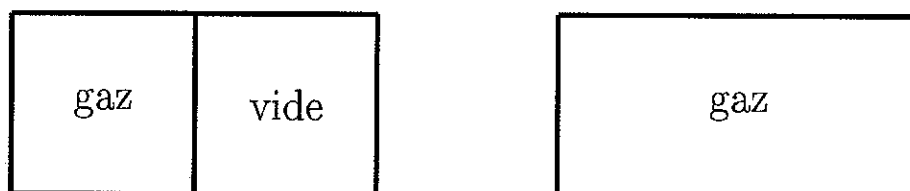


# Epreuve de culture scientifique

## Physique

### Exercice 1

#### La détente de Joule Gay-Lussac revisitée



1. Qu'est ce qu'un gaz parfait monoatomique ?
2. Donner l'équation d'état d'un gaz parfait ? Cette relation contient-elle toutes les informations permettant de déduire le comportement du gaz dans toute transformation ? Justifier.
3. Quelle est l'expression de l'énergie du gaz en fonction de la température pour un gaz parfait monoatomique ?
4. Quelle est l'expression de la chaleur spécifique à volume constant pour un gaz parfait monoatomique ?
5. Montrer que

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V$$

6. On considère une boîte initialement vide en contact avec l'atmosphère extérieure (température  $T_0$ , pression  $P_0$ ). Un trou est pratiqué dans la boîte, l'air y pénètre. On mesure la température  $T'_0$  juste après que le gaz soit entré, et on trouve transitoirement une température plus élevée que celle de l'air initial.
  - (a) Pouvez-vous expliquer qualitativement l'effet observé en supposant le gaz parfait ?
  - (b) En appliquant le premier principe de la thermodynamique, calculer l'expression de la température  $T'_0$ . On supposera (pour faire simple) que l'air est un gaz parfait monoatomique.
7. On considère le gaz (voir figure) dans la boîte dont les parois isolent le gaz de l'extérieur. Initialement, le gaz occupe la moitié du volume, et est à une température  $T_0$  et une pression  $P_0$ . On supprime la paroi qui sépare les deux compartiments.
  - (a) Observe-t-on une augmentation transitoire de la température du gaz qui a pénétré dans la deuxième moitié (nous supposons le gaz parfait dans cette question) ?

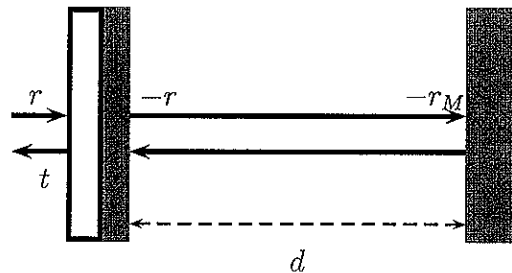
- (b) On suppose que le gaz est parfait. Calculer la température finale de ce système isolé après que l'équilibre se soit rétabli, et la variation d'entropie entre l'état initial et l'état final. Est-ce que cette transformation est réversible? Justifier votre réponse.
- (c) Avec la plupart des gaz réels, la détente s'accompagne d'un refroidissement. Pouvez-vous proposer une explication qualitative de ce phénomène?

# Epreuve de culture scientifique

## Physique

### Exercice 2

#### Cavité électromagnétique



Soit une onde électromagnétique de vecteur d'onde  $k$ , incidente sous incidence normale sur un miroir 1 (voir figure). Le premier miroir a sa face métallisée placée en regard du second miroir (voir figure). On note  $r$  et  $t = (1 - r^2)^{1/2}$  les coefficients de réflexion et de transmission en amplitude du miroir 1. Ce miroir est séparé par une distance  $d$  d'un second miroir, métallique, dont le coefficient de réflectivité en amplitude est  $r_M$ . On rappelle l'existence d'un déphasage de  $\pi$  se produisant lors de la réflexion sur des miroirs métalliques.

1. Montrer que le coefficient de réflexion en amplitude  $\rho$  de cette cavité, c'est-à-dire le rapport des amplitudes du champ réfléchi et du champ incident, est égal à :

$$\rho = \frac{E_r}{E_i} = \frac{r - r_M e^{i\varphi}}{1 - r r_M e^{i\varphi}},$$

où  $\varphi$  est une phase que l'on précisera.

2. Justifier le choix  $r_M = 1$  ?
3. Avec  $r_M = 1$ , on s'intéresse à la variation de phase  $\delta\phi$  de l'onde réfléchie produite par une modification  $\delta d$  de la distance  $d$  entre les miroirs. On règle pour cela la quantité  $kd$  à la valeur  $p\pi$ , où  $p$  est un entier. On prend  $r = 0.99$ . Calculer  $\delta\phi/\delta\varphi$ . Montrer que la variation de phase associée à la variation  $\delta d$  de  $d$  est égale à celle que l'on obtiendrait pour une propagation libre dans le vide sur une longueur  $L_{\text{eff}}$  que l'on précisera.

# Epreuve de culture scientifique

## Physique

### Exercice 3

#### Exercice de mécanique

Cet exercice de mécanique est composé de deux petits exercices indépendants.

##### 1.) Ballon traversant l'intérieur de la terre

Dans cet exercice nous nous proposons de traiter la traversée d'un ballon par un tunnel imaginaire qui traverserait l'intérieur de la terre. On pourra supposer que le ballon est une particule ponctuelle de masse  $m_0$ , que la terre est parfaitement sphérique et de densité homogène  $\rho$  et que le tunnel n'a pas de volume.

a) Le ballon est lâché avec une vitesse nulle au pôle nord. Est-ce qu'il sortira à l'autre bout de la terre? Expliquer qualitativement pourquoi ou pourquoi pas.

b) Résoudre ce problème de façon quantitative : déterminer la trajectoire du ballon. Peut-on identifier une échelle de temps caractéristique pour ce mouvement?

c) Application numérique : donner l'ordre de grandeur du rayon de la terre. Que vaut l'échelle de temps caractéristique du mouvement pour un ballon de 1 kg? Pour un ballon de 1 g?

On donne la constante gravitationnelle  $\gamma = 6.67 \times 10^{-11} m^3 kg^{-1} s^{-2}$  et la densité de la terre  $\rho = 5.5 g/cm^3$ .

d) Est-ce que votre réponse à la question a) dépend des conditions initiales?

e) Discuter qualitativement l'effet d'une force de friction.

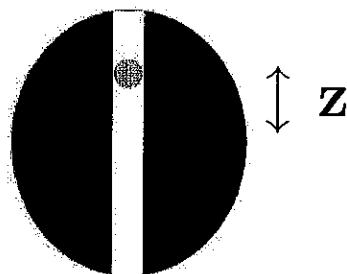
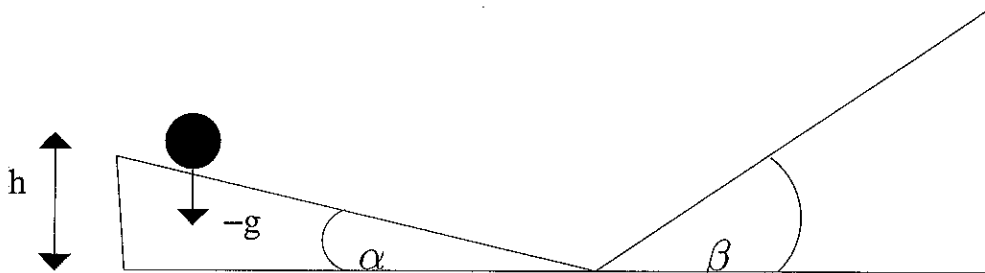


FIG. 1 – Ballon traversant la terre. On suppose que le tunnel n'a pas de volume, donc il n'affecte pas la symétrie sphérique de la terre.

## 2.) Ballon roulant sur des plans inclinés

Dans cet exercice nous considérons le mouvement d'un ballon (masse ponctuelle  $m$ ) sur deux plans inclinés (voir Figure), dans le champ gravitationnel de la terre. On suppose que  $\alpha + \beta < 90^\circ$ . Le ballon est lâché avec une vitesse nulle à hauteur  $h$ .



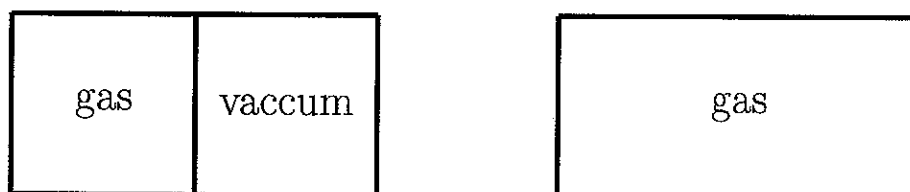
- Donner le vecteur de la vitesse immédiatement après le choc sur le deuxième plan.
- Décrire qualitativement la trajectoire du ballon après le choc.

# Examination of Scientific culture

## Physics

### Exercise 1

#### The Gay-Lussac-Joule experiment revisited



1. What is a monoatomic perfect gas?
2. Give the equation of state of a perfect gas? Does it contains all the information on the gas that permits to extrapolate the behavior of the gas in any transformation? Justify your answer.
3. What is the expression for the energy of a perfect and monoatomic gas as a function of its temperature?
4. What is the expression for heat capacity at constant volume of a perfect and monoatomic gas?
5. Show that

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V.$$

6. We consider a box initially empty (vacuum inside) in contact with the atmosphere (temperature  $T_0$ , pressure  $P_0$ ). A hole is drilled in the box. The air enters the box. One measures the temperature  $T'_0$  just after and finds that the temperature of the gas inside the box is transiently larger than the air outside.
  - (a) Could you explain qualitatively why this effect is observed assuming the gas to be perfect?
  - (b) Applying the first principle of thermodynamics, calculate the expression for the temperature  $T'_0$  assuming (for sake of simplicity) that the air is a monoatomic perfect gas.
7. We consider a gas in a box with walls thermally isolated from the rest of the lab. Initially, the gas occupies half the volume, and is at a temperature  $T_0$  and a pressure  $P_0$ . One removes the wall (see figure).

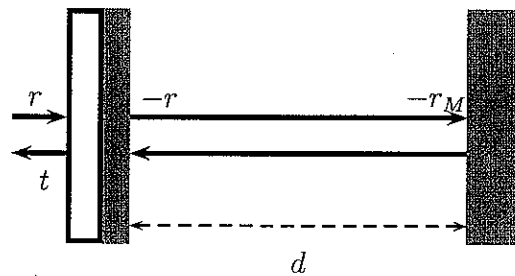
- (a) Does one observe a transient increase of the temperature of the gas that has penetrated the volume initially empty (the gas is assumed to be perfect in this question)?
- (b) We assume the gas to be perfect. Calculate the final temperature of this isolated system after complete recovering of the equilibrium and the variation of the entropy between the initial and the final state. Is this transformation reversible? Justify your answer.
- (c) With most of the real gases, the expansion of the gas is accompanied by a cooling down of the gas. Can you propose a qualitative explanation?

# Examination of Scientific culture

## Physics

### Exercise 2

#### Electromagnetic cavity



We consider an electromagnetic wave of wave vector  $k$  which propagates perpendicularly to the mirror 1 (see figure). The first mirror has a metallic coating on its side that is facing the second mirror (see figure). We denote  $r$  and  $t = (1 - r^2)^{1/2}$  the amplitude coefficient for reflection and transmission. Another metallic mirror is placed at a distance  $d$  from mirror 1, and has an amplitude reflectivity coefficient  $r_M$ . We remind that there is  $\pi$  phase shift for a reflection on a metallic mirror.

1. Show that the global amplitude coefficient for reflection of the cavity, i.e. the ratio of reflected and incident field, is given by

$$\rho = \frac{E_r}{E_i} = \frac{r - r_M e^{i\varphi}}{1 - r r_M e^{i\varphi}},$$

where  $\varphi$  is a phase that you will explicitly derive.

2. What happens when  $r_M = 1$ ?
3. Justify the choice  $r_M = 1$ . We are interested in the phase variation  $\delta\phi$  of the reflected beam when the distance between the mirrors varies by  $\delta d$ . We choose  $kd = p\pi$ , where  $p$  is an integer. We take  $r = 0.99$ . Calculate  $\delta\phi/\delta\varphi$ . Show that the phase variation resulting from the change by  $\delta d$  of the distance  $d$  between the mirrors corresponds to the one of a free propagation in vacuum on a distance  $L_{\text{eff}}$  that you'll determine.



# Examination of Scientific culture

## Physics

### Exercise 3

#### Mechanics Exercise

This mechanics exercise consists of two short independent exercises.

##### 1.) Ball flying through the inner part of the earth

In this exercise we treat a ball flying through an imaginary tunnel through the earth. We assume that the ball is a point-like particle of mass  $m_0$ , that the earth is a sphere of homogeneous density  $\rho$  and that the tunnel is volume-less.

- The ball is dropped with zero velocity at the north pole. Will it come out at the other side of the earth? Explain qualitatively why or why not.
- Solve this problem quantitatively : determine the trajectory of the ball. Can one identify a characteristic time scale for its motion?
- Numerical estimate : give the order of magnitude of the radius of the earth. Estimate the characteristic time scale for the motion of a ball of 1 kg and a ball of 1 g.  
The gravitational constant is  $\gamma = 6.67 \times 10^{-11} m^3 kg^{-1} s^{-2}$  and the density of the earth  $\rho = 5.5 g/cm^3$ .
- Does your answer to question a) depend on the initial conditions?
- Discuss qualitatively the effect of a friction force.

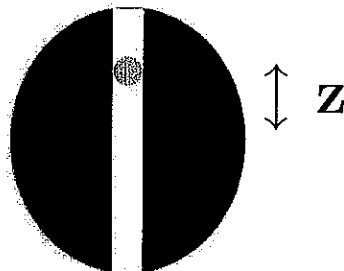
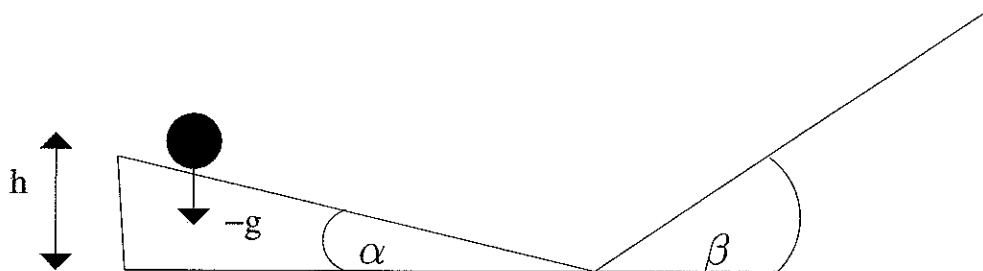


FIG. 2 – Ball flying through the inner part of the earth. We assume that the tunnel does not have any volume, that is, it does not affect the spherical symmetry of the earth.

## 2.) Ball rolling on a combination of two planes

In this exercise we consider the motion of a ball (point mass  $m$ ) on two planes, according to the Figure below, in the gravitational field of the earth. We assume that  $\alpha + \beta < 90^\circ$ . Initially, the ball is placed at height  $h$  with zero velocity.



- Give the vector of the velocity immediately after the ball reaches the second plane.
- Describe qualitatively the trajectory of the ball after the collision.