

INSTITUT DES HAUTES ÉTUDES

POUR LE DÉVELOPPEMENT DE LA CULTURE DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNOLOGIE EN BULGARIE

Concours Général de Physique Minko Balkanski Mai 2001

La clarté et la précision de la rédaction, qui doit être obligatoirement en français, seront prises en compte dans la note finale. Les questions facultatives seront prises en compte uniquement si toutes les autres questions de la partie sont faites.

Problème 1. « A propos du gaz parfait »

Ce problème comporte deux parties. Il est conseillé de faire les questions dans l'ordre.

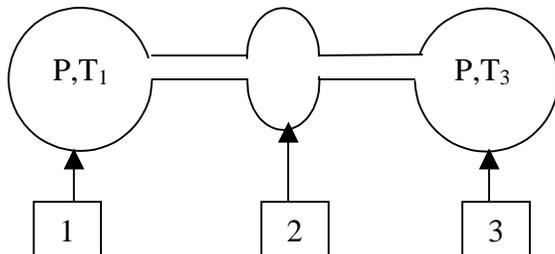
Partie 1 :

On considère un gaz parfait, de particules de masse m , à la température T .

- Ecrire l'équation du gaz parfait.
- Réécrire cette équation en utilisant la concentration en particules n et la constante de Boltzmann k , $k = \frac{R}{N_a}$.
- Donner la définition d'une pression sur une surface S en fonction de la force F s'appliquant sur la surface.
- Donner l'expression de la pression p du gaz parfait en fonction de la concentration en particules n , de la vitesse moyenne des particules v , et de leur masse m .
- Retrouver finalement que l'énergie cinétique moyenne des particules dans un gaz parfait est donnée par $\varepsilon = \frac{3}{2}kT$.

Partie 2 :

On considère un gaz parfait monoatomique très dilué dans le système suivant :



Le système comporte trois compartiments : 1,2 et 3. On impose la même pression dans les compartiments 1 et 3, mais on impose des températures différentes. Le système est en régime permanent.

- a) Ecrire la conservation du nombre de particules et de l'énergie dans le compartiment 2.
- b) Trouver la pression et la température dans le compartiment 2.

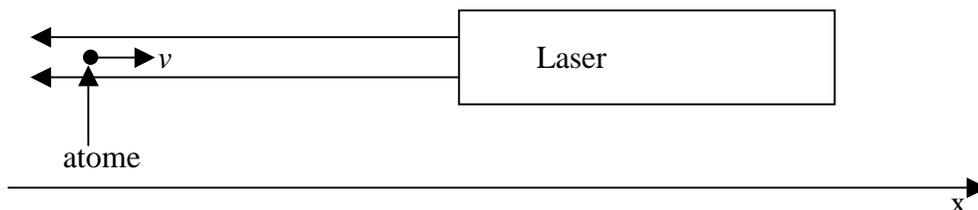
Problème 2. « L'interaction lumière matière »

Ce problème comporte deux parties. Les deux parties peuvent être traitées indépendamment l'une de l'autre.

L'idée générale du problème est d'essayer de modéliser de deux façons différentes l'interaction entre la lumière et la matière tout en gardant un formalisme simple et propre à la mécanique classique. Dans la première partie on considèra que des chocs entre particules (ce qui en réalité correspond à l'aspect corpusculaire de la lumière) et dans la deuxième partie on considèra l'interaction d'un électron avec un champ électrique variable (ce qui correspond à l'aspect ondulatoire de la lumière).

Dans tout le problème on notera avec ω et \vec{k} la pulsation et le vecteur d'onde d'un photon. On sait que l'énergie du photon s'écrit $\varepsilon = \hbar\omega$, et l'impulsion du photon est donnée par $\vec{p} = \hbar\vec{k}$. Par ailleurs on sait que $\omega = ck$ ou c est la vitesse de la lumière.

On considèra aussi un atome qui a une masse M et une vitesse v . L'atome interagit avec la lumière d'un laser de fréquence f , et de puissance W . On suppose qu'une fraction q des photons interagissent avec l'atome (c'est à dire que de N photons incidents uniquement qN interagissent avec l'atome).



Partie 1 :

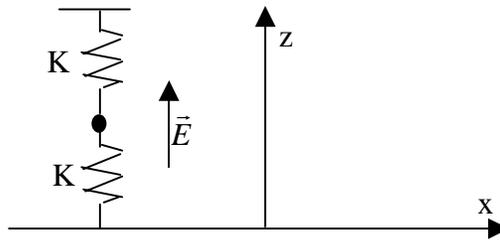
Dans cette partie on modélise l'interaction entre l'atome et le faisceau par des chocs parfaitement inélastiques entre l'atome et les photons du laser. On peut modéliser ceci comme des chocs entre des petites particules les photons ayant une quantité de mouvement $\hbar k$.

- a) Ecrire les lois de conservation pour un choc parfaitement inélastique.

- b) Donner la relation entre f et ω . En déduire la relation entre k et λ (la longueur d'onde de la lumière du laser)
- c) Donner le nombre de photons par unité de temps ($\frac{\Delta N}{\Delta t}$) émis par le laser.
- d) Donner l'expression de la force s'exerçant sur l'atome. Quelle est sa direction ?
- e) (Facultative) En réalité l'atome absorbe un photon (ce qui est modélisé par un choc parfaitement inélastique) et le réémet dans une direction quelconque. La probabilité pour que l'atome réémette le photon dans une direction donnée de l'espace est la même pour toutes les directions. Est-ce que cela change quelque chose à l'expression de la force moyenne qui s'exerce sur l'atome ? Si non, pourquoi ?

Partie 2 :

Dans cette partie on modélise l'absorption d'un photon par un atome. Pour ceci on décrit un photon comme un champ électrique oscillant avec le temps $\vec{E} = E_0 \cos(\omega t) \vec{e}_z$, avec \vec{e}_z le vecteur unitaire portant sur z . L'atome est modélisé par un électron de charge $(-e)$ de masse m et de deux ressorts de raideur K et de longueur à vide nulle comme à la figure :



- a) Donner l'expression des forces qui s'exercent sur le système et préciser leurs origines
- b) Ecrire l'équation du mouvement
- c) Résoudre cette équation en supposant que le système oscille à la pulsation ω . Donner l'amplitude des oscillations.
- d) Que devienne cette amplitude quand $\omega \rightarrow 0$ (tend vers zéro) et quand $\omega \rightarrow \infty$ (tends vers l'infini). Avec ce modèle trouvez-vous un comportement anormal de l'amplitude des oscillations pour un certain ω
- e) Sachant que la probabilité pour que l'atome interagisse avec le photon est proportionnelle à l'amplitude des oscillations pourquoi choisit t'on ω proche de $\sqrt{\frac{2K}{m}}$.
- f) (facultative) Pour éviter les divergences de l'amplitude des oscillations on introduit dans le terme des forces, un terme de frottement fluide $\vec{F} = -\beta \vec{v}$ où \vec{v} est la vitesse de l'électron. Trouver dans ce cadre l'amplitude des oscillations du système. A quoi d'après vous peut correspondre ce terme de frottement ?