physique 1

Claude

13 février 2004

Remarque : Pour des raisons purement techniques, les vecteurs seront notés en gras et non avec une petite flèche.

Première partie
la craie qui crisse

1 Forces de frottement solide : lois phénoménologiques

1.1 Attention

Je ne vais pas parler ici des forces de frottement fluide, liées au déplacement dans un fluide (gaz ou liquide). Ces deux types de frottements sont très différents. Il ne faut pas les confondre !

1.2 force de frottement au repos

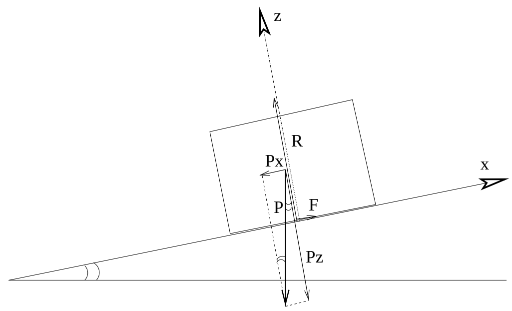

FIG. 1 – force de frottement

On pose un objet. La réaction du support est la somme d'une réaction orthogonale **R** et d'une réaction tangeantielle **F** au support. Soit α l'angle que fait le support par rapport à l'horizontale , m la masse de l'objet et g la pesanteur. On se place d'abord dans la situation où l'objet est immobile. La somme vectorielle des forces est donc nulle. On a par conséquent :

$R = \cos \alpha mg$ (je parle ici de la norme du vecteur)

$F = \sin \alpha mg$

Lorsqu'on augmente α, on augmente la force de frottement. Mais on constate que si on augmente trop α (on peut par exemple essayer avec une éponge sur un cahier) l'objet se met à glisser. Et l'angle α_0 pour lequel le glissement commence est indépendant du poids. Il dépend juste des deux surfaces en contact (si on met une deuxième éponge sur la première, sauf si elle tombe, α_0 reste le même). Il y a donc un certain coefficient que l'on va noter f_s tel que :

$F \inf f_s R$

De quel ordre de grandeur [1] est f_s ? f_s varie selon les surfaces en contact, comme α_0. $\alpha_0 \sim \frac{\Pi}{6}$ est un bon ordre de grandeur. Donc comme $F = f_s R = f_s \cos \alpha_0 mg = \sin \alpha_0 mg$ $f_s = \tan \alpha_0 \sim \tan \frac{\Pi}{6} = \frac{1}{\sqrt{3}} \sim 0,6$.[2]

En général, sauf matériaux bizarroïdes, $0,1 \leq f_s \leq 0,9$.

1.3 et en mouvement...

Lorsque l'objet se met à glisser, on a encore une force de frottement qui va s'opposer. Mais celle-ci est moindre que au repos. En effet des liaisons entre l'objet et le support se sont cassées. On peut aussi le voir comme des rugosités qui ne s'interpénètrent plus. En effet il n'existe pas de surface totalement lisse. Il existe toujours une échelle où on a des rugosités. On a donc :

$F = f_d R$ avec $f_d < f_s$

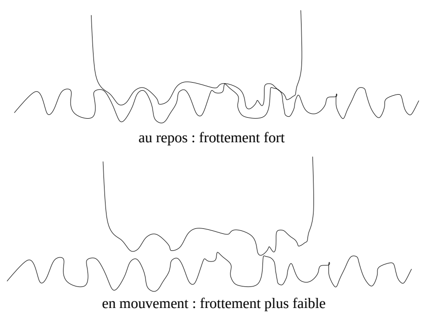

FIG. 2 – rugosités

[1]avoir une idée des ordres de grandeur est quelque chose de très important en physique

[2]je m'étais plantée. J'avais affirmé que $F = fmg$ alors qu'en fait $F = fR$ La prochaine fois j'essaierais de mieux réviser pour dire moins de bêtises. Désolée

2 description du phénomène

Il vous est sans doute déjà arrivé d'entendre, quand quelqu'un écrit avec une craie au tableau, d'entendre un son fort désagréable. Et si on casse la craie en 2, plus rien.

Si on entend un son, c'est que la craie doit vibrer. Et cela est sans doute du au frottement contre le tableau. La craie n'avance pas de manière continue, mais par à-coups qui la font vibrer, et sont liés aux 2 coefficients de frottements différents.

3 modèle et calculs

3.1 modèle

Une masse sur un support accrochée à un ressort dont l'autre extrêmité se déplace à vitesse constante pourrait être un bon modèle pour notre craie. En effet on peut considérer que la main entraîne bien la craie à vitesse constante. Et la craie est légèrement déformable, mais veut revenir à son état initial, comme un ressort.

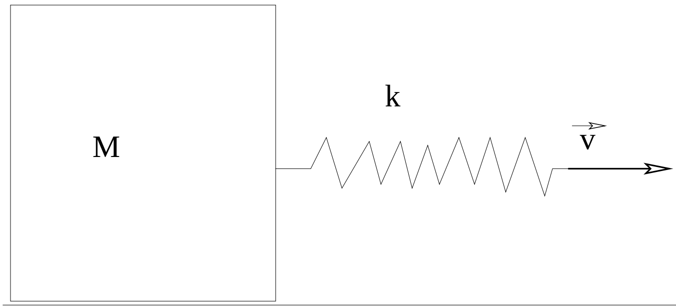

FIG. 3 – modèle : masse au bout d'un ressort

3.2 étapes du mouvement

On a un cycle de 2 phases.

Dans la phase 1, la masse est immobile. Poids et réaction normale du support se compensent. La force de frottement compense la force **T** appliquée par le ressort. La longueur du ressort s'accroît à la vitesse v. Ce qui accroit T et donc F jusqu'à ce que $F = f_s mg$. F ne peut pas grandir plus.

Commence alors la phase 2 de mouvement. La masse se déplace. La force de frottement est $F = f_d mg$. Elle est inférieure à T. T diminue (on suppose que la masse avance plus vite que la main). Jusqu'à ce que $T = F$ [3]. Alors la masse s'arrête. Retour à la phase 1.

3.3 calcul de la fréquence du son émis

Soit τ la période du cycle, τ_1 la durée de la phase 1,τ_2 la durée de la phase 2.

$\tau = \tau_1 + \tau_2$. On peut supposer que $\tau_2 \ll \tau_1$ et que donc $\tau \sim \tau_1$.[4]

$t = 0$ au début de la phase 1. On avait à la fin de la phase 2 $T = F$ (on était encore en mouvement et donc on avait encore le coefficient de frottement f_d), et donc $k\Delta x(t = 0) = f_d mg$. A la fin de la phase 1, à $t = \tau_1 \sim T$, $T = F$, mais cette fois-ci avec le coefficient de frottement statique. Et donc : $k\Delta x(t = \tau) = f_s mg$. et comme l'autre extremité du ressort a avancé avec la vitesse v, on a $\Delta x(t = 0) + vT = \Delta x(t = T)$. On obtient donc $T = \frac{mg(f_s - f_d)}{kv}$. Déjà, comme $f_d < f_s$, on a bien $\tau > 0$, ce qui est déjà bon signe.

Maintenant [5] on va passer à une application numérique. On prend $v = 0,1 m.s^{-1}$, $f_s - f_d = 0,05$, $m = 0,1 kg$, $g = 10 N.kg^{-1}$, $k = 8000 N.m^{-1}$.

On obtient $\tau = \frac{1}{16000}$, et donc la fréquence $f = \frac{1}{\tau} = 16000 Hz = 16 kHz$.

[3] enfin plus exactement d'après les lois de Newton lorsque la somme des forces qui s'appliquent sur un objet est nulle, il a un mouvement rectiligne uniforme. C'est-à-dire qu'il va continuer sur sa lancée. Pour être plus juste, il faut donc que T devienne inférieure à F, ce qui ralentit la masse jusqu'à l'arrêter. Mais on va supposer (je sais ça fait beaucoup d'hypothèses, mais sans elles les calculs sont trop difficiles, et ça marche bien comme ça) que ça arrive très vite (relativement au reste) et que donc ça ne compte pas trop...

La "bande passante" de l'oreille humaine est de 20 Hz à 20kHz. Les sons plus aigus ont une fréquence plus grande. Le son obtenu est donc aigu.

3.4 lorsqu'on casse la craie en 2

On a alors m divisé par 2 et k multiplié par 2 (la moitié d'un ressort va s'allonger 2 fois moins que le ressort entier pour la même force). On a donc la fréquence multipliée par 4. Et donc le son devient trop aigu : on ne peux plus l'entendre.

4 critiques

- "Quand on tient la craie de travers on élimine aussi le son". C'est sans doute que ça doit modifier k...
- "Ici le poids n'agit pas vraiment car on écrit sur un tableau horizontal". bonne remarque. La modélisation est en effet un peu grossière. La masse m n'est peut-être pas celle de la craie, mais traduit sans doute plutôt une force exercée par la main. On ne peut donc pas affirmer qu'en cassant la craie en 2, la masse de notre modèle est divisée par 2. Mais comme au pire elle reste égale, la fréquence va donc être au moins multipliée par 2, et donc plus de son audible....

Deuxième partie
mirages

5 rappel des lois de Descartes

5.1 refraction

On a deux milieux différents, et donc deux indices différents. Les indices sont caractéristiques du transport de la lumière dans un milieu. Lorsqu'un rayon lumineux passe d'un milieu à l'autre, on a la relation suivante entre i l'angle d'incidence et r l'angle de refraction :

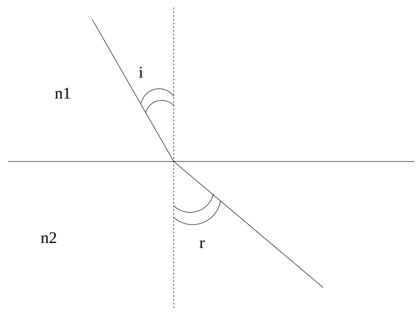

Fig. 4 – réfraction

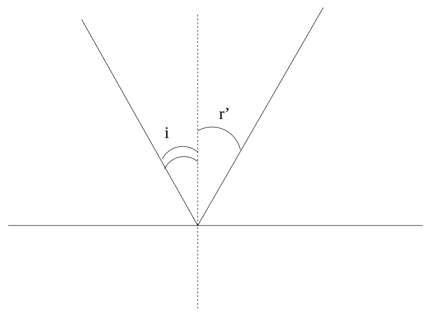

Fig. 5 – reflexion

$n_1 \sin i = n_2 sinr$

5.2 reflexion

On n'a pas toujours transmission de toute la lumière du premier milieu au deuxième milieu. En effet par exemple lorsqu'on regarde une vitre, on voit un reflet : c'est qu'une partie de la lumière a été réfléchie. Et parfois c'est toute la lumière qui est réfléchie : dans le cas d'un miroir par exemple. Lorsque $n_1 \sin i > n_2$, il ne peut pas exister d'angle r, puisque $\sin n'importequelangle \leq 1$.

[4]j'ai tiré cette modélisation d'un contrôle que j'ai eu l'an dernier. On calculait les deux durées, et on constatait que l'approximation marchait. Mais le calcul de τ_2 est vraiment trop difficile

[5]ce n'est qu'une fois qu'on a l'expression littérale qu'on passe à l'application numérique.

Soit r' l'angle réfléchi : $i = r'$

5.3 exemples d'indices

- vide $n = 1$
- air $n \sim 1,0003 \sim 1$
- verre (en général) $1,4 < n < 1,6$
- diamant (c'est pour ça qu'il est tant apprécié en joaillerie) $n \sim 2,4$

5.4 indice de l'air et densité

Si l'air a un indice légèrement supérieur à celui du vide, c'est à cause de la présence de molécules. Donc logiquement, plus l'air est dense, plus l'indice va augmenter.

6 application : mirages

Dans un désert, en plein jour, la température de l'air est plus élevée au niveau du sol, à cause du sable qui absorbe le rayonnement solaire et ainsi chauffe. Il en est de même sur une route en bitume l'été.

L'air est donc moins dense au niveau du sol. En effet l'air peut être considéré comme un gaz parfait et donc on peut lui appliquer la loi :

$PV = nRT$

Soit $\rho = \frac{n}{V}$ le nombre de particules par unité de volume. $\rho = \frac{P}{RT}$. Et ρ est proportionnel à la densité. On a donc la densité de l'air proportionnelle à $\frac{1}{T}$.

L'indice de l'air est donc plus petit au niveau du sol qu'en altitude. C'est bien sûr continu, mais on peut imaginer découper l'air en tranches, chaque tranche d'indice n(z).

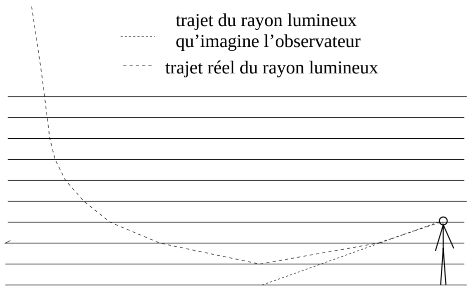

Fig. 6 – mirage dans le désert

Un rayon lumineux venant du ciel est dévié au fur et à mesure jusqu'à être réfléchi. Une personne qui regarde à l'impression que ce rayon vient du sol, à cause de la direction dans laquelle elle voit le rayon. Et s'imagine donc voir de l'eau.

7 remarques

La couleur du sable a-t-elle une influence ?

Honnêtement je ne sais pas trop. Ça doit modifier les propriétés d'absorption par le sable du rayonnement (un sable noir va plus absorber, et donc devenir plus chaud qu'un sable blanc...).

Autres mirages :

Sur une route l'été on peut aussi avoir l'impression de voir une flaque d'eau, pour les mêmes raisons.

Dans des régions au sol enneigé, glacé, on peut avoir le phénomène inverse, l'air pouvant être plus froid au niveau du sol qu'en altitude. On peut alors voir des choses lointaines qui nous sont habituellement cachées par la courbure de la Terre.

Sur la mer aussi on peut avoir ce genre de phénomène et voir des bateaux qui sont en fait très loin... Peut-être l'origine d'histoires de vaisseaux fantômes...

Et bien sûr tout ceci n'est pas exhaustif...

Troisième partie

les bottes cirées

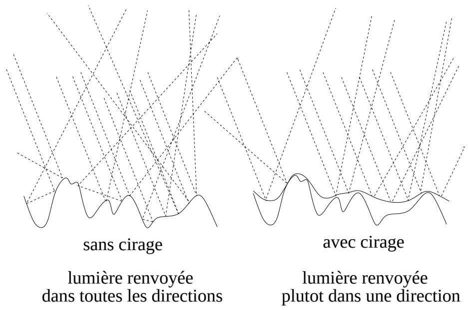

Fig. 7 – cirage des bottes

Pourquoi les bottes cirées brillent plus que des bottes qui ne le sont pas ?

On peut avoir l'impression que les bottes sont lisses. Mais en fait si on les regarde de plus près, voire avec un microscope, on se rend compte qu'elles sont très bosselées. Il n'existe rien de parfaitement lisse. Quelque soit le matériau, il y a toujours une échelle où il est rugeux.

Quand on met du cirage, les rugosités deviennent moins profondes. Et donc la lumière est réfléchie de manière plus ordonnée.

Quatrième partie

phares en temps de brouillard

Lorsqu'il y a du brouillard, les phares des voitures portent moins loin que par temps sec. Les voitures ont même à l'arrière un feu plus puissant pour être vues par ce temps.

C'est tout simplement parce que les gouttes d'eau qui forment le brouillard diffusent la lumière.

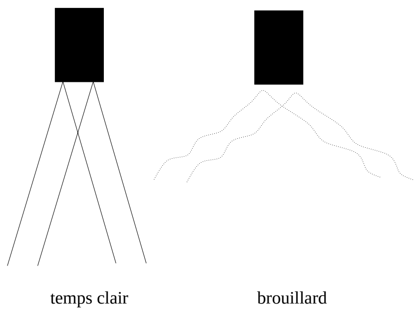

FIG. 8 – portée de phares de voiture

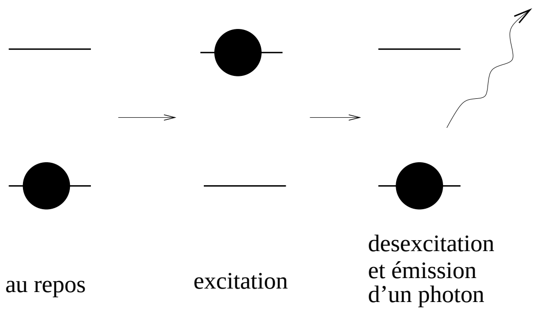

FIG. 9 – émission d'un photon

Cinquième partie
questions

8 comment émettre un photon

Une manière parmi d'autres :

Dans les lampes classiques, un filament est traversé par le courant. Il chauffe, et donc aussi le gaz qui remplit la lampe. Les atomes se choquent et à cette occasion des électrons changent de niveau d'énergie [6], puis en se désexcitant émettent un photon dont l'énergie est égale à la différence entre le niveau de départ et le niveau d'arrivée de l'électron.

9 c'est quoi un photon

Très bonne question... Mais trop dur pour moi d'y répondre simplement. Très rapidement et très vaguement :

[6] l'atome est constitué d'un noyau et d'électrons que l'on peut imaginer graviter autour. Selon leur orbite, les électrons n'ont pas la même énergie. Les niveaux d'énergie ne sont pas continus (mécanique quantique)

La lumière peut être décrite de 2 façons :
– comme une onde (ce qui explique des phénomènes d'interférence)
– comme des particules, les photons. Mais ces photons n'ont pas de masse, et une énergie égale à $h\nu$, ou h est la constante de Planck (c'est de la mécanique quantique), et ν la fréquence ($\lambda\nu = c$, avec λ la longueur d'onde et c la vitesse de la lumière)

10 pourquoi une goutte ne s'écrase pas

Deux phénomènes entrent en jeu :
– la pesanteur, qui tend à faire s'écraser la goutte
– la tension de surface : créer une surface coûte de l'énergie. En effet les molécules constituant un liquide ont des interactions entre elles et préfèrent donc être entourées de leur semblables qu'être en contact avec l'air, ou la table. La forme qui minimise la surface est une sphère

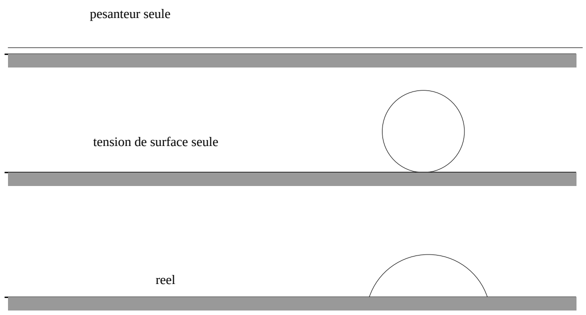

Fig. 10 – lorsqu'on met une goutte d'eau sur une table...

La forme d'une goutte sur une table est donc un compromis entre ces deux phénomènes, et dépend du volume de la goutte, de la nature du revêtement de la table, des constituants de la goutte.

Beaucoup d'applications à cela : revêtement en téflon dans les poêles pour que les gouttes s'étalent moins, ajout de polymères particuliers dans les produits pulvérisés sur les champs pour que les gouttes s'étalent plus et restent donc sur la plante au lieu de rebondir et de polluer inutilement le sol, recherche du diamètre optimum des gouttes de médicament pulvérisées (comme la ventoline), etc...

11 à propos de la relativité

Je ne suis pas très bien placée pour répondre à ces questions car je commence tout juste à suivre des cours sur la relativité.

La question que vous m'avez posée : la vitesse de la lumière c est censée être constante. Mais si on est en mouvement à la vitesse v on va voir le rayon lumineux (s'il va dans le sens opposé au notre) aller à une vitesse $c + v$, donc supérieure à c !

Et bien en fait c est une constante, et c'est le temps et les longueurs qui ne sont pas constants d'un référentiel à un autre. Par exemple, deux évènements simultanés dans un référentiel ne le sont pas nécéssairement dans un autre.

Si ça vous intéresse vraiment, je peux vous expliquer ça plus en détail, qualitativement.