

Cours de physique : sixième

Yves Delhaye

23 février 2010

Copyright (c) 2004-2010 Yves Delhaye
Ce document est sous licence Creative Common CC BY-NC-SA

Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Partage des Conditions Initiales
à l'Identique 2.0 France

- Vous êtes libres :
 - de reproduire, distribuer et communiquer cette création au public,
 - de modifier cette création.
- Selon les conditions suivantes :
 - Paternité : Vous devez citer le nom de l'auteur original de la manière indiquée par l'auteur de l'oeuvre ou le titulaire des droits qui vous confère cette autorisation (mais pas d'une manière qui suggérerait qu'ils vous soutiennent ou approuvent votre utilisation de l'oeuvre).
 - Pas d'Utilisation Commerciale : Vous n'avez pas le droit d'utiliser cette création à des fins commerciales.¹
 - Partage des Conditions Initiales à l'Identique : Si vous modifiez, transformez ou adaptez cette création, vous n'avez le droit de distribuer la création qui en résulte que sous un contrat identique à celui-ci.
- voir [http ://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.0/fr/legalcode](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.0/fr/legalcode)

1. Vous pouvez cependant faire des copies et les distribuer à prix coutant (par exemple à vos élèves).

Première partie

Les ondes en mécanique

Chapitre 1

Les Ondes : généralités

1.1 Introduction

1.1.1 Travail : analyse de texte

consignes :

- Répondre aux questions
- Faire le problème à la fin
- Etudier les encadrés.

1.2 Onde : définition

Une **onde** est un **transfert d'énergie** sans **transfert de matière**.
Une **onde** est la propagation d'un signal (à travers un milieu).
Il y a modification d'une (ou de plusieurs) grandeur(s) physique(s)
dans le milieu de propagation. (ex. : pression, position, vitesse, ...)

Exemples :

- Une goutte d'eau tombant dans un étang ou un évier. Des rides circulaires et concentriques se propagent à la surface de l'étang.
- Une locomotive heurte un autre train. Tous les wagons du train vont ressentir le choc et sortir des rails. Pourtant la locomotive n'a heurté qu'une extrémité du train. (onde de choc)
- Deux plaques tectoniques qui glissent l'une sur l'autre et une onde sismique se propage dans la croûte terrestre. C'est un tremblement de terre.
- Un bruit, une explosion causent de minuscules déplacements de molécules d'air et de faibles variations de pression. (Onde sonore)

Des **oscillations** (ou des vibrations) sont des mouvements de va-et-vient périodiques effectués par un objet de part et d'autre d'une position d'équilibre.

Exemples de mouvement :

- Le piston d'un moteur (rpm).
- une corde de guitare ou d'un autre instrument de musique qui est frappée ou pincée.
- une lame en acier fixée à une extrémité et frappée latéralement à l'autre extrémité.
- Un corps suspendu à un ressort.

La **période** est la durée d'une oscillation complète.

Symbole : **T**

Unité : **s**

La **fréquence** est le nombre d'oscillations complètes par seconde.

Symbole : **f** ou ν

Unité : le hertz **Hz** ou s^{-1}

$$f = \frac{1}{T} \Leftrightarrow T = \frac{1}{f}$$

Exemples :

- Si $T = 0,5s$ Alors $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,5s} = 2Hz$
-

1.3 Autres définitions

1.3.1 Elongation et amplitude

L'**élongation** **y** d'un point P est la valeur de l'écart de P par rapport à la position d'équilibre 0.

$$y(t) = OP$$

L'**amplitude** **A** est la valeur maximale de l'élongation. C'est l'écart maximal par rapport à la position d'équilibre.

L'élongation est toujours comprise entre **A** et **-A**. L'unité de A et de y est **m**.

1.3.2 Vitesse de propagation

La vitesse de propagation dépend de plusieurs variables :

- Le milieu de propagation et ses caractéristiques.
 - $v = 331$ m/s ds. l'air à $0^{\circ}C$
 - $v = 340$ m/s ds. l'air à $0^{\circ}C$
 - $v = 1500$ m/s ds. l'eau à $15^{\circ}C$
 - $v = 3570$ m/s ds. la fonte à $20^{\circ}C$
 - La nature du signal :
Pour un même milieu, (ex. : l'air), la vitesse des ondes sonores est très différentes des ondes radios ($\approx 3.10^6 m/s$)
- Rmq. : La vitesse de propagation ne dépend pas de l'amplitude.

1.3.3 Ondes transversales et longitudinales

Nous allons classer les ondes selon la direction de la perturbation.

Ondes transversales

Le mouvement d'un bouchon sur une vague se fait dans la direction perpendiculaire au déplacement de la vague. On parle d'*onde transversale* dans le cas où l'oscillation est perpendiculaire au déplacement de l'onde. Comme autre exemple, on peut s'imaginer l'onde produite sur une corde en lui imprimant un mouvement perpendiculaire.

Ondes longitudinales

Par contre, quand l'oscillation est parallèle au déplacement on parle d'*onde longitudinale*. C'est, par exemple, le cas des ondes sonores. En effet, dans ce cas, l'oscillation est produite par la variation de la densité des molécules d'air. Celles-ci se déplacent alors dans la même direction que l'onde. Comme autre exemple, on peut s'imaginer l'onde produite dans un ressort en lui imprimant un mouvement de détente-compression.

1.3.4 Ondes sinusoïdales

L'onde peut-être du type "onde de choc" avec une seule perturbation.

Si ce qui cause l'onde, la perturbation, se répète périodiquement (au sens de période), on a alors une onde entretenue. Un cas particulier est l'**onde sinusoïdale entretenue**.

Faisons osciller un poids suspendu à un ressort. Au repos le centre de masse du ressort se situe en P, la position d'équilibre. Je tire ou je compresse le ressort, soit jusqu'à la position A soit jusqu'à la position -A.

Dessin

Si j'attache une corde au ressort, je peux alors imaginer prendre des photos de la corde tous les quarts de période ($t_0 = 0; t_1 = \frac{T}{4}; t_2 = \frac{T}{2}; t_3 = \frac{3T}{4}; \dots$).

Analysons le mouvement de la corde à ($t_0 = 0; t_1 = \frac{T}{4}; t_2 = \frac{T}{2}; t_3 = \frac{3T}{4}; \dots$)

Dessin

Le point P est source d'une onde sinusoïdale.

Les briques élémentaires de l'étude des ondes sont donc les ondes sinusoïdales. L'exemple caractéristique est à nouveau la vague sur l'eau, pour autant qu'elle ne déferle pas. Une telle onde prend une allure de sinus si on considère la surface de l'eau en coupe dans son extension spatiale, comme le montre la figure ??.

1.3.5 Progression d'une onde transversale

Dessin

1.3.6 La longueur d'onde

La **longueur d'onde** λ est la distance parcourue par l'onde pendant une période.

La **longueur d'onde** λ correspond à la distance entre deux crêtes de la vague comme on peut le voir sur la figure ?. Cela peut être la distance entre deux maxima ou deux minima.

$$\lambda = v.T = \frac{v}{f}$$

où

- λ est la longueur d'onde (m),
- T est la période (s),
- f est la fréquence (Hz),
- v est la vitesse de propagation de l'onde.

La longueur d'onde dépendant de la fréquence f (ou de la période) d'oscillation de la source et de la vitesse de propagation dans le milieu, λ dépend donc de la source et du milieu.

1.4 Exercices

1. On joue un La à 440 Hz sur une guitare. Quelle est la longueur d'onde correspondante ($v_{\text{son}} = 343 \text{ m/s}$ à 20°) ?

On a que $v = \lambda \cdot \nu$. Ainsi :

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{343}{440} = 78 \text{ cm}$$

2. Une lampe émet de la lumière rouge d'une longueur d'onde de $759,4 \text{ nm}$. Quelle est sa fréquence et sa pulsation ?

On a que $v = \lambda \cdot \nu$. Ainsi, dans l'air où la vitesse de la lumière vaut $c = 300'000 \text{ km/s}$:

$$\nu = \frac{v}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{759,4 \cdot 10^{-9}} = 3,95 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Sa pulsation est donné alors par :

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot \nu = 2 \cdot \pi \cdot 3,95 \cdot 10^{14} = 2,48 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

Chapitre 2

Les Ondes sonores

Matériel : Réveil, diapason, oscilloscope, micro, générateur de signal, haut-parleur, sifflet ultra-son...

2.1 Introduction

Déjà dans l'utérus, le bébé perçoit des sons. Le son est un phénomène si familier que nous n'y pensons plus. Redécouvrons le ici sous l'éclairage des ondes et voyons comment toutes les caractéristiques vues en général s'applique à ce type d'onde.

2.2 Création d'une onde sonore

Faisons vibrer

- un diapason,
- un couteau coincé sur un bord de table,
- une corde de guitare, ...

Chaque fois, un son est mis. Il faut faire vibrer un objet pour produire un son.

Comme annoncé précédemment, le son est perçu en fonction du milieu et de ses caractéristiques.

- La présence d'un milieu matériel est nécessaire à la transmission de cette vibration. Placé sous vide, le réveil n'est plus entendu.
- Si l'on parle après avoir respiré de l'hélium, les sons émis sont plus aigus.
- Une règle en bois ou en métal, un tuyau mis en contact avec une montre mécanique d'un côté et notre oreille de l'autre nous font percevoir le son de la montre avec une plus grande clarté.

2.3 Propagation du son

Dessin

2.4 Visualisation du son avec l'oscilloscope

2.4.1 Matériel et méthode

Pour visualiser et étudier l'onde sonore, nous aurons recours au couple microphone-oscilloscope.

Le **microphone** transforme les variations de pression sur une membrane en variation de différence de potentiel à ses bornes.

Dessin

L'oscilloscope visualise le signal électrique en fonction du temps.

Nous étudierons les sons grâce à la combinaison du microphone et de l'oscilloscope.

- Le micro sera connecté à l'oscilloscope.
- La source sonore sera placée à proximité du micro.
- La courbe observée à l'oscilloscope s'appelle l'**oscillogramme**.
- L'axe y de l'**oscillogramme** est l'axe de l'élongation.
- L'axe x de l'**oscillogramme** est celui du temps.
- Nous pourrions observer sur l'**oscillogramme**, l'élongation, l'amplitude, la période, la fréquence, ...

2.4.2 Types de son

- L'oscillogramme du son émis par un diapason est sinusoïdal. Ce type de son est nommé par convention : **son sinusoïdal**.
- L'oscillogramme du son émis par un instrument de musique est périodique mais non sinusoïdal. Ce type de son est nommé par convention : **son musical**.
- L'oscillogramme du son émis par un claquement de main, un objet qui tombe, ... n'est ni sinusoïdal ni périodique. Ce type de son est nommé par convention : **bruit**.

2.5 Hauteur du son

2.5.1 Expériences

Cavalier sur diapason

- son + grave
- oscillogramme : distance entre maxima + grande
- longueur d'onde + grande
- Or $v_{son} = cste.$, période T + grand
- Fréquence f + grande

2.5.2 Conclusion

La hauteur du son est la sensation d'aigu ou de grave. Elle est liée à la fréquence de l'onde sonore.

- Son grave = fréquence basse
- son aigu = fréquence haute

2.6 Intensité du son

2.6.1 Expérience

Diapason

- Son de + en + faible
- Evolution de l'oscillogramme après quelques secondes : atténuation.
- Càd. **amplitude** qui décroît !

L'intensité du son est petite lorsque l'amplitude de l'onde sonore est petite.(et inversement)

L'intensité du son peut dépendre de

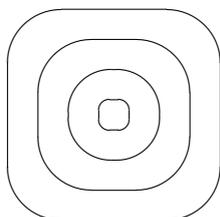
- la distance entre la source et notre oreille,
- du type de source (un moteur d'avion fait plus de "bruit" qu'une guitare qui en fait plus qu'un moustique!).

2.7 Définition d'intensité de l'onde sonore

2.7.1 rappel

Une onde est un transfert d'énergie (sans transfert de matière). L'onde sonore transporte donc de l'énergie dans l'espace.

Si la source est ponctuelle, l'onde se propage dans toutes les directions. L'énergie issue de la source est répartie uniformément lors de la propagation de l'onde. A la surface de toute sphère centrée sur la source, pour une même surface la quantité d'énergie est la même.



Plus nous nous éloignons de la source, plus la quantité d'énergie doit se répandre sur une surface plus grande. Ce qui explique que le son perçu soit plus faible.

L'intensité I de l'onde sonore est définie comme l'**énergie par unité de temps et par unité de surface** traversant cette surface.
Unité S.I. : watt par m^2 (W/m^2)

Par convention, on mesure à 1000 Hz l'intensité sonore minimale que peut percevoir une oreille humaine "moyenne".

Cette intensité sonore minimale (appelée par ailleurs le seuil d'audition) à 1000 Hz vaut $10^{-12}w/m^2$.

Faisons un tableau pour représenter quelques intensités sonores typiques, les pressions leur correspondant, l'amplitude du mouvement des molécules d'air et une autre information que nous préciserons de suite.

Type de son	intensité (w/m^2)	pression (Pa)	amplitude (m)	dB
Seuil d'audition	10^{-12}	3.10^{-5}	10^{-11}	0
Conversation normale	3.10^{-6}	0,05	2.10^{-8}	65
Douleur	0,1	10	$3,5.10^{-6}$	110

2.8 L'échelle décibel

Comme vu au point précédent, les intensités sonores s'étalent sur une plage très large ($10^{-12}w/m^2$, $3.10^{-6}w/m^2$, $0,1w/m^2$).

De ce fait, les professionnels du son (ingénieurs du son, médecins ORL, musiciens, spécialistes de nuisances sonores, logopèdes,...) utilisent une échelle logarithmique, l'échelle décibel.

Le décibel est l'unité de niveau d'intensité sonore.
Le niveau d'intensité sonore (β) et l'intensité sonore sont liés par la relation suivante :

$$\beta = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} \quad (2.1)$$

Où

- I = l'intensité sonore
- I_0 = L'intensité de référence 10^{-12}w/m^2 (Seuil d'audition à 1000 Hz)
- Unité S.I. : Le décibel (dB) Attention, c'est un nombre pur (sans unité).

Graham Bell l'inventeur du téléphone est celui qui a donné son nom au décibel !

Rappel sur les logarithmes :

Nombre	0,001	0,01	1	2	3,16	10	100	200	316
Nombre (10^n)	10^{-3}	10^{-2}	10^0	$10^{0,3}$	$10^{0,5}$	10^{-1}	10^2	$10^{2,3}$	$10^{2,5}$
Logarithme	-3	-2	0	0,3	0,5	1	2	2,3	2,5

La fonction logarithme est définie comme la fonction qui à un nombre x fait correspondre un nombre y tel que : $x = 10^y$

Règle :

- $\log (A \cdot B) = \log A + \log B$
- Ex : $\log 20 = \log(2 \cdot 10) = \log 2 + \log 10$

Ex :

- Si $I = 10^{-5} \text{w/m}^2$, alors $\beta = 10 \cdot \log 10^7 = 70 \text{dB}$
- Si 2 hauts parleurs émettent une onde de $I = 10^{-5} \text{w/m}^2$, alors $I_{tot} = 2 \cdot 10^{-5} \text{w/m}^2$ et $\beta = 10 \cdot \log(2 \cdot 10^7) = 73 \text{dB}$
- Si 4 hauts parleurs émettent une onde de $I = 10^{-5} \text{w/m}^2$, alors $I_{tot} = 4 \cdot 10^{-5} \text{w/m}^2$ et $\beta = 10 \cdot \log(4 \cdot 10^7) = 76 \text{dB}$
- Si 8 hauts parleurs émettent une onde de $I = 10^{-5} \text{w/m}^2$, alors $I_{tot} = 8 \cdot 10^{-5} \text{w/m}^2$ et $\beta = 10 \cdot \log(8 \cdot 10^7) = 79 \text{dB}$
- Si 10 hauts parleurs émettent une onde de $I = 10^{-5} \text{w/m}^2$, alors $I_{tot} = 10 \cdot 10^{-5} \text{w/m}^2 = 10^{-4} \text{w/m}^2$ et $\beta = 10 \cdot \log(10^8) = 80 \text{dB}$
- Si 100 hauts parleurs émettent une onde de $I = 10^{-5} \text{w/m}^2$, alors $I_{tot} = 10^{-3} \text{w/m}^2$ et $\beta = 10 \cdot \log(10^9) = 90 \text{dB}$

Tableau d'exemples

2.9 Le timbre en musique

Nous savons maintenant que 2 instruments de musiques peuvent émettre des ondes sonores de même hauteur (ou de même fréquence) et de même intensité. Pourtant un piano, un hautbois, une harpe, un flute, une trompette et une guitare qui jouent la même note avec une même intensité sont tout à fait identifiables.

C'est qu'il existe une troisième caractéristique de l'onde sonore : le timbre.

2.9.1 Oscillogramme

Si nous comparons l'oscillogramme de 3 instrument de musique différents, nous pouvons constater que si les 3 ondes ont même fréquence, leurs ondes complexes n'ont pas la même forme. C'est cette forme que nous appellerons désormais le timbre.

2.9.2 Conclusion

C'est cette forme de l'oscillogramme que nous appellerons désormais le timbre. Il est possible de montrer que tout son complexe de fréquence f est le mélange de sons sinusoïdaux de fréquence f , $2f$, $3f$, $4f$, \dots , nf , \dots

La fréquence f est appelée la **fondamentale**.
Les fréquences $2f$, $3f$... sont appelées les **harmoniques**.
Les proportions d'intensités respectives des différentes fréquences (fondamentale et harmoniques) déterminent le timbre d'un instrument, d'une voix, ...

2.10 Exercices

Chapitre 3

La réflexion des ondes

Matériel : Cuve à ondes

Nous savons que les chauves-souris se repèrent grâce aux échos des ultrasons qu'elles ont émis. Les sonars naturels des dauphins comme celui des bateaux fonctionnent sur le même principe.

3.1 La cuve à ondes

La cuve à ondes est un large récipient dont le fond plat est aussi transparent et que nous remplissons d'une fine épaisseur d'eau. Ce récipient est posé sur un rétroprojecteur.

Un vibreur relié à un pointe (ou d'autres accessoires) touche la surface de l'eau et y provoque des déformations.

La vitesse des ondes y sera de quelques décimètres par seconde. Les vagues observées à la surface sont des ondes transversales.

3.1.1 Ondes circulaires

Une goutte d'eau tombant à la surface de la cuve provoque des plissements à la surface de l'eau.

Nous utiliserons plutôt une pointe reliée au vibreur pour provoquer des ondes circulaires entretenues.

Ces plissements circulaires s'éloignent du point de chute. Ceci est du au fait que la vitesse de propagation est la même dans toutes les directions.

En tout point la direction de propagation des ondes circulaires est radiale. (càd. dirigée selon les rayons du cercle dont le point de chute est le centre.)

SCHEMAS

Les traits pleins correspondent aux crêtes des ondes, les traits pointillés aux creux.

La distance entre deux crêtes consécutives est égale à la longueur d'onde λ .

Tous les points d'une même circonférence sont à une même distance de la source et sont simultanément par la vibration. On dit qu'ils sont dans un même état de vibration.

RMQ : R est \perp à la circonférence. \Leftrightarrow La direction de propagation est \perp aux crêtes.

3.1.2 Ondes planes

Si nous substituons à la pointe une tige horizontale, le vibreur produit maintenant des ondes **planes**. En effet crêtes et creux sont clairement rectilignes.

Ici aussi, la distance entre deux crêtes consécutives est égale à la longueur d'onde λ et la direction de propagation est \perp aux crêtes.

3.1.3 Conclusion

Dans les deux cas, **les ondes se propagent en ligne droite**, car les perpendiculaires aux crêtes sont des droites.

3.2 La réflexion des ondes

Étudions maintenant la réflexion des ondes sur des obstacles rectilignes.

3.2.1 Ondes circulaires

3.3 Exercices

Chapitre 4

La diffraction des ondes

4.1 Introduction

Une onde se propage en ligne droite si elle ne change pas de milieu ou si elle ne "heurte" pas un obstacle. Qu'en est-il si elle passe près du bord d'un obstacle ?

4.2 Expériences

Utilisons à nouveau la cuve à ondes.

4.2.1 Bord d'un obstacle

Envoyons les ondes sur le bord d'un obstacle.

λ petit

Les ondes passent à côté de l'obstacle et continuent en ligne droite.
Derrière l'obstacle, il n'y a pas d'onde.
Il y a propagation rectiligne.

λ plus grand

Les ondes passent à côté de l'obstacle et continuent en ligne droite.
Derrière l'obstacle, il y a des ondes (quarts de cercle).
Si une partie de l'onde est déviée et apparaît derrière l'obstacle, on dit que l'onde est **diffractée**.

4.2.2 Fente

Envoyons des ondes rectilignes vers deux obstacles qui forment une fente
Soit L la largeur de cette fente.

$$L \gg \lambda$$

Les ondes passent à travers la fente et continuent en ligne droite.
Derrière les obstacles, il n'y a pas d'onde diffractée.

$$L \searrow \text{ et } \rightarrow \lambda$$

Il y a de plus en plus d'ondes diffractées.

$$L \leq \lambda$$

Les ondes passent à travers la fente et deviennent des ondes circulaires
dont la fente est le centre!

La fente devient une source ponctuelle d'ondes!.

Ouvertures des ports

Remarque sur l'ouvertures des ports.

4.2.3 Objet

Envoyons des ondes rectilignes vers un objet.
Soit L la largeur de cet objet.

$$L \gg \lambda$$

Les ondes passent sur les côtés de l'objet et continuent en ligne droite.
Derrière l'objet, il n'y a pas d'onde diffractée.

$$L \searrow \text{ et } \rightarrow \lambda$$

Il y a de plus en plus d'ondes diffractées.

$$L \leq \lambda$$

Les ondes passent sur les côtés de l'objet et se rejoignent! Très rapidement
elles continuent en ligne droite comme si l'objet n'existait pas.

Radio

Remarque sur les ondes radios.

4.3 Synthèse

4.3.1 Définition

La diffraction est le phénomène qui a lieu quand des ondes interagissent avec de obstacles dont la taille est proche de leur longueur d'onde.

4.3.2 $\lambda \ll L$

Quasiment pas d'effet.
Propagation rectiligne

4.3.3 $\lambda \simeq L$

La diffraction apparaît.

4.3.4 $\lambda \gg L$

Beaucoup de diffraction.
Fente devient source ponctuelle.
Obstacle devient "invisible".

4.4 Applications

4.4.1 En général

Son dans l'air : 340 Hz $\lambda = 1$ m. 440 Hz $\lambda = 78$ cm

Piliers, colonne, fenêtres, portes, ... provoquent de la diffraction et nous permettent d'entendre des sons dont nous ne voyons pas les sources.

La longueur d'onde du son est proche du mètre, ce qui est la taille caractéristique d'une porte. Il y a donc diffraction. Les ondes arrivant à la porte sont peut-être planes, elles deviennent circulaires après la porte.

Rmq sur les écrans au bord des autoroutes.

4.4.2 Echolocation

Expliquer pourquoi le sonar emploie des ultrasons.

Pourquoi des sons de basses fréquences se prêtent-ils mal à l'écholocation ?
(justifier)

4.5 Exercices

Exercice 1 *Quelle est la fréquence minimum qu'un sonar peut utiliser pour détecter des poissons de 10 cm ? (Justifier)*

$$v_{\text{son ds.eau}} = 1500\text{m/s}$$

$$\lambda_{\text{max}} = 0,1\text{m}$$

$$\nu_{\text{min}} = \frac{v_{\text{son ds.eau}}}{\lambda_{\text{max}}} = \frac{1500\text{m/s}}{0,1\text{m}} = 15000\text{Hz}$$

Exercice 2 *Quelles sont les fréquences qu'un radar (ondes radios) peut utiliser pour détecter des voiture de 2 m de large ? (Justifier)*

$$c = 3.10^8\text{m/s}$$

$$\lambda_{\text{max}} = 2\text{m}$$

$$\nu_{\text{min}} = \frac{c}{\lambda_{\text{max}}} = \frac{3.10^8\text{m/s}}{2\text{m}} = 1,5 .10^8\text{Hz}$$

Exercice 3 *Une chauve souris émet des ultrasons de fréquence 50 KHz. Peut-elle détecter un insecte de 7 mm de long ? (Justifier)*

$$v_{\text{son ds.air}} = 340\text{m/s}$$

$$\nu = 5.10^4\text{Hz}$$

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{v_{\text{son ds.air}}}{\nu} = \frac{340\text{m/s}}{5.10^4\text{Hz}} \simeq 7\text{mm}$$

Chapitre 5

L'effet Doppler

5.1 Introduction

Quels sont les points communs aux différents objets, situations, personnes que je vais vous présenter maintenant ?

5.2 Expériences

Prenons un diapason électronique. Qu'observons nous si je l'avance très rapidement vers vous ?

Qu'observons nous si je l'éloigne très rapidement de vous ?

5.2.1 Observations

Le son devient plus aigu si le son vient vers nous.

Le son devient plus grave si le son s'éloigne de nous.

anecdote

Pour vérifier cela, un contemporain de Doppler a fait monter un orchestre sur un train et a demandé à un musicien de juger le changement de hauteur du son.

5.2.2 rappel : hauteur d'un son

Son plus aigu = fq. plus petite = λ plus grand

Dessiner l'onde avant et après

Son plus grave = fq. plus grande = λ plus petit
 Dessiner l'onde avant et après

5.2.3 Conclusion

Cet effet "transforme" l'onde selon le mvmt. relatif de la source et de l'observateur.

5.3 Illustration : un nageur et les vagues

Les vagues vont vers la plage.
 Le nageur va dans l'eau vers le large.
 Dessin

Puis revient.
 Dessin

5.3.1 Calcul

Dessin : S - distance d - A

1^{er} cas : S -> A

Le nageur va vers les vagues. La source **S** et l'auditeur **A** se rapprochent.
 La distance **d** qui sépare S et A diminue.

La première vague (ou onde de compression) venant de S va mettre un temps **t** = **d/v** pour atteindre A.

Si A et S étaient immobiles l'un par rapport à l'autre, la suivante arriverait après une période **T**.

MAIS, la suivante va mettre **moins** de temps pour arriver en A puisque la distance à franchir va en diminuant !

Donc, l'arrivée en A de deux crêtes ou de deux maxima successifs se fera en une durée inférieure à T.

Conclusion

A perçoit des ondes de période $T' < T$ et donc de fq. $f' > f$.
 Le son perçut est plus aigu. Les vagues semblent plus nombreuses.

5.3.2 2^{ème} cas : S j- i A

Le faire vous même !

5.4 Synthèse

5.4.1 Définition

L'effet Doppler-Fizeau est une modification de la fréquence d'une onde lorsque source et observateur sont en mouvement relatif.

5.4.2 Formule

Obs en mvt.

$$f' = f \left(1 \pm \frac{v_{obs}}{v_{onde}} \right)$$

- + si Obs -i Src
- - si Obs j- Src

Src. en mvt.

$$f' = f \left(\frac{v_{onde}}{v_{onde} \mp v_{src}} \right)$$

- - si Src -i Obs
- + si Src j- Obs

5.5 Applications

Détection d'objet en mouvement et de leur vitesse. On utilise la réflexion d'ondes envoyées vers l'objet. La fq. des ondes réfléchies est modifiée si l'objet est en mouvement.

5.5.1 Détecteur de vitesse automobile**5.5.2** Alarme**5.5.3** vitesse du sang**5.5.4** vitesse du son et BANG supersonique**5.6** Exercices

Exercice 4 *Un musicien est en train d'accorder son instrument et joue la note La dans la même rue où vous marchez. Vous percevez un son à une fréquence de 444 Hz. Êtes vous en train de vous approcher ou de vous éloigner de lui ? A quelle vitesse ? (Justifier)*

Exercice 5 *Assis à une terrasse par un beau jour d'été, vous entendez une ambulance qui vient vers vous. L'ami musicien avec qui vous êtes assis vous affirme que la sirène émet un note à 500 Hz. Lorsque l'ambulance est passée et s'éloigne de vous, il vous affirme que la sirène émet un son à 420 Hz. Quel est la vitesse de l'ambulance ? (Justifier)*

Exercice 6 *(Justifier)*

Deuxième partie

La lumière et les ondes électromagnétiques

Chapitre 6

Les Ondes Electro-Magnétiques

6.1 Introduction

Nous avons étudié, jusqu'à présent, les ondes en mécanique et en particulier les ondes sonores. La vitesse v et la longueur d'onde λ en étaient des caractéristiques déterminantes.

Nous savons qu'elles peuvent se réfléchir, se diffracter et que leur fréquence peut changer du fait du mouvement relatif de la source et de l'observateur..

6.2 Caractéristiques des ondes électromagnétiques

L'existence d'ondes électromagnétiques fut prévues par le physicien écossais Maxwell vers 1865. Il prédit aussi leur vitesse dans l'air et dans le vide : $3.10^8 m/s$.

C'est un physicien allemand, Hertz qui réussit à les produire vers 1887. Elles peuvent être produites par des courants de haute tension. Hertz vérifia leurs propriétés parmi lesquelles leur réflexion et leur diffraction.

6.3 Le spectre électromagnétique

La vitesses des ondes électromagnétiques étant connue, celles-ci peuvent se caractériser par leur longueur d'onde λ (ou par leur fréquence ce qui est équivalent).

L'ensemble des valeurs possibles de λ est appelé le **spectre électromagnétique**.

Le spectre électromagnétique peut être divisé en différentes parties suivant :

- Le mode de production de l'onde

- Le mode de détection de l'onde
- Le domaine privilégié d'applications

Nous allons parcourir ces différentes zones en donnant la plage de longueur d'onde λ les caractérisant.

6.3.1 Les ondes HERTZIENNES

:

Les ondes radio

Longueur d'onde

- les grandes ondes $600m < \lambda < 300m$
- les ondes moyennes $50m < \lambda < 600m$
- les ondes courtes $10m < \lambda < 50m$

Transmission Le signal acoustique doit être transformé en signal électrique . Un signal haute fréquence , appelé signal porteur est modulé par le signal à envoyer . Cette modulation sert à modifier l'amplitude ou la fréquence . En amplitude moyenne (AM) , c'est l'amplitude du signal porteur qui varie . En modulation de fréquence (FM) , c'est la fréquence du signal qui varie . Le signal électrique est alors transformé en onde électromagnétique grâce à l'antenne .

propagation en fonction de la longueur d'onde La propagation des ondes électromagnétiques dépend de leur longueur d'onde.

- Les grandes ondes suivent la courbure de la terre et sont reçues loin .
- Les ondes courtes se propagent en ligne droites et ne suivent pas la courbure de la terre. Elles sont limitées et pour entendre une même station émettrice , il faut des antennes qui vont amplifier et réémettre le signal de départ à différentes fréquences .

les ondes de télévision

Longueur d'onde

- des ondes très courtes VHF $10m < \lambda < 1m$
- des ondes ultra courtes UHF $\lambda < 1m$

La fréquence des ondes utilisées est plus élevée en télévision (images) , qu'en radio (son). Ceci est lié à la quantité d'information à transmettre : 25 images/sec càd. $10^7 \text{informations/sec}$

les ondes radar

- des ondes très courtes (pour éviter la diffraction)
- qui se propagent en ligne droite - qui se réfléchissent sur des objets

Le téléphone mobile

Fréquence $900MHz < \nu < 1800MHz$

Les télécommunications par satellites

- les satellites reçoivent et réémettent les ondes hertziennes après amplification .

Le principe : une antenne émettrice placée au foyer d'un réflecteur parabolique . Un faisceau presque parallèle se crée et toute l'énergie part dans une seule direction vers un satellite . Mais il faut que la longueur d'onde soit beaucoup plus petite que le diamètre du réflecteur pour avoir beaucoup d'ondes réfléchies . Si le réflecteur est trop petit , il y aurait trop de diffractions et les ondes ne seraient plus réfléchies .

6.3.2 LES MICRO- ONDES

Fréquence $300MHz < \nu < 300GHz$

Dans le four à microwaves la fréquence est de 2,45 GHz. Ces ondes provoquent la vibration et la rotation des molécules d'eau . Et les aliments contiennent beaucoup d'eau . Ces molécules d'eau vibrent et tournent et donc la température s'élève .

6.3.3 RAYONNEMENT INFRAROUGE

Propriétés : - lumière invisible qui transporte de l'énergie thermique . permet de faire des photos dans l'obscurité permet l'observation géologique des sols permet de détecter des pertitions calorifiques dans les habitations

Les infrarouges peuvent être modulés pour les transport d'infos , dans les télécommandes de TV , les ouvertures automatiques de portes , ?

Applications :

La lumière du soleil chauffe le sol et est absorbée en partie ce qui est égal à l'échauffement . Le sol chaud devient émetteur du rayonnement infrarouge . Mais la nuit , cette émission d' IR fera perdre au sol sa chaleur . Tandis que le verre des vitres dans les serres de jardins absorbent les IR . Il les réémet dans toutes les directions . Et qui dit toutes les directions , dit aussi vers le sol de la serre qui sera maintenu chaud . C'est l'effet de serre .

6.3.4 LA LUMIERE VISIBLE

Les ondes magnétiques que nous pouvons voir sont des longueurs d'ondes très étroites .

6.3.5 LE RAYONNEMENT ULTRAVIOLET

:

Propriétés : - il impressionne une plaque photo plus fort que les autres rayonnements - il transforme la provitamine D en vitamine D et active les synthèses chimiques au niveau de la peau - il a une activité bactéricide . - il exerce une action physiologique sur l'épiderme : brûlure de peau , et cancer de la peau .

6.3.6 LE RAYONNEMENT X

Ils peuvent traverser des substances qui absorbent toute lumière visible . Ils sont utilisés en radioscopie , radiographie , dans l'industrie métallurgique , dans les expertises de peintures anciennes .

6.3.7 LE RAYONNEMENT GAMMA

Ce sont des ondes électromagnétiques très courtes . Elles sont énergiques et ont un pouvoir de pénétration dans la matière assez important . Leurs effets biologiques peuvent être néfastes .

Chapitre 7

Les Fentes de Young : Preuve de la nature ondulatoire de la lumière

7.1 Introduction

Dans le chapitre concernant les ondes électromagnétiques nous avons affirmé que la lumière visible était une onde électromagnétique. Pourtant nous n'en avons apporté aucune preuve. C'est ce que nous allons faire ici.

Historiquement, jusqu'au début du *XIX^{ème}* siècle, le poids intellectuel de Newton faisait plutôt accepter le point de vue selon lequel la lumière était constituée de particules. Les trajectoires en ligne droite des rayons lumineux rappelaient les trajectoires de projectiles très rapides.

Le débat faisait rage avec les partisans du modèle ondulatoire de la lumière. Dès le *XVII^{ème}* siècle, Huyghens et d'autres défendait ce point de vue. Pour chaque expérience réalisée par les membres d'un groupe et "prouvant" leur point de vue, l'autre groupe trouvait une explication tout aussi satisfaisante.

C'est l'expérience des fentes de Young qui a permis de trancher.

7.2 Principe de superposition et interférences

Nous n'avons, jusqu'à présent, travaillé qu'avec des sources uniques d'onde (quelle que soit l'onde d'ailleurs). Nous allons discuter ici des phénomènes observables avec 2 (ou plusieurs) sources d'onde.

Si les deux sources sont à des fréquences très légèrement décalées, on parle de battement. C'est ce phénomène qui est utilisé avec les diapasons pour accorder un instrument de musique.

Lorsque nous avons parlé du timbre d'un instrument de musique, nous avons discuté d'addition d'ondes dont la fréquence est un multiple d'une fréquence de base.

Nous allons ici étudier l'addition d'ondes de même fréquence mais dont les sources sont relativement proches l'une de l'autre en comparaison avec leur longueur d'onde.

fig 1 et 2

La superposition de deux ondes de ce type s'appelle dans ce cas "*interférence*".

7.2.1 Principe de superposition

Si nous provoquons dans la cuve à ondes, des ondes planes et des ondes circulaires de même fréquence, leur croisement provoque des ondes d'amplitudes doubles :

Deux crêtes qui se rencontrent produisent une crête deux fois plus haute, deux creux qui se superposent créent un creux deux fois plus profond, une crête et un creux qui se rencontrent correspondent à un élongation nulle.

Nous énoncerons ainsi ce principe connu sous le nom de principe de superposition : A tout instant, l'élongation résultante de la superposition de deux ondes est la somme de des élongations des deux ondes.

7.2.2 Interférences d'ondes circulaires

Si 2 pointes sont connectées au vibreur de la cuve à ondes puis plongées à la surface de l'eau, chaque pointe est source d'ondes circulaires. Ces ondes sont de même fréquence, se propagent à la même vitesse et sont donc de même longueur d'onde.

Les ondes se superposent et interfèrent. Des ondes s'éloignent des sources S_1 et S_2 . Des couloirs se forment avec des vagues entre des zones où l'eau est immobile.

fig 3

Ces lignes courbes où l'eau est immobile sont nommées lignes de repos.

fig 4

Utilisons le principe de superposition pour comprendre cette observation.

fig 5

Sur cette figure, les traits pleins représentent des crêtes et les traits pointillés des creux.

Consignes :

- Utiliser le principe de superposition pour indiquer sur la figure, les points où :
 - L'amplitude sera toujours nulle,
 - l'amplitude sera toujours maximale (en rouge)
- Tracer les lignes de repos.

7.3 Interférences et lumière

7.3.1 Expérience

Expérience réalisée par Young vers 1800

Utilisation moderne avec un laser : une seule lg d'onde (fq.),...

2 fentes parallèles très rapprochées et très étroites Si le laser éclaire ces fentes, elles deviennent quasiment 2 src. ponctuelles. Sur un écran, nous pouvons observer le résultat.

DESSIN laser fentes écran

Sur l'écran, nous observons, alignées à l'horizontale, des taches de lumière alternant avec des taches sombres.

7.3.2 Interprétation

Selon l'optique telle qu'étudiée jusqu'à présent, la lumière se propage en ligne droite. Nous devrions donc observer 2 taches alignées sur le laser et les fentes.

En fait, ce modèle de l'optique est celui de l'optique corpusculaire. L'expérience ne peut s'expliquer que par le modèle ondulatoire de la lumière.

Les fentes sont suffisamment étroites pour qu'il y ait diffraction. Elles deviennent donc source d'ondes circulaires.

Les taches sombres sont le lieu où les lignes de repos rencontrent l'écran.

De la lumière + de la lumière donne de l'obscurité!

7.3.3 Conclusion

L'expérience des fentes de Young est la preuve de la nature ondulatoire de la lumière.

Des lumières de couleurs différentes donneraient des figures d'interférences différemment espacées.

Troisième partie
Thermodynamique

Quatrième partie
Physique moderne

Chapitre 8

Les phénomènes nucléaires

8.1 Découverte de la radioactivité

8.1.1 Historique

Becquerel (1896) : photographe et géologue amateur Met du pelbenche à proximité de plaques photos : plaque voilée

Radiations

Conclusion : le minerai émet des “radiations”.

Le plomb

Le plomb arrête les radiations. D’où l’idée d’enfermer l’uranium dans une boîte en plomb : Première source radioactive.

Expériences : Effet du champ magnétique

La source radioactive est enfermée dans une chambre où on fait le vide.

Entre la source et la plaque photo, on place un aimant de sorte que le champs magnétique croise le trajet du faisceau.

SCHEMA

conclusion : 3 rayonnements α, β, γ

8.2 Structure des atomes

8.2.1 Rappel : le modèle de Rutherford

Atome constitué de

– noyau t.q.

1. au centre de l’atome
2. constiuté de p^+ et n^0
3. n_{p^+} fixe identité de l’atome
4. $m_{p^+} \simeq m_{n^0}$
5. $m_{atome} \simeq m_{noyau}$
6. $\varnothing_{atome} \simeq 10^4 \cdot \varnothing_{noyau}$

– electrons t.q.

1. en orbite autour du noyau (cfr. système planétaire)
2. $|q_{e^-}| = q_{p^+}$

3. $n_{e^-} = n_{p^+}$: atome électriquement neutre
4. $m_{e^-} \simeq \frac{1}{1836} m_{p^+}$

8.2.2 Rappel : le modèle de Bohr

Répartition des e^-

- Rutherford : e^- en orbite autour du noyau (cfr. système planétaire)
- Bohr : e^- orbite autour du noyau sur orbitales bien précises

8.2.3 Chimie

La chimie étudie les transformations des structures électroniques sans transformations des noyaux.

8.3 Stabilité du noyau

Comme il y a émission de noyau dans l'expérience, il est clair que la stabilité du noyau doit être discutée.

8.3.1 Force de répulsion entre protons

La force entre les deux protons dans un noyau d' Hélium est énorme :

$$F = 9.10^9 \frac{(1,6 \cdot 10^{-19})^2}{(10^{-14})^2} = 2,8N$$

Pourtant un noyau d'hélium est très stable !

De même, comment le noyau d' uranium garde t' il sa cohérence alors qu'il compte nonante deux (92) protons ?

8.3.2 Masse des nucléons

- masse du proton = 1,007276470 uma.
- masse du neutron = 1,008665012 uma.

Rappel : u.m.a.

$$1 \text{ u.m.a.} = 1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\text{Et donc } N_{Av} \cdot 1 \text{ u.m.a.} = 1g$$

$$\text{càd. } (6,022045 \cdot 10^{23}) \cdot (1,6605655 \cdot 10^{-27}) = 10^{-3} kg = 1g$$

8.3.3 Masse manquante

Étudions le noyau d'hélium d'un peu plus près : Et donc la masse de $2p^+ + 2n^0 = 4,031882964$ uma.

Or la masse mesurée est de $4,0015059$ uma.

Ceci est en contradiction apparente avec la loi de Lavoisier :

La réaction $2n^0 + 2p^+ \rightarrow 2He$ provoque une disparition de masse.

Einstein à la rescousse

La fameuse formule d'Einstein

$$E = mc^2 \quad (8.1)$$

permet d'expliquer cette disparition de masse : La masse peut être convertie en énergie.

C'est ce qui se passe ici : une petite partie de la masse des nucléons est convertie en énergie potentielle de liaison.

S'il existe une énergie potentielle de liaison, cela signifie qu'il existe aussi une *force de liaison* entre les nucléons.

Cette force est appelée la force forte et c'est une des quatre forces fondamentales de la physique.

La relation 8.1 permet de calculer la valeur de cette énergie de liaison (E) correspondant à la différence de masse (Δm).

Après calcul, une valeur typique d'énergie de liaison par nucléon est 2 million de fois supérieure à celle d'une liaison chimique covalente.

Ceci explique les énormes énergies mises en jeu dans les phénomènes radioactifs : Les transformations nucléaires libérant une particule produisent aussi une énergie (thermique) du même ordre de grandeur que celle de l'énergie de liaison.

8.3.4 Liaison entre nucléons

La présence de neutron doit donc jouer pour contrecarrer la répulsion entre protons vue en section 8.3.1 page 41. Cette répulsion devient encore plus grande si le nombre de protons augmente.

La proportion de neutrons et de protons dans un noyau est un facteur de stabilité de celui-ci.

Les isotopes

C'est le nombre de protons qui donne l'identité chimique d'un élément. Le nombre de neutrons peut être variable.

Des *isotopes* sont des éléments qui ont le même nombre de protons mais des nombres différents de neutrons.

Exemple : Le carbone courant est le carbone 12 : 6 p^+ et 6 n^0 . Mais tout le monde connaît le carbone 14 : 6 p^+ et 8 n^0 .

Reprécisons quelques notations :

Isotopes : Z, A

L'isotope d'un élément X va désormais s'écrire de la manière suivante :

$${}^A_ZX \quad (8.2)$$

où :

- X est le symbole chimique de l'élément tel qu'utilisé dans le tableau périodique ;
- Z est le numéro atomique (= le nombre de p^+ = la "place" dans le tableau périodique) ;
- A est le nombre de masse (= le nombre de nucléons = le nombre de p^+ + le nombre de n^0).

Le tableau des isotopes

Le tableau des isotopes fournit la liste des éléments et de leurs isotopes (éventuels). La stabilité des éléments y est également renseignée.

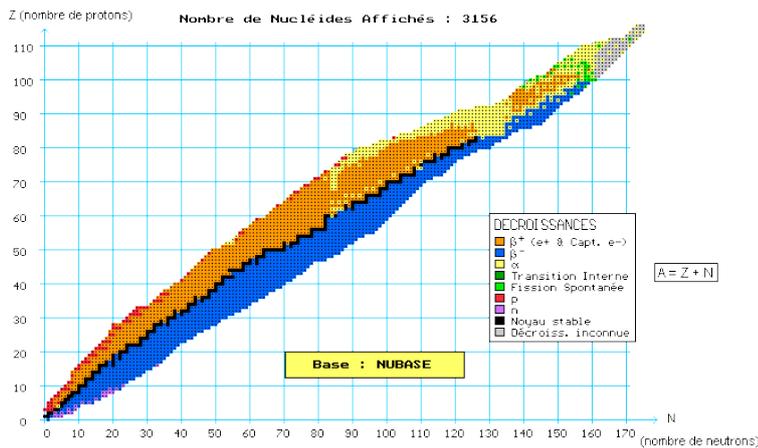


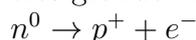
FIGURE 8.1 – Le tableau des isotopes (N(Z))

L'observation du tableau nous permet de tirer quelques conclusions concernant les isotopes stables :

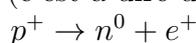
- Si $Z \leq 20$, alors Le nombre de n^0 est égal au nombre de p^+ .
- Si $Z \geq 20$, alors Le nombre de n^0 est supérieur au nombre de p^+ .

Ces isotopes seront caractérisés par des des émissions de rayonnements de natures différentes selon qu'ils appartiennent à la région I ou II :

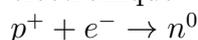
Isotopes avec un excès de n^0 (région II) : Ils émettent une particule β^- (c'est-à-dire un e^-) possédant une énergie énorme (et donc une très grande vitesse).



Isotopes avec un excès de p^+ (région I) : Ils émettent une particule β^+ (c'est-à-dire un e^+ , un anti-électron ou positon : de l'anti-matière).



Une autre réaction possible est une émission γ suite à une capture électronique : un électron est capturé par le noyau.



Notons deux autres types de radioactivités caractéristiques de *noyaux lourds* (en général $Z > 60$)

Émission α : noyau ${}^4_2\text{He}$ à grande vitesse,

Fission spontanée : c'est un phénomène de rupture, d'éclatement du noyau en deux fragments de masses plus ou moins égales, accompagné de l'émission de particules et de rayonnements γ .

8.3.5 Définition de la radioactivité

La radioactivité est la propriété des atomes instables qui se transforment en un autre élément suite à une transformation de leur noyau. Cette transformation s'accompagne d'émission de rayonnements de nature corpusculaire (particule) et/ou électromagnétique.

mise en évidence

La radioactivité est mise en évidence par les effets des radiations produites.

8.3.6 Loi de la décroissance radioactive

Tout corps voit sa radioactivité décroître au cours du temps.

8.3.7 La demi-vie

En faisant des mesures précises, on peut observer que la quantité de radiations diminue de moitié après un temps $T_{1/2}$. Si on attend de nouveau

un temps $T_{1/2}$, la radioactivité aura à nouveau diminué de moitié, elle ne vaudra plus que le $\frac{1}{4}$ de la valeur de départ.

Ce temps $T_{1/2}$ est appelé la demi-vie.

8.3.8 L'activité

La quantité de radiations est appelée l'*activité* et nous la symboliserons par la lettre A .

Son évolution au cours du temps peut se représenter comme suit :

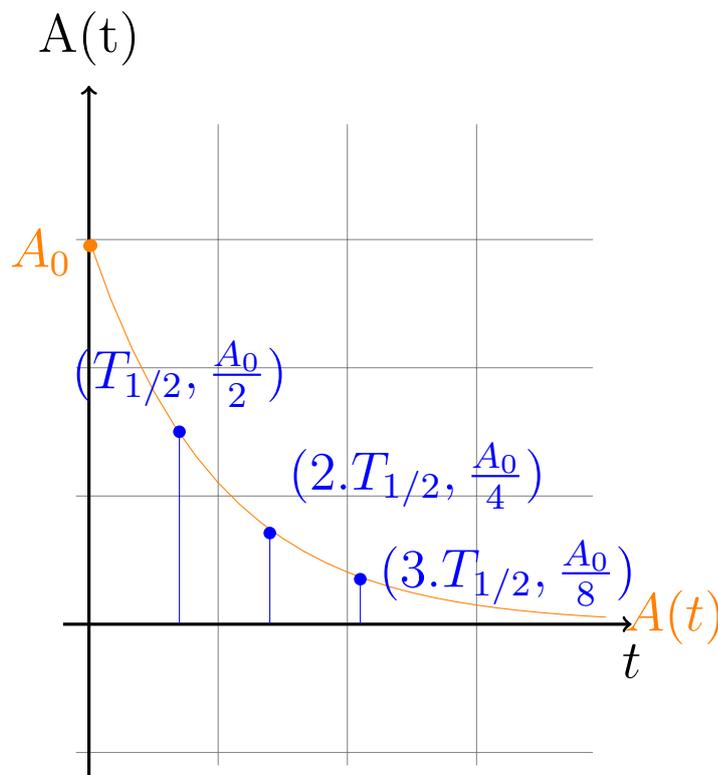


FIGURE 8.2 – L'activité en fonction du temps

Il est clair qu'il s'agit du graphique d'une fonction exponentielle décroissante. L'expression analytique de cette fonction est :

$$f(x) = a.e^{-a.x} \quad (8.3)$$

Nous pouvons donc écrire :

$$N(t) = N_0.e^{-\lambda.t} \quad (8.4)$$

L'activité est le nombre de désintégrations par seconde. Elle correspond à la variation du nombre d'atomes radioactifs (ΔN) par unité de temps (Δt). En passant à la limite pour $\Delta t \rightarrow 0$, nous obtenons :

$$act. = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta N}{\Delta t} \right) = - \frac{dN}{dt} \quad (8.5)$$

Par dérivation, nous obtenons facilement :

$$act. = \lambda \cdot N \quad (8.6)$$

Si nous dérivons, nous pouvons montrer que :

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \quad (8.7)$$

8.4 La fission

8.4.1 Équation nucléaire

8.4.2 Réactions en chaîne

8.5 La fusion

Chapitre 9

Les centrales nucléaires

9.1 Introduction

Nous allons y étudier le fonctionnement des centrales nucléaires.

Chapitre 10

Evolution de l'univers : du Big Bang au Big Crush

10.1 Introduction

Je vous convie aujourd'hui à une enquête policière : En 3 étapes (et demi).
Nous discuterons de l'âge de l'univers, de sa taille, du big bang.

10.2 Notions de spectroscopie

10.2.1 Notion de spectre

10.2.2 Spectre d'émission

10.2.3 Spectre d'absorption

10.2.4 Physique solaire

Structure d'une étoile

Chromosphère

Comparaison des étoiles par spectroscopie

Si nous observons les mêmes raies d'absorption lors de l'étude des spectres de différentes étoiles, cela nous permet de conclure qu'elles contiennent les mêmes éléments.

Diagramme de Hertzsprung-Russel

La couleur “dominante” d’une étoile est une indication de sa température de surface. En comparant cette température et sa taille, les physiciens ont établi un diagramme où ils peuvent placer les étoiles et qu’il leur permet de dire à quel type appartient une étoile et où elle se situe dans son évolution.

10.3 Décalage du spectre d’étoiles

10.3.1 introduction

En 1868, on observe que le spectre de certaines étoiles est décalé vers le rouge. Pour d’autres étoiles le spectre est décalé vers le violet.

10.3.2 Décalage vers le rouge, décalage vers le violet

S’il y a décalage vers le rouge, cela signifie qu’une onde de longueur d’onde λ donnée est transformée en une onde de longueur d’onde λ' où $\lambda' > \lambda$.

10.3.3 Effet Doppler

Nous avons déjà rencontré un phénomène où ceci se produit : l’effet Doppler.

Historiquement, l’effet Doppler-Fizeau a d’ailleurs été initialement un phénomène d’astrophysique et d’optique avant d’être appliqué à l’acoustique.

Souvenons nous, si $\lambda \nearrow$ (croît), c’est que la distance source-observateur grandit.

Un décalage vers le rouge correspond donc à une étoile qui s’éloigne de nous.

10.3.4 Exemples

Cappella (dans la constellation du clocher) se situe à 42 années-lumière de nous et présente un décalage vers le rouge de 0,01%. Elle s’éloigne de nous à une vitesse qui vaut approximativement 30 km/s.

10.4 Red Shift

En 1920, le même phénomène est observé pour les galaxies.

Le spectre d'une galaxie peut-être vu comme la moyenne des spectres de toutes ses étoiles + le spectre dû aux gaz entre les étoiles de la galaxie + le spectre dû aux gaz entre les galaxies.

10.4.1 Galaxies proches

Certaines se rapprochent (décalage vers le violet). Ainsi Andromède (une proche voisine à 2 millions d'années-lumière) se rapprochent de nous à la vitesse de 300 km/s.

D'autres s'éloignent.

10.4.2 Galaxies lointaines

Dans le cas de galaxies, le décalage est systématiquement vers le rouge. Les physiciens anglo-saxon nomment celà le "Red Shift".

En 1929, la loi de Hubble est ainsi formulée :

Plus une galaxie est lointaine, plus vite elle s'éloigne.

Exemples

Tableau

Conclusion

Toutes les galaxies s'éloignent de la terre.

Souvenez vous de l'opposition "Géocentrisme Héliocentrisme". Nous avons dit que la terre n'occupe pas une position particulière dans l'univers. Les étoiles ne nous fuient pas "nous".

Elles s'éloignent toutes les unes des autres.

L'univers est en expansion.

Analogie avec Ballon ou les grains de raisins dans un gateau.

10.5 Histoire de l'univers

10.5.1 Origine

Cette dilatation de l'univers a eu une origine.

En 1927, le prêtre belge Georges Lemaître affirme que l'univers a eu une origine : le Big Bang.

Cette origine est maintenant estimée avoir eu lieu il y a 15 à 20 milliards d'années.

Scénario du Big Bang

10.5.2 Evolution

S'il y a une origine y aura t'il une fin. L'univers a reçu une énorme "impulsion" à son début, ce qui explique son expansion. Mais celle-ci va-t-elle continuer indéfiniment ?

Cela dépend de la masse de l'univers.

La force de GU est à l'œuvre et fait que les galaxies s'attirent entre elles.

Analogie avec balle et entonnoir.

Si l'énergie de départ est suffisante (ou que la masse de l'univers est trop faible), les galaxies continuent à s'éloigner, ous allons vers un univers froid.

Si l'énergie de départ est insuffisante (ou que la masse de l'univers est trop grande), peut-être l'univers va-t-il se replier sur lui-même ? CE scénario est appelé le "Big Crush".

Table des matières

I	Les ondes en mécanique	1
1	Ondes : généralités	3
1.1	Introduction	3
1.1.1	Travail : analyse de texte	3
1.2	Onde : définition	3
1.3	Autres définitions	4
1.3.1	Elongation et amplitude	4
1.3.2	Vitesse de propagation	5
1.3.3	Ondes transversales et longitudinales	5
	Ondes transversales	5
	Ondes longitudinales	5
1.3.4	Ondes sinusoidales	5
1.3.5	Progression d'une onde transversale	6
1.3.6	La longueur d'onde	6
1.4	Exercices	7
2	Ondes : Le son	9
2.1	Introduction	9
2.2	Création d'une onde sonore	9
2.3	Propagation du son	10
2.4	Visualisation du son avec l'oscilloscope	10
2.4.1	Matériel et méthode	10
2.4.2	Types de son	10
2.5	Hauteur du son	10
2.5.1	Expériences	10
2.5.2	Conclusion	11
2.6	Intensité du son	11
2.6.1	Expérience	11
2.7	Définition d'intensité de l'onde sonore	11
2.7.1	rappel	11
2.8	L'échelle décibel	12

2.9	Le timbre en musique	14
2.9.1	Oscillogramme	14
2.9.2	Conclusion	14
2.10	Exercices	14
3	Ondes : Réflexion	15
3.1	La cuve à ondes	15
3.1.1	Ondes circulaires	15
3.1.2	Ondes planes	16
3.1.3	Conclusion	16
3.2	La réflexion des ondes	16
3.2.1	Ondes circulaires	16
3.3	Exercices	16
4	Ondes : La diffraction	17
4.1	Introduction	17
4.2	Expériences	17
4.2.1	Bord d'un obstacle	17
	λ <i>petit</i>	17
	λ <i>plus grand</i>	17
4.2.2	Fente	18
	$L \gg \lambda$	18
	$L \searrow$ <i>et</i> $\rightarrow \lambda$	18
	$L \leq \lambda$	18
	Ouvertures des ports	18
4.2.3	Objet	18
	$L \gg \lambda$	18
	$L \searrow$ <i>et</i> $\rightarrow \lambda$	18
	$L \leq \lambda$	18
	Radio	19
4.3	Synthèse	19
4.3.1	Définition	19
4.3.2	$\lambda \ll L$	19
4.3.3	$\lambda \simeq L$	19
4.3.4	$\lambda \gg L$	19
4.4	Applications	19
4.4.1	En général	19
4.4.2	Echolocation	20
4.5	Exercices	20

5 Ondes : L'effet Doppler	21
5.1 Introduction	21
5.2 Expériences	21
5.2.1 Observations	21
anecdote	21
5.2.2 rappel : hauteur d'un son	21
5.2.3 Conclusion	22
5.3 Illustration : un nageur et les vagues	22
5.3.1 Calcul	22
1 ^{er} cas : $S \ll \lambda$ A	22
Conclusion	22
5.3.2 2 ^{eme} cas : $S \sim \lambda$ A	23
5.4 Synthèse	23
5.4.1 Définition	23
5.4.2 Formule	23
Obs en mvt.	23
Src. en mvt.	23
5.5 Applications	23
5.5.1 Détecteur de vitesse automobile	24
5.5.2 Alarme	24
5.5.3 vitesse du sang	24
5.5.4 vitesse du son et BANG supersonique	24
5.6 Exercices	24
II La lumière et les ondes électromagnétiques	25
6 Ondes Electromagnétiques	27
6.1 Introduction	27
6.2 Caractéristiques des ondes électromagnétiques	27
6.3 Le spectre électromagnétique	27
6.3.1 Les ondes HERTZIENNES	28
Les ondes radio	28
Longueur d'onde	28
Transmission	28
propagation en fonction de la longueur d'onde	28
les ondes de télévision	28
Longueur d'onde	28
les ondes radar	29
Le téléphone mobile	29
Fréquence	29

	Les télécommunications par satellites	29
6.3.2	LES MICRO- ONDES	29
	Fréquence	29
6.3.3	RAYONNEMENT INFRAROUGE	29
6.3.4	LA LUMIERE VISIBLE	30
6.3.5	LE RAYONNEMENT ULTRAVIOLET	30
6.3.6	LE RAYONNEMENT X	30
6.3.7	LE RAYONNEMENT GAMMA	30
7	Fentes de Young	31
7.1	Introduction	31
7.2	Principe de superposition et interférences	31
	7.2.1 Principe de superposition	32
	7.2.2 Interférences d'ondes circulaires	32
7.3	Interférences et lumière	33
	7.3.1 Expérience	33
	7.3.2 Interprétation	33
	7.3.3 Conclusion	33
III	Thermodynamique	35
IV	Physique moderne	37
8	Radioactivité	39
8.1	Découverte de la radioactivité	40
	8.1.1 Historique	40
	Radiations	40
	Le plomb	40
	Expériences : Effet du champ magnétique	40
8.2	Structure des atomes	40
	8.2.1 Rappel : le modèle de Rutherford	40
	8.2.2 Rappel : le modèle de Bohr	41
	8.2.3 Chimie	41
8.3	Stabilité du noyau	41
	8.3.1 Force de répulsion entre protons	41
	8.3.2 Masse des nucléons	41
	Rappel : u.m.a.	41
	8.3.3 Masse manquante	42
	Einstein à la rescousse	42

8.3.4	Liaison entre nucléons	42
	Les isotopes	42
	Exemple :	43
	Isotopes : Z , A	43
	Le tableau des isotopes	43
8.3.5	Définition de la radioactivité	44
	mise en évidence	44
8.3.6	Loi de la décroissance radioactive	44
8.3.7	La demi-vie	44
8.3.8	L'activité	45
8.4	La fission	46
	8.4.1 Équation nucléaire	46
	8.4.2 Réactions en chaîne	46
8.5	La fusion	46
9	Énergie nucléaire	47
9.1	Introduction	48
10	Evolution de l'univers	49
10.1	Introduction	49
10.2	Notions de spectroscopie	49
	10.2.1 Notion de spectre	49
	10.2.2 Spectre d'émission	49
	10.2.3 Spectre d'absorption	49
	10.2.4 Physique solaire	49
	Structure d'une étoile	49
	Chromosphère	49
	Comparaison des étoiles par spectroscopie	49
	Diagramme de Hertzsprung-Russel	50
10.3	Décalage du spectre d'étoiles	50
	10.3.1 introduction	50
	10.3.2 Décalage vers le rouge, décalage vers le violet	50
	10.3.3 Effet Doppler	50
	10.3.4 Exemples	50
10.4	Red Shift	50
	10.4.1 Galaxies proches	51
	10.4.2 Galaxies lointaines	51
	Exemples	51
	Conclusion	51
10.5	Histoire de l'univers	51
	10.5.1 Origine	51

Scénario du Big Bang	52
10.5.2 Evolution	52