Note 53 : Méthode de l'exercice avec corrigé

VIENNOT L. (1987) *Corrigés : mode d'emploi*, Université Paris Diderot (Paris 7), LDSP (maintenant : Laboratoire de Didactique André REVUZ).

Pour une lecture approfondie des textes scientifiques supports du travail scolaire et universitaire.

Le document est joint ci-après.

UNIVERSITE PARIS 7

Eléments de méthodologie en DEUG

Corrigés: modes d'emploi

Pour une lecture approfondie des textes scientifiques supports du travail scolaire et universitaire

Laurence Viennot

Octobre 1997

(mise à jour en janvier 1998)

LABORATOIRE DE
DIDACTIQUE DE LA PHYSIQUE
DANS L'ENSEIGNEMENT
SUPERIEUR

Corrigés: modes d'emploi

Introduction

Travailler en physique, c'est s'initier à des formes d'activités où le plan expérimental et le plan des théories ont des parts variées et, on l'espère, sont de temps en temps articulés l'un sur l'autre. Dans la pratique, la part "théorique", pour dire vite, prend une place extrêmement importante. Même à un niveau réputé élémentaire, les concepts et les lois de la physique exigent un apprentissage scolaire exigeant, qui passe notamment par leur mise en oeuvre lors de résolutions d'exercices. Cours , exercices et solutions ("corrigés") sont mis en texte soit dans les livres, soit dans les notes personnelles, et celui qui apprend consacre un temps considérable plongé dans la contemplation plus ou moins active de ces textes.

Ce fascicule est inspiré par l'idée suivante: il faut savoir exploiter de manière efficace les textes scientifiques (le corrigé passé par un camarade pour le problème à rendre le lendemain en est un). D'ailleurs ceci ne concerne pas que la physique. Aussi décidé à résoudre par la suite de vrais problèmes que personne n'a encore résolu, aussi créatif soit-on, il faut passer par la prise de connaissance de ce que les autres ont fait, des problèmes qu'ils pensent avoir résolu, des argumentations qu'ils développent. Autant obtenir le meilleur rapport "profit retiré/temps consacré". et si possible, éviter de s'ennuyer.

Ce rapport optimisé réside dans un travail approfondi, même si cela peut sembler paradoxal puisque n'allant pas dans le sens d'une réduction du temps passé.

Plusieurs manières de lire, c'est à dire d'interroger, un texte scientifique sont illustrées dans ce qui suit. Tous ces exemples concernent des textes de type scolaire ou universitaire. Le but n'est pas de juger ces textes, mais de les utiliser au mieux.

D'abord, les types de questions que l'on peut se poser à propos d'un tel texte sont rapidement situés: cette liste figure dans le premier document distribué aux étudiants (voir ci-dessous). Ensuite, l'illustration de ces propositions est faite à propos d'exemples de la physique intervenant autour de la transition Secondaire- Supérieur: pour chaque texte, des questions de type varié interviennent à chaque fois.

Ces types de question, d'ailleurs, ont un caractère incitatif et non limitatif. La typologie en cette matière n'étant pas un but en soi, les questions mixtes ou inclassables ne doivent surtout pas être exclues pour autant.

Quant aux textes choisis pour cette illustration, ils ne sont justement pas particulièrement "choisis". Tous ont été trouvés dans le cadre banal d'un enseignement ou d'un autre, ce ne sont pas des textes paufinés, ni des textes spécialement "affreux". Ce sont ceux de la pratique courante, et, repétons-le, le but n'est pas de s'indigner sur leurs imperfections.

Des morceaux de cours polycopiés ou même publiés sont traités ici sur le même plan que les corrigés de problèmes, car ils comportent souvent les mêmes implicites, les mêmes raccourcis, le même caractère de trame de raisonnement plus que de traité achevé. Dans la suite, nous gardons ce terme familier de "corrigé" pour tout texte utilisé, fût-il le "corrigé" d'une question de cours.

Cette amorce de fascicule aurait atteint son but si elle contribuait à convaincre que, lorsqu'on a la solution d'un problème, il reste beaucoup à faire pour en profiter.

Corrigés: modes d'emploi

L'apprentissage des concepts et des lois de la physique passe notamment (pas seulement) par l'étude de cours et la résolutions d'exercices. Cours , exercices et solutions ("corrigés") sont rédigés soit dans les livres, soit dans les notes personnelles, et vous consacrez un temps considérable plongé dans la contemplation plus ou moins active de ces textes.

Quatre séances de TD seront inspirées par l'idée suivante: il faut savoir exploiter de manière efficace les textes scientifiques (le corrigé passé par un camarade pour le problème à rendre le lendemain en est un).

En particulier, il faut faire la différence entre comprendre un texte et comprendre seulement ses enchainements calculatoires.

Même décidé à résoudre par la suite de vrais problèmes que personne n'a encore résolu, il faut passer par la prise de connaissance de ce que les autres ont fait, des problèmes qu'ils pensent avoir résolu, des argumentations qu'ils développent. Autant y "passer" le mieux possible, c'est à dire avec le meilleur rapport "profit retiré/temps consacré". Et dans le profit, il faut compter l'intérêt, au sens de l'absence d'ennui.

Ces séances ont pour but de vous montrer comment lire de manière approfondie, c'est à dire comment interroger l'un de ces textes écrits sur lesquels vous comptez pour apprendre.

D'abord nous situons rapidement les types de questions que vous pouvez (ou vous devez impérativement, selon les cas) vous poser à propos d'un tel texte (ces types de question, d'ailleurs, ont un caractère incitatif et non limitatif).

Ensuite, l'illustration de ces questions est faite à propos de textes du type de ceux que vous rencontrez dans votre vie universitaire.

Lecture approfondie: des questions à se poser

— S — *La signification des symboles ou expressions verbales utilisés dans le texte :* dire avec des mots ce que désigne tel ou tel symbole ou telle expression verbale.

— A — *L'influence du codage* dans la désignation des symboles et dans l'écriture des relations algébriques du texte : cette rubrique renvoie à ce que l'on désigne habituellement par « les conventions de signe »,

exemples :

qu'est-ce qui change dans ce texte si l'on change l'orientation de l'axe des x ? si l'on change le sens positif de l'intensité du courant ?

— H — *Les hypothèses du texte :* on examine là les fondements mêmes de l'argumentation du texte. Cette rubrique correspond à des questions souvent difficiles

exemples :

où telle hypothèse intervient-elle ?

sur quelle hypothèse repose telle affirmation ?

que doit-on changer si on change telle hypothèse ?

analyser les ordres de grandeur qui justifient telle hypothèse .

domaine de validité du résultat

— C — *Le déroulement du calcul,*

exemples :

telle égalité est-elle démontrée dans le texte à partir d'une autre ?

où se situent les simples intermédiaires de calcul ?

— R — *Le résultat :* c'est la signification de la conclusion du texte qui est en cause ici,

exemples :

énoncer (avec des phrases) le résultat ;

Interpréter un graphique.

contrôle du résultat: homogénéïté, cas limites

comment telle grandeur varie-t-elle lorsque telle autre croît ?

évaluer l'ordre de grandeur de telle grandeur dans telles circonstances.

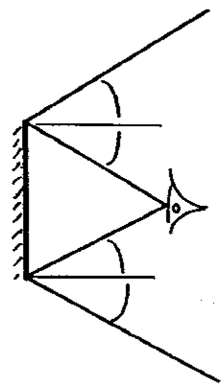
— P — *Les prolongements du résultat :* ce sont les questions qui ressemblent le plus à celles d'un exercice classique. Il s'agit de pousser un peu plus loin le calcul présenté dans le texte pour en tirer des informations supplémentaires.

Il ne suffit pas d' "avoir" la solution d'un problème, il faut en profiter.

LIRE ATTENTIVEMENT LE TEXTE SUIVANT (extrait de la feuille de TD n°1, Miroirs plans)

ex.4: Soit un miroir plan circulaire de 10 cm de diamètre. Si on place l'oeil à 1 mètre, sur l'axe du miroir, représenter sur un dessin la région de l'espace que l'on peut voir dans ce miroir.

Vous avez probablement dans vos notes une solution qui utilise un dessin de ce type:



REPONDEZ MAINTENANT AUX QUESTIONS SUIVANTES

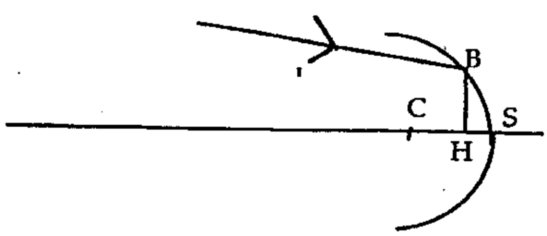
R Une façon d'aller plus loin est de se demander comment **varie** la portion de l'espace que l'on voit dans le miroir lorsqu'on fait varier la distance de l'oeil à ce miroir. Trouver un **invariant** (surprenant) dans une telle transformation et vérifiez-le expérimentalement.

S Il s'agit de "voir". Avec ce seul dessin, on ne comprend pas du tout comment l'oeil "voit" un objet. Complétez le pour qu'on comprenne mieux. Supposons qu'il y ait un mur derrière l'oeil, éclairé uniformément: y a-t-il une discontinuité entre la portion de mur que l'on voit et celle que l'on ne voit pas, du point de vue de la luminosité de ce que l'on voit.

LIRE ATTENTIVEMENT LE TEXTE SUIVANT, extrait de la feuille de TD n°1, "Miroirs sphériques", ex 5.

ex. 5: Vous avez dû un jour vous regarder dans une petite cuiller. Que voit-on du côté concave ? Du côté convexe?

Nous n'allons pas étudier exactement la réflexion dans une petite cuiller, mais dans un miroir sphérique, c'est-à-dire ayant la forme d'une calotte sphérique, de sommet S et de centre C.



Si tous les rayons considérés sont tels d'une part que la longueur SH est négligeable par rapport au rayon R = SC de la sphère et d'autre part que les angles des rayons incidents et des rayons réfléchis avec l'axe optique sont suffisamment petits pour que l'on puisse confondre la valeur de l'angle exprimée en radians avec son sinus et sa tangente, on se trouve dans "l'approximation de Gauss" ou approximation paraxiale. On peut alors montrer les propriétés suivantes (que vous pouvez démontrer), qui ne sont valables que dans les conditions précédentes.

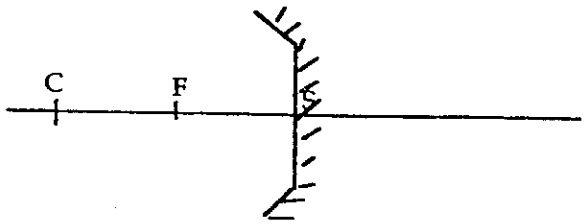
- Tous les rayons incidents parallèles à l'axe donnent naissance à des rayons réfléchis qui coupent l'axe optique au même point F tel que $\overline{SF} = \frac{\overline{SC}}{2}$ (1)

- Il y a stigmatisme et l'image d'un objet perpendiculaire à l'axe optique est perpendiculaire à l'axe optique. La relation de conjugaison entre la position d'un objet A et d'une image A' est la suivante

$$\frac{1}{\overline{SA'}} + \frac{1}{\overline{SA}} = \frac{2}{\overline{SC}} \qquad (2)$$

- Le grandissement est donné par $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -\frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}}$ (3)

La bonne façon de représenter un tel miroir pour les constructions est (pour un miroir concave)



REPONDEZ MAINTENANT AUX QUESTIONS SUIVANTES

S "Approximation paraxiale" (ligne 8): le premier dessin correspond-il à un cas où l'approximation paraxiale est légitime? Sinon, en quoi s'en éloigne-t-il le plus?

S "Stigmatisme" (ligne 13): que signifie ce terme? le stigmatisme est-il nécessaire pour qu'il y ait une relation de conjugaison? Peut-on avoir "stigmatisme" pour un objet oblique par rapport à l'axe optique? Le terme "stigmatisme" signifie-t-il que l'image n'est pas déformée?

H D'après ce que vous savez sur les miroirs plans, peut-il y avoir "stigmatisme" dans ce cas, et si oui, y a-t-il pour cela une condition du type "approximation paraxiale"?

A Que faut-il décider pour qu'on puisse attribuer des valeurs aux grandeurs $\overline{SF}$, $\overline{SC}$, $\overline{SA'}$, $\overline{SA}$? Une telle décision est-elle indiquée ou suggérée dans le texte? Selon le choix fait, chacune des relations (1), (2), (3) est-elle à modifier ou bien reste-elle valable?

S Que signifie "l'axe optique"?

S "Que signifient "un objet A" , "un objet A'"? Peut-on utiliser la relation (2) pour un objet penché sur l'axe optique, ou, plus généralement, pour un objet tridimensionel, tel un visage dont le nez pointe, plus proche du miroir que le menton?

R Où est l'image du centre? du sommet? Où convergent des rayons parallèles peu inclinés sur l'axe optique?

C Relation (3), expressions du grandissement γ : s'agit-il d'une définition? du résultat d'une démonstration? Dans ce dernier cas, retrouver une démarche simple de démonstration.

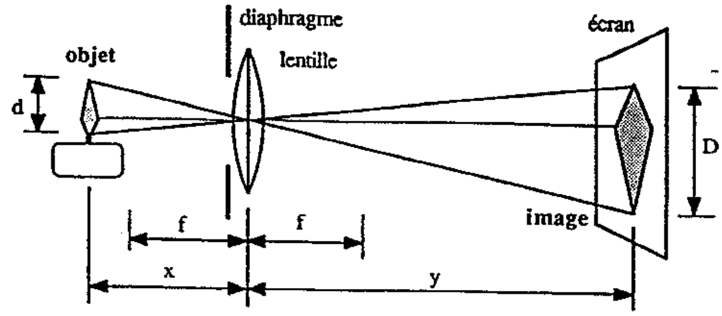
S, H "La "bonne façon" (ligne 17): qu'a-t-elle de "bon"? éventuellent de "mauvais"?

R Cas limite: que disent les relations (1), (2) et (3) dans le cas d'un miroir plan (on dit souvent que "deviennent"-elles?). Est-ce cohérent avec ce que vous en savez?

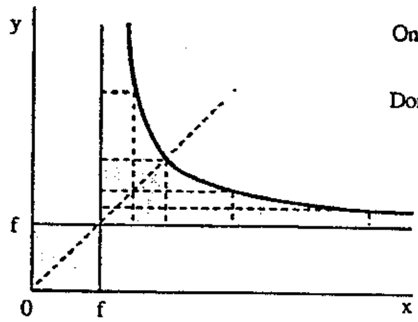
H Ce texte est-il valable pour un miroir concave? Sinon que doit-on changer pour qu'il le devienne?

LIRE ATTENTIVEMENT LE TEXTE SUIVANT (extrait d'un document de formation des maîtres en Belgique)

Les éléments essentiels du montage sont indiqués sur la figure suivante, ainsi que les distances à mesurer (avec un mètre ruban). La distance focale f a été mesurée déjà par la méthode précédente.



Quand on change la distance x, on doit modifier la distance y pour obtenir une image nette. Chaque groupe d'élèves fait un graphique de y en fonction de x. Est-il symétrique? Est-ce qu'une des distances tend vers l'infini pour une valeur particulière de l'autre? Est-ce qu'il y a un lien avec la mesure de la distance focale f ?



On trouve que $(y - f).(x-f) = f^2$.

Donc $x\,y - (x + y)\,f + f^2 = f^2$.

$f = \dfrac{x\,y}{x + y}$ ou $\dfrac{1}{f} = \dfrac{x + y}{x\,y}$

$$\boxed{\frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{y}}$$

On obtient une hyperbole qui s'adosse à deux asymptotes et une très belle formule.

REPONDEZ MAINTENANT AUX QUESTIONS SUIVANTES

S Qu'est-ce qu'une image? une image nette? Quel rapport y a-t-il entre ces notions et le stigmatisme? Complétez le dessin pour que l'on comprenne bien la différence entre une lentille et le trou d'une chambre noire. Que se passe-t-il si l'on met un confetti au centre de la lentille?

S Repérez bien ce que signifient x, y.

Si vous ne savez pas ce que c'est que la distance focale, admettez d'abord que c'est une caractéristique de la lentille.

A, H Dans ce texte, x, y, f sont-elles des grandeurs qui prennent des valeurs négatives? Les grandeurs x et y prennent-t-elles des valeurs inférieures à f? Concluons que l'objet n'a pas été mis n'importe où!

S En analysant le graphique et/ou la formule encadrée, retrouver la signification de la grandeur "f".

A Vous avez appris, ou vous allez apprendre, une formule de conjugaison beaucoup plus générale, qui s'exprime à l'aide de valeurs algébriques.
Soit A un point de l'objet sur l'axe de la lentille, A' son image donnée par la lentille, O le centre de la lentille, F' le foyer objet, c'est à dire le point où converge un faisceau incident parallèle à l'axe (F' est ici entre la lentille et l'écran), F le foyer objet, symétrique de F' par rapport à 0. On superpose à l'axe optique de la lentille un axe orienté, par exemple de la lentille vers l'écran. Lorsqu'il y a stigmatisme, la formule générale de conjugaison s'écrit avec les grandeurs algébriques $\overline{0A}$, $\overline{0A'}$, $\overline{0F'}$.
Retrouvons cette formule à partir de celle qui est encadrée.

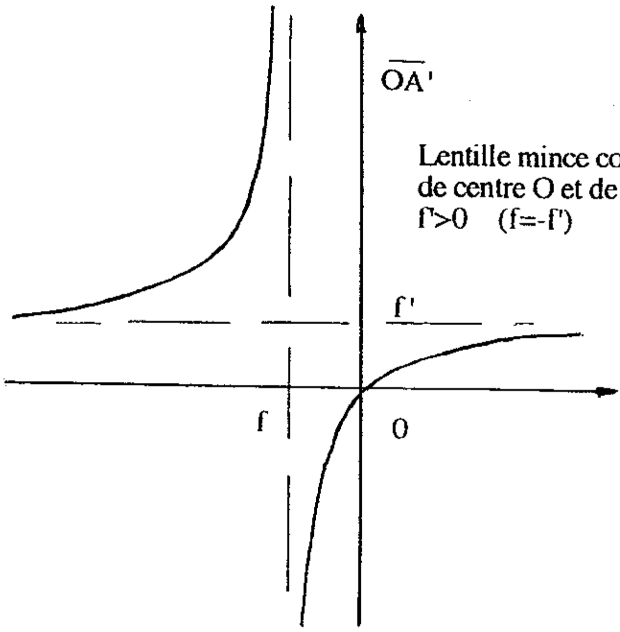
Pour cela, exprimez x à l'aide d'une ou plusieurs des grandeurs $\overline{0A}$, $\overline{0A'}$, $\overline{0F'}$, de même pour y et pour le "f" du texte.
Retraduisez tout le texte avec ces nouvelles grandeurs. Que deviennent la première et la dernière relations? En exploitant la première relation, et en prenant pour $\overline{0F'}=f'$ une valeur (ici positive) arbitraire, tracer l'allure du graphe ($\overline{0A}$, $\overline{0A'}$) correspondant au graphe du texte.
Le texte se limite à certaines positions de l'objet, où se trouvent-elles représentées sur votre graphe?

En fait, et *ce n'est pas montré ici*,
-les relations algébriques que vous avez trouvées (qui supposent qu'il y a stigmatisme) sont valables, , pour *toutes* les positions de l'objet et de son image optique (objet et image peuvent chacun être "réel(le)" ou "virtuel(le)").
-ces relations sont aussi valables pour les lentilles divergentes. Dans ce dernier cas, F' est du même côté que le faisceau parallèle incident, ce qui correspond ici à une valeur négative de $\overline{0F'}$.

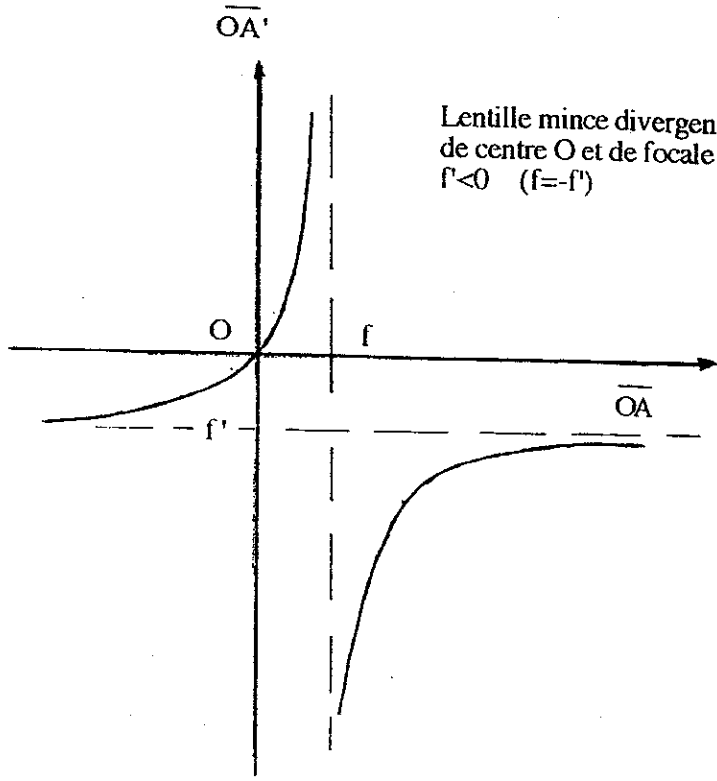
P Représenter les graphes complets ($\overline{0A}$, $\overline{0A'}$) pour une lentille convergente et pour une lentille divergente. Dans chaque cas:
-comment se déplace l'image quand on déplace l'objet depuis l'infini vers la lentille?
-où est l'image du centre de la lentille?
-y a-t-il des positions pour lesquelles objet et image sont symétriques par rapport à la lentille?

P En exploitant, comme dans ce texte, une relation liant les distances algébriques de l'objet et de l'image au foyer, transposer ce que vous venez de faire pour les lentilles aux cas des miroirs sphériques concaves et convexes.

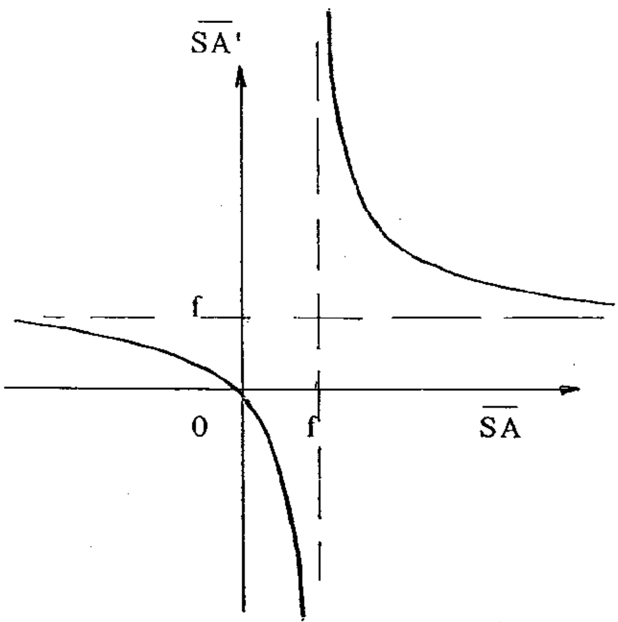
Eléments de réponse aux deux dernières questions



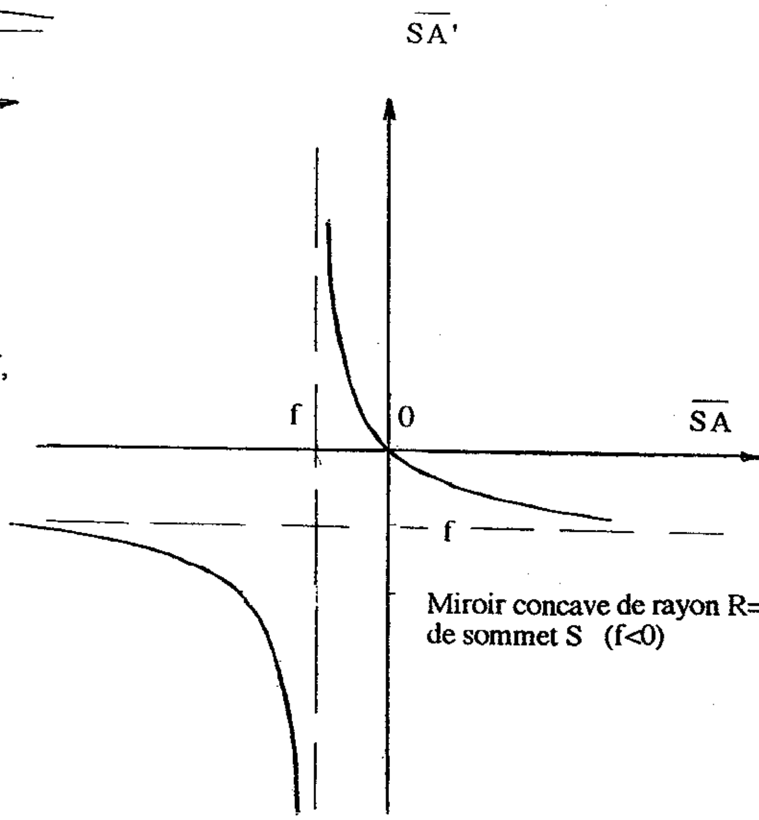
Lentille mince convergente
de centre O et de focale
f'>0 (f=-f')



Lentille mince divergente
de centre O et de focale
f'<0 (f=-f')



Miroir convexe de rayon R=2f,
de sommet S (f>0)



Miroir concave de rayon R=2f
de sommet S (f<0)

NOM et PRENOM

REDIGER CET EXERCICE SUR CETTE FEUILLE MEME

Soit un miroir convexe de rayon R=2f, de sommet S et de centre C (fig.1). Soit A' l'image d'un point A situé sur l'axe du miroir. Cet axe est orienté dans le sens de propagation de la lumière incidente. Le graphe ci-dessous (fig.2) indique l'abscisse $\overline{SA'}$ en fonction de l'abscisse $\overline{SA}$.

1- Porter sur le schéma de la figure1 les points A et A' correspondant au point marqué sur la courbe en fig.2. Quelle est la nature (réelle ou virtuelle) de l'objet A, de l'image A'?

2- Tracer la marche d'un faisceau lumineux associé à ce couple objet ponctuel- image ponctuelle. Indiquer par une flèche le sens de propagation de la lumière sur les bords du faisceau considéré.

3- Le grandissement γ est défini par la relation $\gamma=\overline{A'B'}/\overline{AB}$, où $\overline{AB}$ et $\overline{A'B'}$ sont respectivement les dimensions linéaires algébriques d'un objet perpendiculaire à l'axe et de son image. Pour un miroir sphérique, ce grandissement est donné par la relation $\gamma=-\overline{SA'}/\overline{SA}$.

A partir de la courbe donnée en figure 2, calculer la valeur de γ pour les positions conjuguées A, A' étudiées plus haut (reportées en fig.1).

Soit un objet AB que l'on représentera par un trait vertical de 2cm sur le schéma 1, A étant le point précédemment étudié. Dessiner l'objet AB et son image A'B' sur ce schéma, sans utiliser de rayons de construction.

4- Hachurer sur la figure 2 la partie de la courbe correspondant au cas d'une image plus grande que l'objet ($|\gamma|>1$). Où sont situées les positions d'objet correspondantes? Justifier votre réponse.

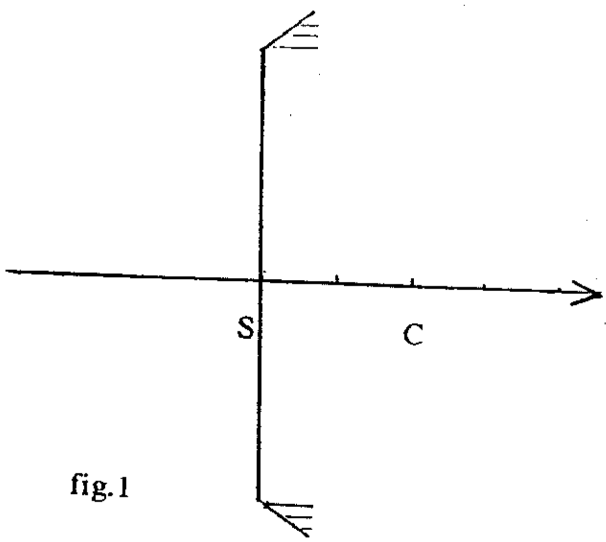


fig.1

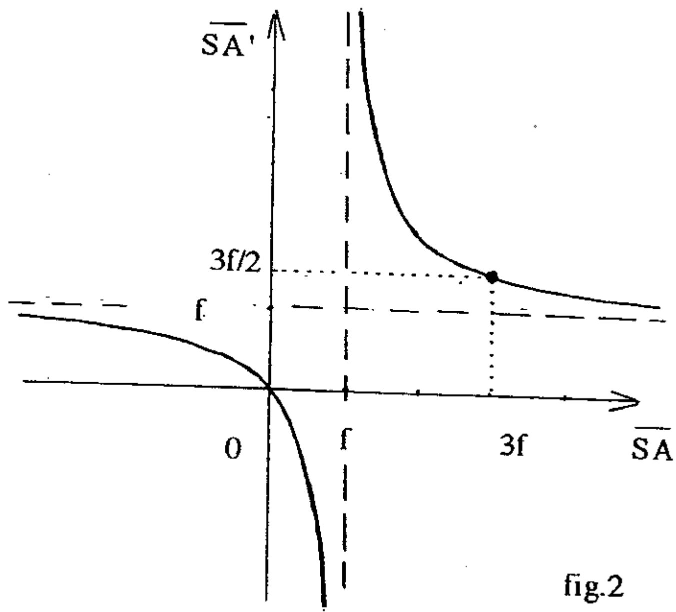


fig.2

LIRE ATTENTIVEMENT LE TEXTE SUIVANT (extrait d'un livre de Seconde)

Examinons les situations suivantes où deux solides interagissent.

A. PREMIER EXEMPLE : INTERACTION ENTRE DEUX SOLIDES IMMOBILES

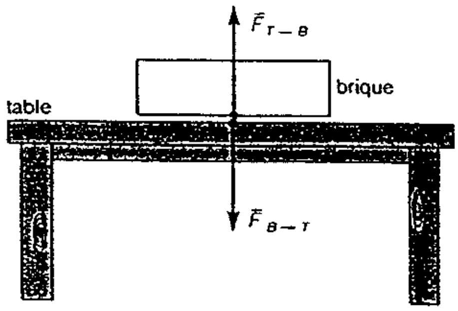


Fig. 18. Action et réaction de la brique sur la table.

C'est le cas simple d'une brique posée sur une table (fig. 18). La brique exerce une force $\vec{F}_{B-T}$ sur la table (action) qui est manifestement identique à son poids $\vec{P}$: la table exerce sur la brique une force $\vec{F}_{T-B}$ appelée réaction $\vec{R}$ de la table sur la brique. Il est logique de penser que ces deux forces ont même direction, même intensité et des sens inverses. On dit que *l'action est égale et opposée à la réaction*, ce qui se traduit par les relations :

$$\vec{F}_{B-T} = -\vec{F}_{T-B}$$

$$F_{B-T} = F_{T-B} \quad \text{ou} \quad P = R.$$

Remarque : l'action est égale (en intensité) à la réaction tant que la table est suffisamment solide. Si le poids P devient trop grand, la table ne pourra plus assurer l'égalité $R = P$ et s'écroulera.

REPONDEZ MAINTENANT AUX QUESTIONS SUIVANTES

S, H La "remarque" suggère que, dans certains cas, la loi des actions réciproques cesse d'être vraie: est-il exact que lorsque la table s'écroule sous le poids du livre, cette loi cesse d'être vraie? faites la clarté sur cette affaire en utilisant un "schéma éclaté", c'est à dire en procédant comme suit:

-représenter les objets suivants selon une disposition verticale mais en les écartant les uns des autres: Terre (la planète en taille réduite), table, livre;

-faites la liste des interactions concernant directement le livre, et choisissez une couleur pour chacune d'elles. Représentez, avec la couleur appropriée, les *paires* de forces qui concernent ce livre, chaque force étant bien représentée sur l'objet sur lequel elle s'exerce: nul besoin ici d'être plus précis quant au "point d'application", mais pour l'interaction gravitationnelle, il reste utile choisir le centre de l'objet (bien entendu, chaque paire de forces respecte le principe des actions réciproques);

-analyser maintenant les intensités respectives des forces qui concernent le livre

a) lorsqu'il y a équilibre,

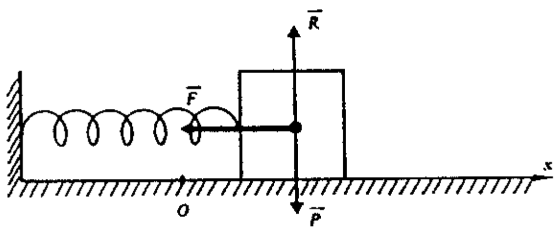
b) lorsque la table s'effrondre;

H, P -revenez sur vos choix: avez-vous vraiment tenu compte de toutes les interactions concernant le livre? Probablement avez-vous négligé l'interaction du livre avec l'air, et vous avez bien fait. Pourquoi? Quant à la table, son poids et son interaction de contact avec le sol ne sont pas intervenus dans cette analyse: quel problème rendrait nécessaire de considérer aussi ces interactions?

LIRE ATTENTIVEMENT LE TEXTE SUIVANT (extrait d'un livre de mécanique de premier cycle universitaire)

Figure III.1.

Bilan des forces :
$\vec{P}$ = poids, $\vec{R}$ = réaction de la table, $\vec{F}$ = force de rappel du ressort; les forces de frottement sont négligées.



modéliser le problème en invoquant initialement quatre forces : la force de rappel du ressort, notée $\vec{F}$, le poids $\vec{P}$ de l'objet, la réaction $\vec{R}$ de la table et la force de frottement $\vec{f}$ de l'objet sur la table.

Débarrassons-nous sommairement de deux d'entre elles en faisant appel au principe de l'action et la réaction selon laquelle la réaction de la table, $\vec{R}$, compense strictement le poids $\vec{P}$ de l'objet. Ceci se justifie semi-empiriquement en notant que l'objet ne s'enfonce pas dans la table, ni ne s'envole, ce qui signifie que son accélération est selon l'axe du mouvement, c'est-à-dire sur une ligne horizontale. En conséquence, d'après le principe fondamental, « tout se passe comme si » aucune force n'agissait selon la verticale.

Ainsi, il ne nous reste plus à prendre en compte que $\vec{F}$ et $\vec{f}$. A cette fin, observons encore le phénomène : une fois écarté de sa position d'équilibre, puis lâché, l'objet décrit sur la table des oscillations amorties. Il s'arrête après un certain temps, d'autant plus long que la table est plus lisse. Cette dernière observation nous suggère de rendre la force de frottement responsable de l'amortissement du mouvement, et, passant dans l'idéal, d'imaginer des « oscillations éternelles » si les frottements n'existaient pas.

REPONDEZ MAINTENANT AUX QUESTIONS SUIVANTES (pour cela, il est conseillé de faire un schéma éclaté du type décrit dans le document précédent).

Il est écrit dans le texte: "le principe de l'action et la réaction selon laquelle la réaction de la table compense strictement le poids $\vec{P}$ de l'objet":

S, H -De quelle réaction s'agit-il?, celle-ci est-elle astreinte à toujours compenser strictement le poids $\vec{P}$ de l'objet?

H -A quelle loi cette compensation répond-elle en fait? Peut-on la déduire de la loi de l'action et de la réaction? Peut-on l'établir, comme c'est écrit plus bas, "d'après le principe fondamental" (de la dynamique)? Est-ce la même chose?

S -Il est question dans ce texte de "la force de frottement $\vec{f}$ de l'objet sur la table", puis de "la force de frottement" tout court: sur quoi s'applique $\vec{f}$? Sur quoi s'applique sa réciproque $\vec{f'} = -\vec{f}$? L'une de ces forces est-elle dans le sens du mouvement de l'objet?

LIRE ATTENTIVEMENT LE TEXTE SUIVANT (extrait d'un livre de Seconde)

Suspendre un objet à un ressort revient à faire agir le poids de l'objet sur le ressort, qui s'allonge.

REPONDEZ MAINTENANT AUX QUESTIONS SUIVANTES
(pour cela, il est conseillé de faire un schéma éclaté du type décrit plus haut).

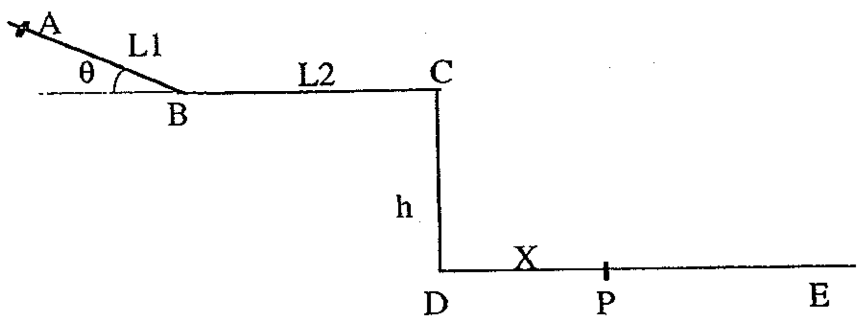
S,H L'action de l'objet sur le ressort est-elle *toujours* égale à son poids? Ou bien n'est-ce valable que dans certains cas? En particulier, que vaut-elle au moment précis ou l'on lâche l'objet, alors que le ressort n'est pas encore étiré?

LIRE ATTENTIVEMENT LE TEXTE SUIVANT (extrait d'un partiel de première année de DEUG, assorti des notes d'un enseignant pour le corrigé)

Saut à ski

Un skieur de masse m descend une piste constituée:

- d'un tronçon AB rectiligne qui fait un angle θ avec l'horizontale, de longueur AB = L_1,
- d'un tronçon BC rectiligne horizontal, de longueur BC = L_2,
- d'un tronçon DE rectiligne horizontal, tel que D soit sur la verticale de C, avec CD=h.



On note g la norme de l'accélération de la pesanteur. On suppose qu'il y a frottement entre les skis et la neige: on note respectivement μ_s et μ_d les coefficients de frottement statique et dynamique.

1) Le skieur est à l'arrêt sur le tronçon AB. Représenter sur un schéma les forces qui s'exercent sur le skieur. Donner la valeur (norme) de la force de frottement en fonction de θ. Pour que le skieur puisse rester à l'arrêt sur la pente (sans l'aide de ses bâtons), il faut que θ soit inférieur à une valeur maximale θ_0. Donner l'expression de θ_0.

2) On suppose maintenant que l'angle θ est tel que le skieur peut glisser sur la piste. Il démarre de A avec une vitesse nulle à l'instant t = 0.

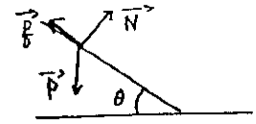
a) Déterminer l'accélération du mouvement du skieur.

b) En choisissant un axe Ox confondu avec AB et ayant son origine en A, établir l'équation horaire x(t) du mouvement.

c) Soit t_1 le temps mis par le skieur pour arriver en B. Déterminer la valeur de μ_d en fonction de g, θ, L_1, t_1. Donner la valeur de la vitesse v_1 du skieur au point B en fonction de L_1 et t_1.

d) Quelles seraient les valeurs du temps t'_1 mis pour parcourir AB et de la vitesse v'_1 en B, si on négligeait le frottement?

Saut à ski

1) 

$$f = \|\vec f\| = mg\sin\theta$$

$$f < \mu_s mg\cos\theta \Rightarrow \theta < \theta_0 \quad \text{avec} \quad \boxed{tg\,\theta_0 = \mu_s}$$

2) a) $f = \mu_d\, mg\cos\theta$

$$ma = mg\sin\theta - \mu_d\, mg\cos\theta$$

$$a = g\left[\sin\theta - \mu_d\cos\theta\right]$$

b) $x = \frac{1}{2} g\left[\sin\theta - \mu_d\cos\theta\right] t^2$

c) $L_1 = \frac{1}{2} g\left[\sin\theta - \mu_d\cos\theta\right] t_1^2$

$$\boxed{\mu_d = \frac{1}{\cos\theta}\left[\sin\theta - \frac{2L_1}{g t_1^2}\right]}$$

$$v_1 = g\left[\sin\theta - \mu_d\cos\theta\right] t_1 = \frac{2L_1}{t_1}$$

$(= a t_1)$

d) $L_1 = \frac{1}{2} g.\sin\theta.\,t_1'^2$ $\qquad t_1' = \sqrt{\frac{2L_1}{g\sin\theta}}$

$v_1' = g.\sin\theta.t_1'$ $\qquad v_1' = \sqrt{2L_1 g\sin\theta}$

REPONDEZ MAINTENANT AUX QUESTIONS SUIVANTES

S, A Quel est le signe de g dans ce texte?

S Que signifie "θ" , est-ce l'angle pour lequel le skieur peut démarrer ou l'un quelconque des angles pour lequel le skieur peut glisser?

A θ est -il une grandeur algébrique?

S μ_d dépend-t-il de θ?

C,H L'accélération trouvée en 2a peut-elle prendre une valeur négative? A part l'argument de vraisemblance, en avez-vous un autre?

R, H Le mouvement du skieur est-il uniformément accéléré? Y a-il une vitesse limite? Quelles que soient vos réponses, dites à quelle propriété du frottement, et/ou à quelle hypothèse cela est dû.

H La masse du skieur, la surface de contact des skis n'interviennent pas dans les résultats de ce problème. Expliquez pour chacune de ces variables où cette indépendance s'introduit dans le corrigé.

P Reprennez l'expression de v_1 en fonction de t_1 trouvée en 2c. Comment se modifie-t-elle s'il y a une vitesse initiale v_0 dans la direction AB? Même question en rajoutant la condition θ=0 (préciser si l'on peut encore mettre en jeu le coefficient de frottement μ_d). Dans ce dernier cas (vitesse initiale v_0 dans la direction AB non nulle et θ=0), on trouve facilement la distance d'arrêt d'un mobile par frottement sur un plan horizontal: cette distance dépend-elle de la masse? (voir question précédente).

H Dans le texte, rien n'est dit sur le skieur, excepté sa masse: est-il considéré comme "ponctuel", comme le suggère le schéma du corrigé? Est-ce nécessaire? S'il n'est pas considéré comme ponctuel, comment traiter le problème? La réaction normale de la piste sur le skieur passe-t-elle par son centre de masse?

R Contrôlez l'expression trouvée pour v'_1 en 2d en la retrouvant par un raisonnement sur l'énergie. Vérifiez que l'expression de t'_1 fournit une dépendance vraisemblable de cette grandeur par rapport à sin θ.

Exercice n°3:
Ressort et frottement solide

Un ressort horizontal de longueur à vide lo et de raideur k est fixé à l'une de ses extrémités O. À l'autre extrémité P, est attaché un bloc parallélipipédique de masse m, posé sur une table horizontale (cf. fig.3). Lorsque le bloc se déplace sur la table, il existe un frottement entre le bloc et la table de coefficient μ_d, c'est-à-dire, que la composante tangentielle f de la réaction du support est proportionnelle à la composante normale N de cette réaction: $|\vec{f}| = \mu_d |\vec{N}|$.

x est l'abscisse de P sur un axe horizontal d'origine O (cf. fig.3).

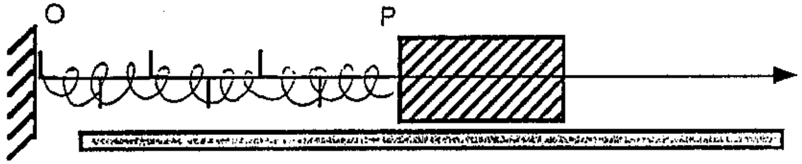


Figure 3

Écarté de sa position d'équilibre et lâché à l'instant t=0 (avec $x(0) > l_0$), le bloc effectue un déplacement dont le graphe x(t) (fig.4) rend compte.

Une première phase du mouvement correspond à la partie de la courbe comprise entre les points A et C du graphe (fig.4) . Cette partie est une demi-période de sinusoïde, centrée sur la valeur $x_1 = l_0 + \frac{\mu_d mg}{k}$. Une seconde phase correspond à la partie de la courbe située entre les points C et E (fig.4). Cette seconde partie est une demi-période d'une sinusoïde centrée sur la valeur $x_2 = l_0 - \frac{\mu_d mg}{k}$.

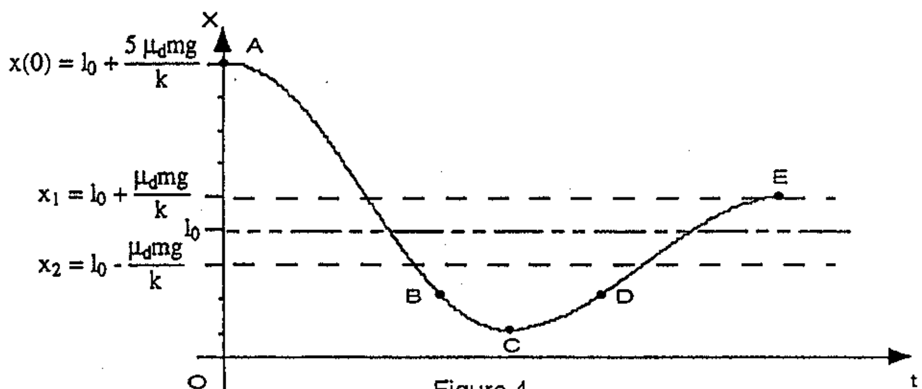


Figure 4

Les parties I et II sont indépendantes

I Étude qualitative du mouvement

Répondre sur la feuille séparée, à remettre avec vos copies.

1°) On considère la situation correspondant au point B sur la courbe x(t) (fig.4). Pour cette situation, indiquer sur la figure de la feuille séparée en **justifiant** toutes vos réponses:

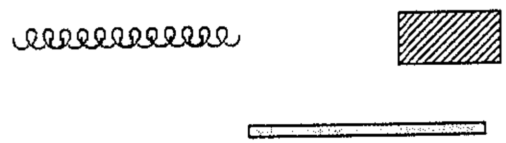
- le sens de la vitesse du bloc,
- le sens de l'accélération du bloc,
- le sens des forces impliquées dans l'interaction "bloc-ressort", en représentant chaque force sur l'objet qui la subit,
- le sens des composantes horizontales des forces impliquées dans l'interaction "table-bloc", en représentant chaque composante sur l'objet qui la subit.

2°) Répondre à toutes les questions du 1°) en considérant cette fois la situation correspondant au point D sur la courbe x(t). Justifier vos réponses.

Préciser en outre, toujours dans la situation correspondant au point D, pour quelle interaction ("bloc-ressort" ou "table-bloc") les forces ont la norme la plus grande.

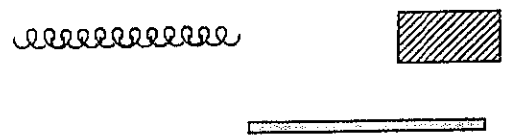
Nom: **Prénom:**

Situation en B



Justifications:

Situation en D



Justifications:

II Analyse du mouvement

Nous allons maintenant retrouver par le calcul l'équation de la courbe représentée fig.4.

1°) Première phase:

Le bloc se déplace depuis sa position initiale $x(0) > l_0$ vers sa position à vide d'abscisse $x = l_0$. Écrire les expressions des composantes horizontales des forces s'exerçant sur le bloc et appliquer le P.F.D.

Écrire l'équation différentielle ainsi obtenue sous la forme $\ddot{x}+\frac{k}{m}(x-x_1)=0$, en précisant la valeur de x_1.

Pour résoudre cette équation différentielle, on effectue un changement de variable en écrivant la fonction $x(t)$ sous la forme $x(t) = X(t) + x_1$ où x_1 est la constante indépendante du temps précisée plus haut. Écrire l'équation différentielle à laquelle obéit la fonction $X(t)$. Quelle est la solution de l'équation en X sachant qu'à l'instant $t = 0$, le bloc est lâché sans vitesse initiale ($v(0) = \dot{X}(0) = 0$) depuis la position A telle que $X(0) = x(0) - x_1 = \frac{4\mu_d mg}{k}$? Préciser la période du mouvement.

Pour quelle position x_{min}, la vitesse du bloc s'annule-t-elle avant de changer de signe?

2°) Deuxième phase

Le bloc se déplace depuis sa position d'abscisse minimale $x_{min} < l_0$ vers sa position à vide d'abscisse $x = l_0$.

Appliquer de nouveau le P.F.D. et montrer que l'équation différentielle peut se mettre sous la forme $\ddot{x}+\frac{k}{m}(x-x_2)=0$ en précisant la valeur de x_2.

Effectuer le changement de variable $Y(t) = x(t) - x_2$ et résoudre.

Pour quelle position, la vitesse du bloc s'annule-t-elle ?

3°) Montrer que le bloc reste ensuite immobile au point E.

****

LIRE ATTENTIVEMENT LE TEXTE SUIVANT :

ETUDE DE LA TRAJECTOIRE D'UNE PARTICULE CHARGEE DANS UN CHAMP MAGNETIQUE

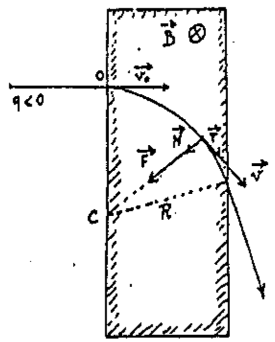
Le champ est uniforme ; la vitesse initiale $\vec{v_0}$ est orthogonale à $\vec{B}$.

Considérons une particule de masse m, de charge q, pénétrant dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$. La vitesse initiale $\vec{v_0}$ est orthogonale aux lignes de champ (fig.). Négligeons le poids de la particule ; elle peut donc être considérée comme soumise à la seule force d'origine électromagnétique :

$$\vec{F} = q \cdot (\vec{v} \wedge \vec{B}).$$

L'accélération $\vec{a}$ est liée à la force appliquée, et ce, par la relation fondamentale de la dynamique :

$$m \cdot \vec{a} = q \cdot (\vec{v} \wedge \vec{B}).$$



A tout instant, le vecteur $\vec{a}$ est orthogonal à $\vec{B}$.

La trajectoire est toute entière dans le plan perpendiculaire à $\vec{B}$ et contenant $\vec{v_0}$.

Supposons $q < 0$: le trièdre $\vec{v}$, $\vec{B}$, $\vec{F}$ est inverse. Nous en déduisons le sens de la déviation.

Dans le repère de Frenet, nous avons :

$$\vec{F} = m \cdot (\vec{a_N} + \vec{a_T})$$

$$= m \cdot \frac{v^2}{\rho} \cdot \vec{N} + m \cdot \frac{dv}{dt} \cdot \vec{T} = q \cdot (\vec{v} \wedge \vec{B}).$$

vient :

$$* \quad \vec{F} \cdot \vec{v} = 0 \Rightarrow \vec{a_T} = \vec{0}$$

$$\Rightarrow \frac{dv}{dt} = 0 \Rightarrow v = v_0 = C^{te}.$$

$$* \quad q \cdot (\vec{v} \wedge \vec{B}) = \frac{m \cdot v^2}{\rho} \cdot \vec{N}.$$

La relation entre les normes et les valeurs absolues s'écrit :

$$|q| \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha = m \cdot \frac{v^2}{\rho}$$

avec ρ : rayon de courbure de la trajectoire.

Or :

$$v = v_0 \quad \text{et} \quad \sin \alpha = 1 \qquad (\alpha = 90°)$$

d'où :

$$|q| \cdot v_0 \cdot B = \frac{m \cdot v_0^2}{\rho}$$

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

Le rayon de courbure est constant. La trajectoire est un cercle de rayon :

$$R = \frac{m \cdot v_0}{|q| \cdot B}.$$

REPONDRE ENSUITE AUX QUESTIONS SUIVANTES :

S 1° Que représentent les symboles $\vec{a_N}$, $\vec{a_T}$ et α ?

H 2° Enoncer la propriété de la force qui permet d'affirmer que le mouvement est uniforme.

H 3° Le mouvement est-il encore uniforme ?

a) si le champ magnétique n'est plus uniforme ?

b) si le champ magnétique $\vec{B}$ est uniforme et la vitesse initiale $\vec{v_0}$ non perpendiculaire à $\vec{B}$?

H 4° Quelle(s) est(sont) l'(les) hypothèse(s) du texte qui conduit(sent) à une trajectoire plane pour la particule chargée ?

H 5° Quel est le mouvement de la particule si $\vec{v_0}$ est parallèle au champ uniforme $\vec{B}$?

H 6° Le fait que le champ $\vec{B}$ soit uniforme intervient à plusieurs reprises dans cette démonstration. Récapituler où et comment ?

H 7° On « néglige le poids de la particule » : par rapport à quoi ?

R 8° Avez-vous une idée des ordres de grandeur de v_0, B, R dans un synchrotron ?

RE ATTENTIVEMENT

TEXTE SUIVANT :

MOUVEMENT D'UN SATELLITE

Intéressons-nous seulement aux satellites à trajectoires circulaires. On démontre (propriété d'un mobile soumis à une force centrale) que le plan de la trajectoire contient le centre de la Terre.

* Choisissons, comme repère, le repère géocentrique que nous supposerons galiléen.

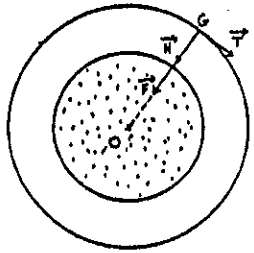
* Choisissons, comme système matériel, le satellite.

* Faisons le bilan des forces extérieures appliquées : le satellite n'est soumis qu'à l'attraction gravitationnelle due à la Terre.

La relation fondamentale nous permet d'écrire :

$$\Sigma\vec{f} = m \cdot \vec{a}_G \Rightarrow \vec{F} = m \cdot \vec{a}_G \iff \vec{a}_G = \vec{\mathcal{G}}.$$

Dans la base de Frenet ($\vec{T}$, $\vec{N}$), nous avons (fig.) :



$$\vec{\mathcal{G}}\begin{pmatrix} 0 \\ \mathcal{G} \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad \vec{a}_G\begin{pmatrix} \dfrac{dv}{dt} \\ \dfrac{v^2}{r} \end{pmatrix}.$$

Donc :

$$\frac{dv}{dt} = 0 \Rightarrow v = C^{te}$$

(la vitesse est constante : le mouvement est uniforme)

et :
$$\frac{v^2}{r} = \mathcal{G} \Rightarrow v = \sqrt{\mathcal{G} \cdot r} = \sqrt{\mathcal{G} \cdot (R + z)}.$$

Or :
$$\mathcal{G} = G \cdot \frac{M}{(R+z)^2} = \mathcal{G}_0 \cdot \frac{R^2}{(R+z)^2}$$

(avec : $\mathcal{G}_0 = g_0$, valeur du champ de pesanteur à l'altitude $z = 0$),

donc :
$$v = R \cdot \sqrt{\frac{g_0}{R+z}}.$$

Ainsi, pour une altitude $z = 300$ km, on trouve $v = 7{,}72$ km. s^{-1}.
La durée d'un tour, ou période, du satellite est :

$$T = \frac{2\pi \cdot (R+z)}{v} = \frac{2\pi \cdot (R+z) \cdot \sqrt{R+z}}{R \cdot \sqrt{g_0}}.$$

REPONDRE ENSUITE AUX QUESTIONS SUIVANTES :

S 1° Qu'est-ce que le repère géocentrique ? Les vecteurs de base de ce repère tournent-ils en 24 heures comme la Terre sur elle-même ?

S 2° Que désignent respectivement les symboles r, R et M ?

R 3° Le vecteur vitesse du satellite est-il constant ? Justifiez votre réponse.

R 4° Deux satellites A et B en orbite circulaire ont respectivement des altitudes z_A et z_B telles que $z_A > z_B$. Lequel a la plus grande vitesse linéaire ?

H 5° La vitesse du satellite ne dépend pas de sa masse. A quel endroit de la démonstration introduit-on ce qui explique ce résultat ?

C 6° La relation $\mathcal{G} = G \dfrac{M}{(R+z)^2}$ est-elle démontrée dans le texte à partir d'autres relations précédentes ?

S 7° Quelle est la signification du symbole $\mathcal{G}_0$?

C Donner les intermédiaires de calcul entre l'égalité :

$$\mathcal{G} = G \frac{M}{(R+z)^2} \text{ et l'égalité } \mathcal{G} = \mathcal{G}_0 \frac{R^2}{(R+z)^2}.$$

P 8° Montrez, à partir du texte, que la quantité $T^2 r^{-3}$ a la même valeur pour tous les satellites en orbite circulaire.

LIRE ATTENTIVEMENT LE TEXTE SUIVANT (extrait d'un polycopié de DEUG)

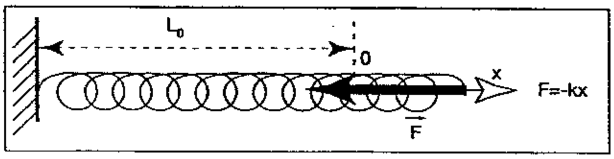
Soit un ressort dont on néglige la masse , et dont chaque extrémité est attachée à un objet. On considère qu'il exerce sur ces objets (à chaque extrémité), respectivement, les forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$, dont les intensités valent $\|\vec{F}_1\| = \|\vec{F}_2\| = k|\Delta L|$, avec

ΔL : allongement du ressort (longueur - longueur à vide)

k : constante de raideur du ressort.

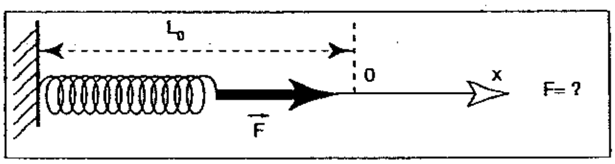
La force $\vec{F}$ exercée par le ressort sur un objet fixé à l'une de ses extrémités est dessinée sur chacun des schémas suivants.

0 est l'origine pour la coordonnée x.



REPONDEZ MAINTENANT A LA QUESTION SUIVANTE

Ecrire, dans le cas représenté ci-dessous, la valeur algébrique de $\vec{F}$ sur $\vec{Ox}$ à l'aide des symboles figurant sur le schéma et de la constante k.



LIRE ATTENTIVEMENT LE TEXTE SUIVANT (question de cours extraite d'un partiel de deuxième année de DEUG, 1996)

1. Rappeler l'énoncé de Clausius du second principe.
2. Pour une machine de Carnot réversible fonctionnant en pompe à chaleur, établir, en fonction des températures T_C et T_F, l'expression du rendement $\eta_{max} = \mid Q_C \mid / \mid W \mid$. ($Q_C$ chaleur échangée avec la source chaude, W travail échangé avec l'extérieur.)
3. Montrer que le rendement d'une pompe à chaleur réelle est toujours inférieur à η_{max}.
4. Montrer que l'inégalité de Clausius $Q_C/T_C + Q_F/T_F \leq 0$ est encore valable pour un cycle de pompe à chaleur ($Q_C < 0$, $W > 0$).

REPONDEZ MAINTENANT AUX QUESTIONS SUIVANTES

A Ce texte vous semble-t-il clair du point de vue des définitions de grandeurs? Si tel n'est pas le cas, précisez ce qui vous parait devoir l'être, de manière à ce que le texte reste cohérent.

LIRE ATTENTIVEMENT LE TEXTE SUIVANT (extrait d'un recueil de sujets de CAPES accompagnés de leurs corrigés)

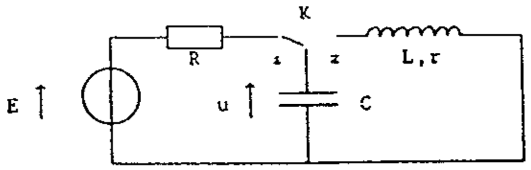
A Extraits du sujet du CAPES externe 1992

PREMIÈRE PARTIE

ÉLECTRICITÉ

I. CHARGE D'UN CONDENSATEUR À TRAVERS UNE RÉSISTANCE

On considère le circuit suivant :



$E = 1{,}00$ V
$R = 10{,}0\ \Omega$
$C = 0{,}100\ \mu F$
$L = 0{,}100$ H
$r = 50{,}0\ \Omega$

Figure 1

1. Étude de la tension aux bornes du condensateur.

À la date $t = 0$, le condensateur étant entièrement déchargé, l'interrupteur K est placé dans la position 1.

a. Établir l'équation différentielle de la tension u aux bornes du condensateur. En déduire la loi : $u(t) = E(1 - e^{-t/\tau})$. Quel nom donne-t-on à la constante τ ?

b. Donner l'allure de la courbe représentative de la fonction $u(t)$. Tracer sa tangente à l'origine et préciser les coordonnées du point d'intersection de cette tangente avec l'asymptote.

c. Calculer, en fonction de τ, le temps au bout duquel la charge du condensateur diffère de moins de 1 % de sa charge limite.

Application numérique : évaluer numériquement ce temps.

- - - - -

II. DÉCHARGE DU CONDENSATEUR À TRAVERS UNE BOBINE

On revient au montage de la figure 1. La charge du condensateur sous la tension E étant terminée, on bascule l'interrupteur K dans la position 2. Cela a pour effet de fermer le condensateur sur une bobine caractérisée par son coefficient d'auto-induction L et sa résistance r. On prend comme nouvelle origine des temps la date de fermeture de K dans cette position.

1. Établir l'équation différentielle de la tension $u(t)$ aux bornes du condensateur.

2. Montrer que cette équation peut se mettre sous la forme :

$$\frac{d^2u}{dt^2} + 2\lambda\omega_0\frac{du}{dt} + \omega_0^2 u = 0$$

et exprimer les coefficients λ et ω_0 en fonction de r, L et C.

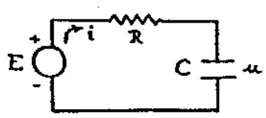
Quels sont les régimes possibles de décharge du condensateur ?

B Extraits de la solution proposée

Première partie : ELECTRICITE

I. Charge d'un condensateur à travers une résistance

I. a) L'équation du circuit est $E = Ri + u$ avec



$q = Cu$ et $i = \frac{dq}{dt}$ donc $i = C\frac{du}{dt}$

L'équation peut donc se mettre sous la forme

$$\frac{du}{dt} + \frac{1}{RC}u = \frac{E}{RC}$$

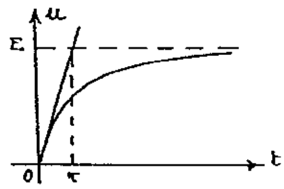
Sa solution est

$$u(t) = E\,(1 - e^{-t/RC})$$

On peut poser $\tau = RC$, appelée constante de temps. On calcule que $\tau = 10 \times 10^{-7} = 10^{-6}$ s.

b) Près de l'origine, $u(t) \cong Et/RC$. C'est alors l'équation de la tangente. Elle coupe l'asymptote pour

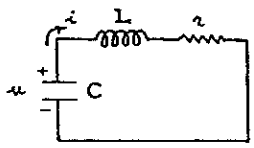
$$t = RC = \tau$$



II. Décharge d'un condensateur à travers une bobine

1. L'équation du circuit est alors

$$ri + L\,di/dt - u = 0$$



Il faut écrire $i = -C\,du/dt$ (attention au signe : le condensateur se décharge donc $du/dt < 0$); l'équation de la tension est donc

$$\frac{d^2u}{dt^2} + \frac{r}{L}\frac{du}{dt} + \frac{u}{LC} = 0$$

2. Pour pouvoir mettre cette équation sous la forme

$$\frac{d^2u}{dt^2} + 2\lambda\omega_o\frac{du}{dt} + \omega_o^2 u = 0$$

Il faut poser $\omega_o^2 = 1/LC$ et $2\lambda = r\sqrt{C/L}$

Une telle équation a trois types de solutions suivant le signe de $\Delta'^2 = \omega_o^2\,(\lambda^2 - 1)$. Si $\Delta'^2 < 0$, c'est-à-dire si $\lambda^2 < 1$, la solution est une sinusoïde amortie par une exponentielle décroissante; elle est alors dite pseudo-périodique. Si $\lambda^2 \geq 1$, la solution n'est pas sinusoïdale : elle est dite apériodique.

REPONDEZ MAINTENANT AUX QUESTIONS SUIVANTES

Paragraphe II:

A Précisez la définition de u sous la forme d'une différence de potentiel entre deux points que vous préciserez

A Que signifie la flèche courbe sur le premier schéma du corrigé?

A Définir la variable q de manière à ce que les égalités proposées soient justes.

A Peut-on traiter le problème avec d'autres définitions pour i, u, q? Si NON pourquoi? Si OUI, donner un exemple.

Paragraphe III:

A Le symbole i désigne un flux algébrique de charge. Pour un flux de charge donné dans la branche du condensateur (c'est à dire pour un comportement donné des électrons), la valeur de la variable i du paragraphe I et celle du paragraphe II seraient-elles les mêmes, par exemple i=+4mA? justifiez votre réponse.

A "Il faut écrire i=-Cdu/dt" : l'argument entre parenthèses - ("attention au signe...") - tient-il dans le cas d'une décharge oscillante, autrement dit quand le condensateur est tantôt en situation de charge, tantôt en situation de décharge?

A Que signifient les signes + et - placés sur les plaques du condensateur dans deux schémas du corrigé?

LIRE ATTENTIVEMENT LES ENONCES SUIVANTS

La vitesse de la lumière est une constante pour un milieu donné.

la vitesse de la lumière dans le vide est une constante

La vitesse du son dans l'air ne dépend que de la température.

La résistance d'une conducteur ohmique ne dépend que de sa température.

REPONDEZ MAINTENANT A LA QUESTION SUIVANTE

Citer des indépendances intéressantes qui sont signalées, par l'adjectif "constante" ou autrement, dans chacun des énoncés ci-dessus (vous pourrez de ce fait préciser et compléter ces énoncés).