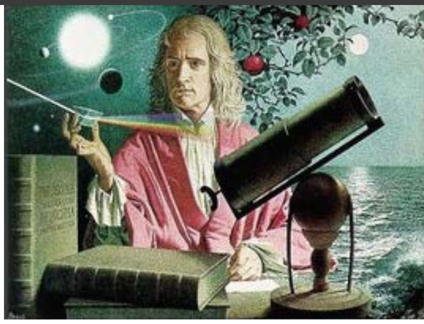
SciencesOz



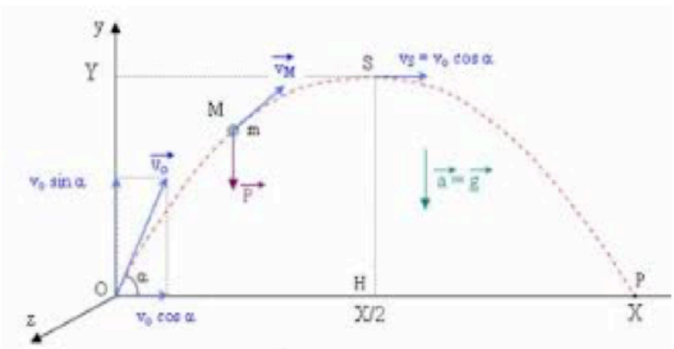
<u>Spécialité T</u>

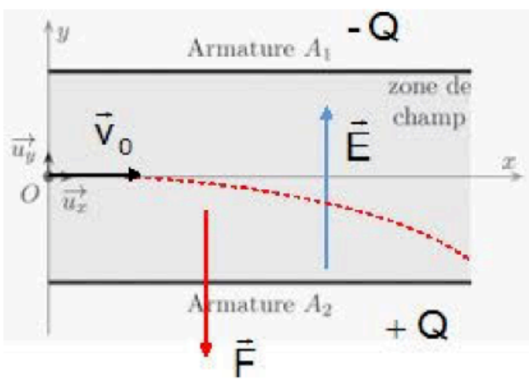
P5
Mouvement dans un champ uniforme

I. Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme

II. Mouvement dans un champ électrique uniforme

III. Aspect énergétique





Nadia LAVOIGNAT
Lycée Ozanam MACON

P5 - MOUVEMENT DANS UN CHAMP UNIFORME

I. Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme

1. Le champ de pesanteur

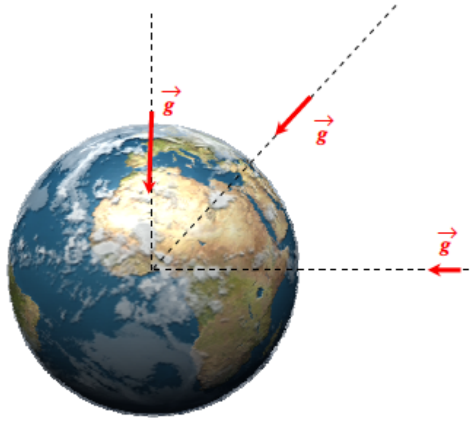
Quelle que soit la position d'un corps à la surface de la Terre, s'il possède une masse m alors il subira en conséquence une force d'attraction vers le centre de la Terre.

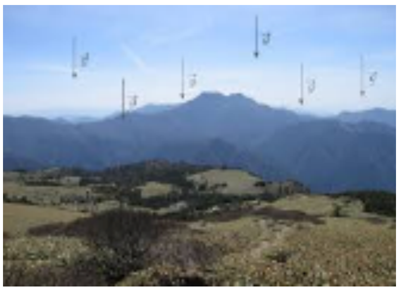
$$\vec{P} = m\,\vec{g}$$

P en N
m en kg
g en $N.kg^{-1}$

La Terre, du fait de sa masse, induit un champ de pesanteur, noté $\vec{g}$
Ses caractéristiques sont :

- *direction* : verticale du lieu,
- *sens* : vers le centre de la Terre,
- *intensité* : **g** = 9,8 $N.kg^{-1}$





A l'échelle de la Terre, le champ de pesanteur n'est pas uniforme.

Néanmoins, à l'échelle humaine, ce champ peut raisonnablement être considéré comme uniforme.

2. Etude du mouvement

Méthode à suivre pour retrouver les équations horaires d'un mouvement

1. Préciser le référentiel d'étude
2. Définir le système étudié.
3. Faire un schéma de la situation.
4. Etablir le bilan des forces.
5. Appliquer le principe fondamental de la dynamique (**P.F.D.**) pour déterminer l'expression du vecteur-accélération $\vec{a}$?
6. Projeter le vecteur-accélération $\vec{a}$ sur les axes du repère.
7. Détermination des coordonnées (v_x ; v_y ; v_z) du vecteur-vitesse $\vec{v}$ par intégration.
8. Détermination des coordonnées (x ; y ; z) du vecteur-position $\overrightarrow{OG}$ par intégration.
9. En déduire l'équation de la trajectoire.

Application :

On cherche à établir la trajectoire d'un boulet de canon de masse m tiré avec une vitesse initiale $\vec{v_0}$ faisant un angle θ avec l'horizontale.

a. En suivant la méthode donnée, trouver l'équation de la trajectoire du système et la tracer. Comment la qualifier ?
b. Peut-on parler ici de **chute libre**, c'est-à-dire lorsque **seul le poids agit sur le corps** ?
c. Pouvait-on, à juste titre, considérer le référentiel d'étude comme galiléen ?
d. Discuter de la vitesse selon l'axe Ox.
e. Que peut-on dire du mouvement au regard de la coordonnée de la position selon l'axe Oy ?
f. Qui touche le sol le premier : une plume ou un marteau ? Justifier votre réponse.
g. La *portée* P correspond à la distance entre le point de lancement O et le point d'impact sur le sol. Comment trouver les coordonnées (x_P ; z_P) de ce point ?
h. La hauteur maximale atteinte par l'objet s'appelle *la flèche*. A quel moment est atteinte cette position ?
i. Que se passe-t-il si l'objet est lâché sans vitesse initiale $\vec{V_0} = \vec{0}$?
j. Pour calculer la portée, des simplifications apparaissent si d = 0, en déduire pour quel angle la portée est maximale ? *(rappel : 2.sinθ.cosθ =sin 2θ)*

II. Mouvement dans un champ électrique uniforme

1. Etude du mouvement

Pour retrouver l'équation de la trajectoire d'une particule plongée dans un champ électrique uniforme, la méthode est la même qu'au I.

Considérons une particule ponctuelle G de charge q et de masse m placée dans un champ électrique uniforme $\vec{E}$ de valeur E = 10 000 $V.m^{-1}$ à l'intérieur d'un condensateur plan où règne un vide supposé parfait.

a. En analysant l'unité du champ électrique, retrouver la valeur de la tension U entre les plaques du condensateur séparées de 50 cm.
b. En supposant que cette particule est un électron de masse m_e, déterminer les caractéristiques (direction, sens, expression littérale) du poids de l'électron et celles de la force électrique qu'il subit.
c. Calculer l'intensité du poids et celle de la force électrique. Conclure.
d. Rappeler l'expression de la poussée d'Archimède. Pour quelles raisons cette poussée n'intervient pas dans le mouvement de G ?
e. Faire l'inventaire des forces dans le cas où la particule est un neutron. En déduire le mouvement qu'aurait cette particule dans ce condensateur.
f. En procédant avec la méthode donnée, retrouver l'équation de la trajectoire suivie par l'électron de masse m_e, sachant qu'il arrive dans le condensateur avec une vitesse $\vec{v_0}$ horizontale. La qualifier.
g. Discuter du mouvement de la particule à la sortie du condensateur

Données : $m_e = 9{,}1.10^{-31}$ kg   e = $1{,}6.10^{-19}$ C

*Remarque : * L'étude menée ici s'applique bien évidemment à tout corps chargé positivement ou négativement.*

2. Application : Les accélérateurs


Les accélérateurs de particules ont été inventés pour produire des particules chargées à grande vitesse (et donc de grande énergie) permettant à l'époque de sonder la structure du noyau des atomes.

Aujourd'hui, on utilise des accélérateurs linéaires de particules pour produire des rayons X utiles en *médecine* (imagerie médicale), ou dans l'*industrie* (contrôle non destructif de pièces, inspection de bagages, conteneurs…).

Les accélérateurs les plus grands et les plus puissants sont réservés à la recherche en physique fondamentale. Ces accélérateurs accélèrent des faisceaux de particules chargées (protons, électrons, positrons, …) à l'aide de champs électriques à des vitesses très élevées, proches de celle de la lumière, en les focalisant au moyen de champs magnétiques.

Un accélérateur peut être en forme d'anneau (accélérateur circulaire), ou en ligne droite (accélérateur linéaire). Dans le premier cas, les faisceaux circulent en boucle, dans le deuxième, ils vont d'une extrémité de l'accélérateur à l'autre.

Au moment de l'impact avec la cible, lorsque les particules incidentes sont suffisamment énergétiques, il se produit un phénomène qui défie le sens commun : l'énergie de la collision se transforme en matière. Elle se matérialise sous forme de particules, dont les plus massives existaient dans l'Univers primordial. Ce phénomène, qui ne prévaut que dans l'infiniment petit, est décrit par la célèbre équation d'Einstein $E = mc^2$: la matière est une forme concentrée d'énergie et les deux sont interchangeables.

Le Grand Collisionneur de Hadrons LHC, l'accélérateur le plus puissant au monde (27 km de circonférence - 13 TeV), propulse ainsi des protons qui forment la matière que nous connaissons à une énergie de 6,5 TeV. Accélérés à une vitesse proche de la lumière, ils percutent d'autres protons accélérés en sens inverse. Ces collisions génèrent des particules massives, comme le boson de Higgs ou le quark top. La mesure de leurs propriétés permet de comprendre la matière et les origines de l'Univers. Ces particules massives n'existent qu'un instant fugace et ne sont pas observées directement. Elles se transforment instantanément en particules plus légères, qui se désintègrent à leur tour. Les particules issues des désintégrations successives sont identifiées dans les couches de grands détecteurs.

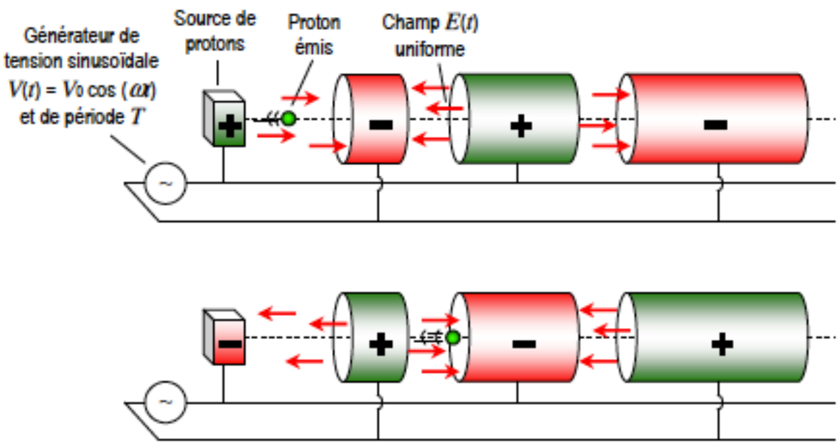
Détecteur Atlas du LHC

Source : https://home.cern/fr/science/accelerators

Principe d'un accélérateur linéaire

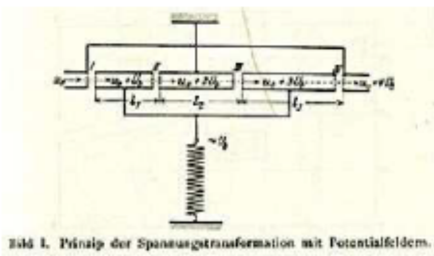
A la date t = 0, un proton est émis par la source. Attiré par l'électrode négative en forme de cylindre creux juste devant lui, et simultanément repoussé par la source elle-même, le proton accélère dans un champ électromagnétique uniforme mais variant dans le temps de manière sinusoïdale, car il subit une force électrostatique égale à :

$$\overrightarrow{F_e} = q\overrightarrow{E} \Leftrightarrow \overrightarrow{F_e} = e\overrightarrow{E}$$



A la date t = *T/2*, lorsque le proton arrive au centre de la première électrode, la tension de toutes les électrodes devient momentanément nulle. Le proton n'est sur l'instant plus accéléré mais il poursuit son chemin entrainé par son inertie. Mais, aussitôt, la polarité de chaque électrode s'inverse et leur tension augmente.

L'électrode contenant momentanément le proton devenant positive, elle expulse ce dernier de plus en plus fort vers l'avant. En même temps, l'électrode suivante étant devenue négative, elle attire le proton vers elle. Finalement, le proton ressort de la première électrode en étant à nouveau accéléré par un champ E uniforme.



Premier modèle d'un accélérateur résonant imaginé par le suédois Gustav Ising en 1924 et publié en 1929 dans un article d'une revue allemande : *Archiv für Elektrotechnik*.

Si le principe des accélérateurs linéaires est simple, la mise en pratique est complexe. Pour commencer, la particule chargée (ion ou électron) attirée par une électrode, doit aussi être repoussée par la précédente. Cela signifie que deux électrodes consécutives doivent être constamment à des potentiels opposés, et qu'il faut inverser les tensions à chaque fois que la particule passe d'une électrode à la suivante. Il faut donc inverser la tension au bon moment pour que les impulsions s'ajoutent toutes : on parle alors d'accélérateur « résonant ». Comme les particules accélérées vont de plus en plus vite alors que le temps de parcours entre deux électrodes successives reste le même (*T/2*), les électrodes doivent donc être de plus en plus longues.

III. Aspects énergétiques (Rappels de spécialité 1ère)

1. L'énergie potentielle

Tout système physique plongé dans un champ dispose d'une énergie potentielle s'il possède la grandeur physique qui le couple à ce champ.

Exemples : - dans le cas du champ de pesanteur, cette grandeur est la masse
- dans le cas du champ électrique, cette grandeur est la charge électrique.
- dans le cas d'un champ magnétique, cette grandeur est le moment magnétique de l'aimant

Energie potentielle de pesanteur :

$$\boxed{E_{pp} = mgh}$$

E en Joule (J)
m en kg
g en m.s^{-2}
h en m

Remarque : Cette expression est correcte lorsque l'on peut considérer que le champ de pesanteur g est constant quelle que soit h. Dans le cas contraire, l'expression devient :

$$E_{pp} = -G\frac{Mm}{r}$$ *avec M la masse générant le champ de pesanteur*

Energie potentielle électrique:

$$\boxed{E_{pel} = qV}$$

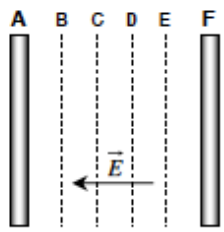
E en Joule (J)
q en C
V en V

Applications :

On considère une pomme de masse m = 180 g posée sur une table de hauteur h = 120 cm.

a. Calculer l'énergie potentielle de pesanteur de cette pomme si l'altitude de référence (z = 0) est prise au niveau du sol.
b. Même question si l'altitude de référence est prise au niveau du plateau de la table.
c. Calculer la variation de l'énergie potentielle de la pomme lorsqu'elle tombe au sol en prenant z = 0 au niveau du sol.
d. Même question en prenant z = 0 au niveau du plateau de la table.
e. Conclure.

On considère une particule alpha a plongée dans un champ électrique E. La différence de potentiel U entre les plaques A et F séparée de d = 50 cm est de 500 V.



a. Sachant que l'armature A est à -200 V, quel est le potentiel électrique de l'armature F ?
b. Calculer la valeur du champ électrique E dans ce condensateur.
c. Rappeler la constitution d'une particule alpha et en déduire sa charge électrique en fonction de e.
d. Calculer l'énergie potentielle de la particule alpha en position C et en position E.
e. Calculer la variation de l'énergie potentielle de la particule lorsqu'elle passe de F à A.
f. Calculer à nouveau cette variation en supposant que l'armature A soit à présent à 0 V et la F à 500 V. Conclure.

2. L'énergie cinétique

L'énergie cinétique d'un système est l'énergie qu'il possède du fait de sa vitesse par rapport à un référentiel donné. Sa valeur dépend donc elle aussi de la référence choisie.

Energie cinétique :

$$\boxed{E_c = \frac{1}{2}mv^2}$$

E en Joule (J)
m en kg
v en m.s^{-1}

<u>Remarque</u> : Cette expression est valable pour tout système non relativiste, c'est-à-dire pour tout système ayant une vitesse telle que v < 0,1 c. Dans le cas contraire, on utilise alors la formule plus générale :

$$E_c = \left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1\right) \times mc^2 \Leftrightarrow E_c = (\gamma - 1) \times mc^2$$

<u>Application</u> :

Calculer la variation de l'énergie cinétique d'une voiture de masse 1,2 t dans le référentiel terrestre lorsqu'elle passe de 100 à 0 km/h et préciser ce qu'est devenue cette énergie.

3. L'énergie mécanique

L'énergie mécanique d'un système est la somme des énergies macroscopiques de ce système.

<u>Energie mécanique :</u>

$$\boxed{E_m = E_c + \Sigma E_p}$$

L'énergie mécanique d'un système se conserve s'il n'y a pas de pertes (par frottements par exemple) ou de gain (moteur) d'énergie.

<u>Application</u> :

Une pomme de rayon r = 4,0 cm et de masse m = 220 g tombe d'une branche située à h = 6,7 m du sol. On prendra g = 10 N/kg et ϱ_{air} = 1,3 kg.m^{-3}

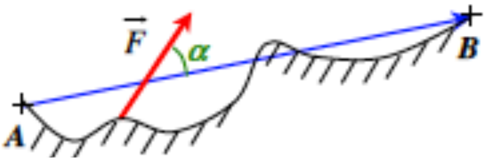
a. En ne négligeant aucune force, faire l'inventaire des forces qui s'exercent sur la pomme durant sa chute.
b. Calculer la valeur du poids P et de la poussée d'Archimède **Π** qui s'exercent sur la pomme.
c. En supposant que seul le poids ne soit pas négligeable, déterminer l'expression littérale de la vitesse d'impact v_F de la pomme avec le sol dans le référentiel terrestre. Calculer sa valeur.
d. A quelles conditions peut-on considérer qu'un objet est en chute libre dans l'atmosphère de la Terre ?
e. Représenter de manière qualitative l'évolution des énergies mécanique, cinétique et potentielle d'une pomme en chute libre.

4. Travail d'une force

Le travail $W_{AB}\left(\vec{F}\right)$ d'une force $\vec{F}$ constante dont le point d'application se déplace de A vers B est égal au produit scalaire $\vec{F}.\overrightarrow{AB}$

$$\boxed{W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F}.\overrightarrow{AB} = F \times AB \times \cos\alpha}$$

F en N
AB en m
W en J

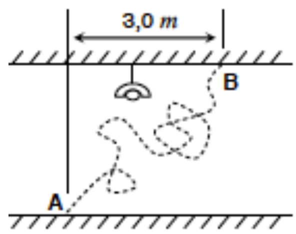


<u>Remarques</u> :

- *Le travail d'une force peut être <u>positif, nul ou négatif</u> selon la valeur de l'angle entre cette force et son vecteur déplacement.*
- *Le travail pour une force conservative ne dépend pas du trajet emprunté par le point d'application pour aller de A à B. C'est pour cette raison que l'on choisit alors de prendre le trajet direct AB dans le calcul du travail.*
- *Si le travail est <u>positif</u>, on parle de <u>travail moteur</u>, s'il est <u>négatif</u>, on parle de <u>travail résistant</u>.*
- *Pour calculer le travail d'une force non constante, on passe par une somme (intégrale) de travaux élémentaires.*

Applications :

Une mouche de masse $m = 20$ mg initialement posée en A au sol vole de manière anarchique jusqu'au point B du plafond situé 2,5 m plus haut.



a. Calculer le travail du poids de la mouche lors de ce déplacement.
b. L'énergie mécanique de la mouche s'est-elle conservée ? Justifier.
c. Quelle est l'origine de l'énergie mécanique supplémentaire de la mouche en B ?

Une voiture de masse $m = 1,4$ t, libérée en A avec une vitesse initialement nulle, descend sans freiner et moteur éteint une pente rectiligne de longueur AB = 500 m et de dénivelé $h = 50$ m.

a. En négligeant les forces de frottement et en tenant compte du fait que l'énergie mécanique de la voiture se conserve donc, calculer sa vitesse en km/h lorsqu'elle passe par B.
b. Faire le bilan des forces qui s'exercent sur la voiture dans ce cas de figure.
c. Calculer la variation de l'énergie cinétique de la voiture lors de ce trajet.
d. Calculer le travail du poids. Que remarque-t-on ?

Lorsqu'on reproduit réellement cette expérience, la voiture franchit B avec une vitesse de 87,5 km/h.

e. Quelle force peut expliquer la différence entre la vitesse de la voiture calculée précédemment et la vitesse réellement observée ?
f. Donner l'expression du travail de cette force notée f que l'on supposera constante durant la descente.
g. En tenant compte de la remarque faite de la question d, retrouver la valeur de cette force.

Théorème de l'énergie cinétique :

La variation de l'énergie cinétique d'un système matériel en mouvement entre deux points A et B est égale à la somme algébrique des travaux des forces extérieures qui lui sont appliquées lors de ce déplacement.

$$\Delta E_c = \Sigma W_{AB}(\vec{F})$$

Application :

A l'aide du théorème de l'énergie cinétique, calculer la vitesse finale d'un proton accéléré par un champ électrique uniforme de valeur $5,0 \times 10^4$ V/m sur une distance $d = 40$ cm.

Donnée : $m = 1,67 \times 10^{-27}$ kg