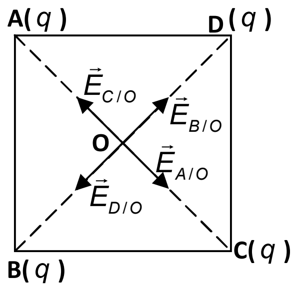
2) La charge q_0 placée en D sera soumise à une force $\vec{F}$ telle que : $\vec{F} = q_0\vec{E}$;

q_0 étant négative, elle se déplace dans un sens opposé à celui de $\vec{E}$.

q_0 se déplace donc de D vers B.

3) Intensité du champ résultant en O

$\vec{E}(O) = \vec{E}_{A/O} + \vec{E}_{B/O} + \vec{E}_{C/O} + \vec{E}_{D/O}$; Or $E_{A/O} = E_{B/O} = E_{C/O} = E_{D/O}$



$\vec{E}_{A/O}$ et $\vec{E}_{C/O}$ étant colinéaires et de sens contraires,

$\vec{E}_{A/O} + \vec{E}_{C/O} = \vec{0}$;

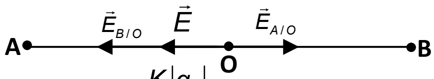
De la même façon, nous obtenons $\vec{E}_{B/O} + \vec{E}_{D/O} = \vec{0}$.

Donc $\vec{E}(O) = \vec{0} \Rightarrow E(O) = 0$.

Exercice 1.21

1) Caractéristiques du champ $\vec{E}$ en O milieu de $[AB]$

- Origine : le point O ; - Direction : la droite (AB) ;
- Sens : à déterminer plus bas;



- Intensité : puisque $\vec{E} = \vec{E}_{A/O} + \vec{E}_{B/O}$, nous avons $E_{A/O} = \frac{K|q_1|}{AO^2}$ et $E_{B/O} = \frac{K|q_2|}{BO^2}$

$|q_2| = 4|q_1| \Rightarrow E_{B/O} = 4E_{A/O}$; Donc $E = |E_{A/O} - E_{B/O}| = |E_{A/O} - 4E_{A/O}| \Rightarrow E = 3E_{A/O} = \frac{3K|q_1|}{AO^2}$

A.N : $E = 3 \times 9.10^9 \times \frac{2.10^{-6}}{0{,}25^2}$; **E = 8,64.10⁵V/m**

$E_{B/O} > E_{A/O} \Rightarrow$ le sens de $\vec{E}$ est identique à celui de $\vec{E}_{B/O}$, c'est-à-dire de B vers O.

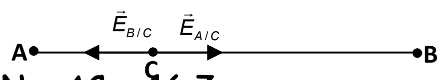
2) Position du point C

q_1 et q_2 ayant le même signe, le point C est situé entre A et B.

$$\vec{E}_C = \vec{E}_{A/C} + \vec{E}_{B/C} = \vec{0} \Rightarrow E_{A/C} = E_{B/C} \Rightarrow \frac{K|q_1|}{AC^2} = \frac{K|q_2|}{BC^2} \Rightarrow \frac{K|q_1|}{AC^2} = \frac{4K|q_1|}{BC^2};$$

Nous en déduisons $\frac{1}{AC^2} = \frac{4}{BC^2} \Rightarrow BC = 2AC$ **(1)**

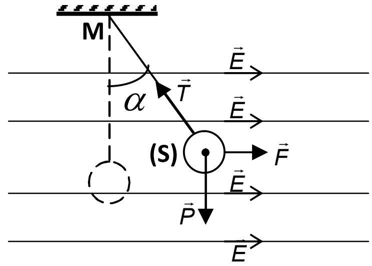
D'autre part, $BC = AB - AC$ **(2)**



(2) dans (1) donne : $2AC = AB - AC \Rightarrow AC = \frac{1}{3}AB$; **A.N** : **AC = 16,7 cm**

Exercice 1.22

1) Voir cours paragraphe II.3.1

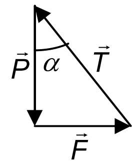


2) Complétons la figure

$\vec{F} = q_1\vec{E}$; q_1 étant positif, $\vec{F}$ et $\vec{E}$ sont colinéaires et de même sens

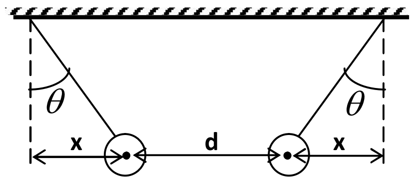
3) Déterminons la valeur de l'angle α

Le diagramme des forces s'exerçant sur ce pendule à l'équilibre (représenté ci-dessous) nous permet d'écrire : $\tan\alpha = \dfrac{F}{P} = \dfrac{q_1E}{mg} \Rightarrow \alpha = \tan^{-1}\left(\dfrac{q_1E}{mg}\right)$;



A.N : $\alpha = \dfrac{10^{-6} \times 5.10^{4}}{10.10^{-3} \times 10}$; $\alpha = 26,6°$;

4.1) Déterminons la distance d



$D = d + 2x$ avec $\sin\theta = \dfrac{x}{l} \Rightarrow x = l\sin\theta$

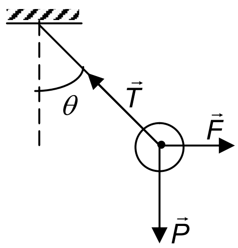
$D = d + 2l\sin\theta \Rightarrow d = D - 2l\sin\theta$;

A.N : $d = 10.10^{-2} - 2\times 1\times \sin 2$; **d = 3.10^{-2}m**

4.2) Déterminons la charge q_2

$\tan\theta = \dfrac{F}{P} \Rightarrow F = mg\tan\theta$ **(1)** Or $F = \dfrac{K|q_1||q_2|}{d^2} \Rightarrow |q_2| = \dfrac{Fd^2}{K|q_1|} \Rightarrow q_2 = -\dfrac{Fd^2}{K|q_1|}$ **(2)**

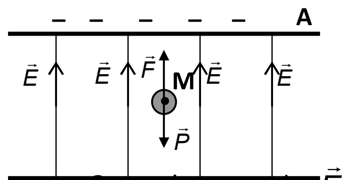
(1) dans (2) donne : $q_2 = -\dfrac{mg\tan\theta . d^2}{K|q_1|}$;



A.N : $q_2 = -\dfrac{10.10^{-3} \times 10 \times \tan 2 \times \left(3.10^{-2}\right)^2}{9.10^{9} \times 10^{-6}}$; q_2 **= -3,5.10^{-10}C**

Exercice 1.23

1) Schéma



La particule M ayant perdu deux électrons, sa charge est :

$q = +2e = 2\times 1,6.10^{-19}C \Rightarrow q = 3,2.10^{-19}C$.

$\vec{F} = q\vec{E}$ avec $q > 0 \Rightarrow \vec{F}$ et $\vec{E}$ sont colinéaires et de même sens.

Le sens de $\vec{E}$ étant connu, nous en déduisons les signes des plaques A et B car le sens de $\vec{E}$ est toujours orienté de la plaque positive vers la plaque négative.

2) Calcul de l'intensité du champ électrique $E = \dfrac{U}{d}$; **A.N** : $E = \dfrac{10^5}{0,5}$; **E = 2.10^5 V/m**

3) Rayon de la particule

La particule M étant en équilibre, $\vec{F} + \vec{P} = \vec{0} \Rightarrow F = P \Leftrightarrow qE = \rho Vg$.

Nous savons que $V = \dfrac{4}{3}\pi r^3 \Rightarrow qE = \rho\dfrac{4}{3}\pi r^3 g \Rightarrow r = \sqrt[3]{\dfrac{3qE}{4\pi\rho g}}$;

A.N : $r = \sqrt[3]{\dfrac{3\times 3,2.10^{-19} \times 2.10^{5}}{4\times 3,14 \times 800 \times 10}}$; **r = 1,24.10^{-6}m**

Exercice 1.24

1) Signe des charges

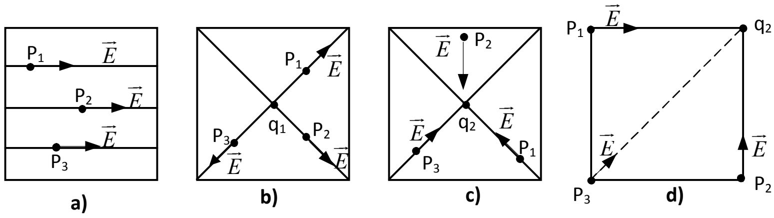
q_1 crée un champ électrique centrifuge. Donc $q_1 > 0$;

q_2 crée un champ électrique centripète. Donc $q_2 < 0$;

q_3 crée un champ électrique centripète. Donc $q_3 < 0$;

2) le champ de la figure a est un champ électrique uniforme.

3) Vecteur champ $\vec{E}$ en P_3



Exercice 1.25

1) Vrai. 2) Vrai. 3) Faux. Une bobine parcourue par un courant est un électroaimant ; il crée donc un champ magnétique artificiel.

4) **Faux**. Le courant électrique traverse l'observateur des pieds vers la tête.

Exercice 1.26

1) Définition

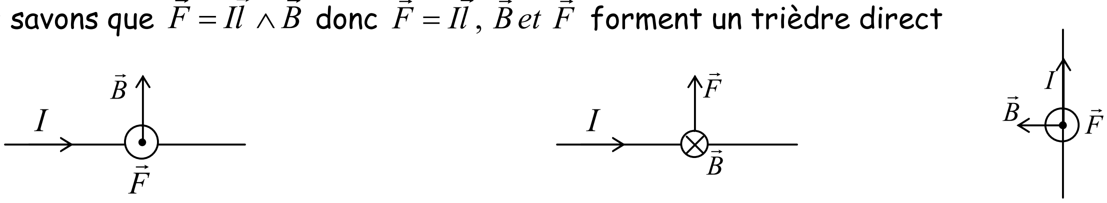
La force de Lorentz est la force magnétique $\vec{F}$ que subit une charge q en mouvement à la vitesse $\vec{V}$ dans une région où règne un champ magnétique $\vec{B}$.

2) $\vec{F} = q\vec{V} \wedge \vec{B}$.

Exercice 1.27

Complétons les figures.

Nous savons que $\vec{F} = I\vec{l} \wedge \vec{B}$ donc $\vec{F} = I\vec{l}$, $\vec{B}$ *et* $\vec{F}$ forment un trièdre direct

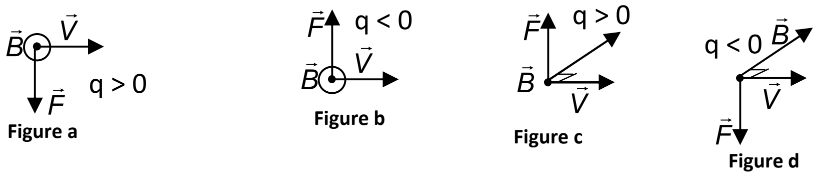


Exercice 1.28

Représentons le vecteur inconnu dans chaque cas

Nous savons que $\vec{F} = q\vec{V} \wedge \vec{B}$; donc $q\vec{V}$,$\vec{B}$ *et* $\vec{F}$ forment dans cet ordre un trièdre direct.

Mais si $q < 0$, nous inversons le sens de $\vec{F}$ donné par la règle des 3 doigts de la main droite, ou par la règle de la paume de la main droite.



Exercice 1.29

Calcul de la vitesse de l'électron : $F = |q|VB\sin\alpha \Rightarrow V = \dfrac{F}{|q|B\sin\alpha}$;

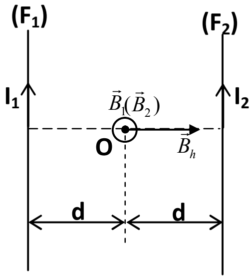
A.N : $V = \dfrac{6,4.10^{-15}}{1,6.10^{-19} \times 0,2 \times \sin 12}$; **V = 9,62.10⁵m.s⁻¹**

Exercice 1.30

1) Calcul de l'intensité B du champ magnétique

$B = 2.10^{-7} \cdot \frac{I}{d}$; **A.N** : $B = 2.10^{-7} \times \frac{20}{0,02}$; **B = 2.10^{-4}T**

2.1) L'aiguille aimantée reste horizontale car elle indique la direction de la composante horizontale du champ magnétique terrestre.



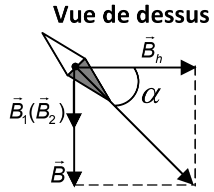
2.2) Calcul de l'angle α

Posons $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$; les vecteurs $\vec{B}_1$ *et* $\vec{B}_2$ étant colinéaires et de même sens, nous pouvons écrire $B = B_1 + B_2$;

Or $B_1 = B_2 = 2.10^{-4}T \Rightarrow B = 2B_1 = 4.10^{-4}T$.

Ainsi, $\tan\alpha = \frac{B}{B_h} \Rightarrow \alpha = \tan^{-1}\left(\frac{4.10^{-4}}{2.10^{-5}}\right)$; $\alpha = 87°$

2.3) Lorsque les deux courants circulent dans le même sens, $\vec{B}_1$ *et* $\vec{B}_2$ sont colinéaires, de même intensité, mais de sens contraires. Leur résultante $\vec{B}$ est donc nulle ; l'aiguille reste horizontale.



Exercice 1.31

1) Calculons l'intensité I du courant

Notons $\vec{B}_0$ le champ magnétique au centre de la bobine

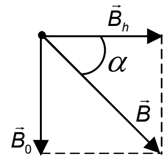
$\tan\alpha = \frac{B_0}{B_h} \Rightarrow B_0 = B_h \tan\alpha$ **(1)** Or $B_0 = 2\pi.10^{-7} \cdot \frac{NI}{R}$ **(2)**

(1) et (2) donnent : $B_h \tan\alpha = 2\pi.10^{-7} \cdot \frac{NI}{R} \Rightarrow I = \frac{RB_h \tan\alpha}{2\pi.10^{-7} N}$; **A.N : I = $3,2.10^{-2}$A**

2) Calcul du module de $\vec{B}$

$B^2 = B_0^2 + B_h^2$ (1) sachant que $\alpha = 45° \Rightarrow \tan\alpha = \frac{B_0}{B_h} = 1 \Rightarrow B_0 = B_h$ **(2)**

(2) dans (1) donne : $B^2 = 2B_h^2 \Rightarrow B = B_h\sqrt{2}$; **A.N : B = $2,8.10^{-5}$T**



Exercice 1.32

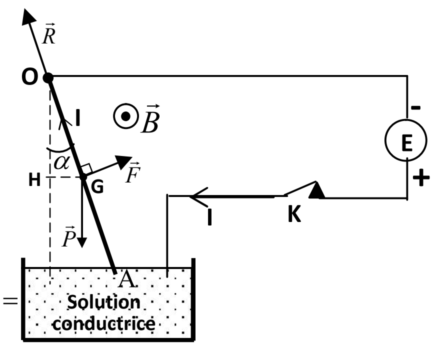
Calcul de la force F à laquelle est soumise la portion de fil

$F = ILB\sin\alpha$; **A.N** : $F = 20 \times 5.10^{-2} \times 0,1 \times \sin\frac{\pi}{2}$; **F = 0,1N**

Exercice 1.33

1) D'après la règle des trois doigts de la main droite, le fil (OA) dévie de façon que A effectue autour de O une rotation dans le sens trigonométrique (sens contraire au sens de rotation des aiguilles d'une montre).

2) Représentation du fil (OA) et des différentes forces qu'elle subit à l'équilibre



3) Relation traduisant l'équilibre du fil

$\Sigma M_\Delta(\vec{F}_{ext}) = 0 \Leftrightarrow M_\Delta(\vec{P}) + M_\Delta(\vec{F}) + M_\Delta(\vec{R}) = 0$ **(1)**

Avec $M_\Delta(\vec{P}) = P.GH = P.OG.\sin\alpha$; $M_\Delta(\vec{F}) = F.OG$; $M_\Delta(\vec{R}) = 0$.

La relation (1) devient alors : $P.OG.\sin\alpha - F.OG = 0 \Leftrightarrow P.\sin\alpha - F =$

4) calcul de l'angle de déviation du fil

$P.\sin\alpha - F = 0 \Rightarrow \sin\alpha = \frac{F}{P}$; *Or* $F = ILB \Rightarrow \sin\alpha = \frac{ILB}{P}$;

A.N : $\sin\alpha = \frac{5 \times 0,1 \times 2,5.10^{-2}}{9.10^{-2}} = 0,14$; Donc $\alpha = 8°$.