


UE 7 : PHYSIQUE ET BIOPHYSIQUE

EN GUISE D'INTRODUCTION...

Prête au vrai maintenant une oreille attentive.
Quod super est, vacuas auris animumque sagacem
 Nette de tout souci, aiguise ton esprit.
semotum a curis adhibe veram ad rationem.
 Et mes dons, apprêtés avec un soin fidèle,
ne mea dona tibi studio disposta fideli,
 Garde d'en faire fi avant d'y rien comprendre.
intellecta prius quam sint, contempta relinqua.
 Car je vais t'exposer les hautes lois du ciel
nam tibi de summa caeli ratione deumque
 Et des dieux, dévoiler d'où procèdent les choses.
disserere incipiam et rerum primordia pandam.



De la nature des choses, Chant 1, vers 50-55
 Traduction d'Olivier Sers, Belles lettres, Paris, 2012.

Lucrece
 (1^{er} siècle avant JC)

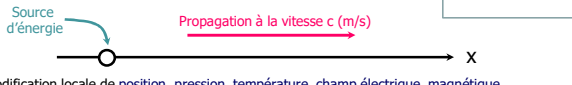
**Modélisation mathématique la plus simple possible
 des mécanismes de la nature telle qu'elle est
 observée expérimentalement**

PASS

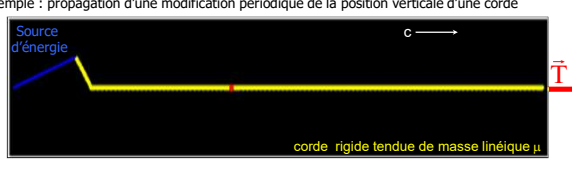
ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

ONDE PROGRESSIVE: DEFINITION

Propagation d'une perturbation des caractéristiques physiques du milieu



Exemple : propagation d'une modification périodique de la position verticale d'une corde



Source d'énergie

Source d'énergie

corde rigide tendue de masse linéique μ .

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

ONDE PROGRESSIVE: CORDE VIBRANTE

Source d'énergie (baguette)

$\tau = d/c$

$c = d/\tau$

Onde progressive scalaire de vibration transversale

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

ONDE PROGRESSIVE: SON

Source d'énergie (corde ou surface vibrante, HP)

$\tau = d/c$

$c = d/\tau$

Son = Onde progressive scalaire de vibration ou de surpression longitudinale

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

ONDE PROGRESSIVE: LUMIERE

\vec{E} ou \vec{B}

$\tau = d/c$

$c = d/\tau$

Lumière = champ électromagnétique = Onde progressive vectorielle transversale

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

ONDE PROGRESSIVE: MODELISATION

$g(t, x=0)$ $g(t, x)=?$ x

$g(t, 0)$ $g(t, x)$

$g(\tau, 0)$ $g(\tau, 0)$

0 τ t x/c $\frac{x}{c} + \tau$ t

$g(\tau + \frac{x}{c}, x) = g(\tau, 0)$

$g(t, x) = g(t - \frac{x}{c}, 0)$

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

ONDE PROGRESSIVE SINUSOIDALE

$g(t, 0) = g(0, 0) + A \sin(\omega t)$ $g(t, x)=?$ x

$g(t, x) = g(0, x) + A \sin \left[\omega \left(t - \frac{x}{c} \right) \right]$

grandeur physique avant la perturbation perturbation retardée de x/c

$g(0, x) + A$ $g(t, x)$ $g(0, x)$ $t = \frac{x}{c}$ t x fixé

$g(0, x) - A$

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

DECOMPOSITION EN OPS

$g(t) = 1 + 1.3 \sin(t + 1.6)$
 $g(t) = 1 + 1.3 \sin(t + 1.6) + 0.4 \sin(3t + 3.1)$
 $g(t) = 1 + 1.3 \sin(t + 1.6) + 0.4 \sin(3t + 3.1) + 0.3 \sin(5t + 1.6)$
 $g(t) = 1 + 1.3 \sin(t + 1.6) + 0.4 \sin(3t + 3.1) + 0.3 \sin(5t + 1.6) + 0.2 \sin(7t)$

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

CARACTERISTIQUES D'UNE RADIATION

$$g(t,x) = A \cdot \sin \left[\omega \left(t - \frac{x}{c} \right) \right]$$

- **Célérité c**, dans ce cas, propagation dans la direction x positifs
- **Amplitude = A** (même unité que la grandeur g)
- **Pulsation propre** : ω en rad/s
- **Fréquence f** en Hertz ($\text{Hz} = \text{s}^{-1}$) : $\omega = 2\pi f$
 ω ou f déterminent la nature de l'onde et ses modes d'interaction avec l'environnement...

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

A VOUS DE JOUER...

Comment participer ?



Cliquez sur l'écran projeté pour lancer la question

wooclap

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

A VOUS DE JOUER...

Allez sur **wooclap.com** et utilisez le code **ONDESMATIERE**

Dans le SI d'unités, la pression vérifiant à tout instant t
 $P(t) = 20 \cdot \sin(628 \cdot t) + 30 \cdot \cos(1257 \cdot t - 1.57)$.

- est une onde progressive sinusoidale 0% 0
- est une onde progressive asynchrone 0% 0
- Cliquez sur l'écran projeté pour lancer la question 0% 0
- est caractérisée par un spectre continu 0% 0
- est caractérisée par un spectre composé de deux raies (Amplitude, fréquence) = 100 Pa, 100 Hz et 100 Pa, 200 Hz 0% 0

wooclap

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

CARACTERISTIQUES D'UNE RADIATION

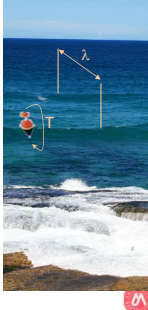
$$g(t, x) = A \cdot \sin\left[\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)\right]$$

- **Périodes**
 - Par rapport au temps : $T = 1/f = 2\pi/\omega$ en s
 - Pour x fixé, $g(t, x) = g(t+T, x)$
 - Par rapport à l'espace : **longueur d'onde**

$$A \cdot \sin\left[\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)\right] = A \cdot \sin\left[\omega\left(t - T - \frac{x}{c}\right)\right] = A \cdot \sin\left[\omega\left(t - \frac{cT + x}{c}\right)\right]$$

pour t fixé, $g(t, x) = g(t, x + c \cdot T) = g(t, x + \lambda)$

- $\lambda = cT = c/f = 2\pi c / \omega$
- λ est la distance parcourue par l'onde en T secondes.



PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

CARACTERISTIQUES D'UNE RADIATION

$$g(t, x) = A \cdot \sin\left[\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)\right] = A \cdot \sin[\omega t - \phi]$$

- **Phase** : $\phi = \omega x/c = 2\pi f x/c = 2\pi x/\lambda$
- **Surfaces d'onde** : surfaces connexes contenant l'ensemble des points de même phase
- **Vecteur d'onde** \vec{k} : vecteur perpendiculaire aux surfaces d'ondes de norme $k = \omega/c = \phi/x$

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

ONDES COHERENTES

- **Deux ondes sont cohérentes si :**
 - elles ont même longueur d'onde λ et
 - leur différence de phase est constante dans le temps

$$g_1(t, x) = A \cdot \sin[\omega t - kx - \phi_1]$$

$$g_2(t, x) = A \cdot \sin[\omega t - kx - \phi_2]$$

ϕ_1, ϕ_2 phases non liées au retard, indépendantes du temps t

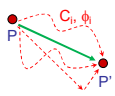
- Les amplitudes des ondes cohérentes peuvent s'additionner **algébriquement**. Leur superposition peut conduire à une onde d'intensité supérieure ou inférieure à celle des ondes avant addition.

A contrario, pour des ondes incohérentes (lampes à incandescence), seuls les carrés des amplitudes s'ajoutent.

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

HUYGENS ⇒ PRINCIPE DE MOINDRE ACTION



Quelle est la trajectoire suivie par un rayon lumineux émis en P et reçu en P' ?


A priori, le rayon emprunte une infinité de chemins possibles C_i de longueurs x_i entrainant en P' un déphasage $\phi_i = \omega \cdot x_i / c = \omega \cdot t_i = 2\pi \cdot x_i / \lambda$, avec $\omega \approx 10^{14}$ rad/s dans le visible.

Huygens-Fresnel en P' ⇒

$$A = A \cdot \sum_{\text{chemins}} \sin\left[\omega\left(t - \frac{x_i}{c}\right)\right] = A \cdot \sum_{\text{chemins}} \sin[\omega t - \omega x_i]$$

Sauf si t est minimal, $\omega \cdot t_i$ change très vite de C_i à C_{i+1} et les contributions de ces rayons se détruisent mutuellement (par interférences)

Principe de Moindre Action: Un rayon lumineux (une onde) suit la trajectoire parcourue en un temps minimum (donc une droite dans le vide).



R Feynman 1918-1988

Exception si ω (ou f) $\ll 1$ (soit $\lambda \gg x_i$): cf. diffraction

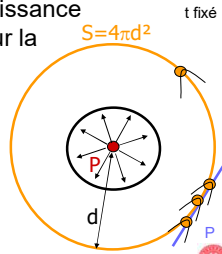
PASS Suggestion de lecture pour l'été: R. Feynman, « lumière et matière, une étrange histoire », Points Sciences

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

LOI EN 1/d²

Une source ponctuelle émettant de façon isotrope produit une onde sphérique.

A une distance d de la source, la puissance émise P se répartit uniformément sur la surface d'une sphère de rayon d :

$$I(Wm^{-2}) = \frac{P}{4\pi d^2}$$


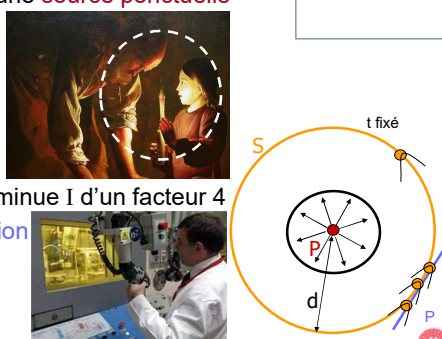
La puissance surfacique reçue à la distance d varie donc comme $1/d^2$

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

LOI EN 1/d²

A distance d d'une source ponctuelle isotrope :

$$I(Wm^{-2}) = \frac{P}{4\pi d^2}$$


Doubler la d diminue I d'un facteur 4

↳ Radioprotection

PASS

ONDES SON OCM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

A VOUS DE JOUER ...

Allez sur wooclap.com et utilisez le code **ONDESMATIERE**

Une goutte de radioactivité émet une onde de longueur d'onde de 2,4 pm et de puissance de 628 microW ($628 = 50 \times 4\pi$).

- 1 Cette source est conforme à deux des normes suivantes 0% 0 👤
- 2 Les surfaces d'ondes sont séparées de 4,2 pm 0% 0 👤
- 3 Cliquez sur l'écran projeté pour lancer la question 0% 0 👤
- 4 La puissance surfacique dissipée à un mètre de cette source est de 0,5 W/m² 0% 0 👤
- 5 La puissance surfacique dissipée à un 10 mètres de cette source est de 0,5 microW/m² 0% 0 👤

wooclap 0 / 0

ONDES SON OCM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

OBJECTIFS DU POINT D'ÉTAPE 1

- **Savoir définir** : onde progressive, onde pure, onde complexe, harmoniques, spectres et ondes cohérentes.
- **Savoir manipuler les caractéristiques d'une onde** : ω , f , T , λ , ϕ , S_{onde} , \vec{k}
- **Savoir modéliser une onde pure** :
 - $g(t,x) = A \cdot \sin[2\pi \cdot f \cdot (t-x/c)]$
 - Savoir manipuler ce modèle
- **Savoir utiliser le principe d'Huygens-Fresnel**
- **Savoir exploiter la loi en $1/d^2$ à des fins de radioprotection**

PASS

ONDES SON OCM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

L'ONDE SONORE

PASS

ONDES SON ODM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

SON = ONDE DE PRESSION

Pression en $x = \text{cste} = P_{\text{atmosphérique}}$

Hypothèse $c \gg x$,
 $\Rightarrow \text{retard} = x/c \rightarrow 0$
 \downarrow
 vibrations en phase,
 écarts conservés,
 densité constante,
 pression constante.

Or dans l'air,
 $c \approx 343 \text{ m/s}$
 \downarrow
 $c \approx x$
 l'hypothèse $c \gg x$
 est fautive

~~$c \gg x \Rightarrow g(t, x) = x + A \sin\left[\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)\right] \approx x + A \sin[\omega t]$~~

PASS

ONDES SON ODM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

SON = ONDE DE PRESSION

surpression locale

pression P

dépression locale

déphasage des ondes de vibration au voisinage d'un lieu x
 \downarrow
 onde de surpression acoustique P qui s'ajoute à la pression ambiante.

Ordres de grandeur

dans l'air : $P_a = 10^5 \text{ Pa}$
 $P = 20 \mu\text{Pa} - 20 \text{ Pa}$
 $P \ll P_a$

dans l'eau : $P < \text{kPa}$

$c \approx x \Rightarrow g(t, x) = x + A \sin\left[\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)\right]$

PASS

ONDES SON ODM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

Rappel: la dérivation

$E(t, x)$
 $x \text{ fixé}$

$t = \frac{x}{c}$

$E(t, x) = A \sin\left(\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)\right)$

$\frac{\partial E}{\partial t} = E'(t)_{x \text{ constant}} = \frac{\partial}{\partial t} \left[A \sin\left(\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)\right) \right] = \omega A \cos\left(\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)\right)$

$\frac{\partial E}{\partial x} = E'(x)_{t \text{ constant}} = \frac{\partial}{\partial x} \left[A \sin\left(\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)\right) \right] = -\frac{\omega}{c} A \cos\left(\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)\right)$

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

RAPPELS ELECTRO ET MAGNETOSTATIQUE

Champs statiques (créés par des distributions de charges ou de courants électriques constants dans le temps). Exemples :

- Charge ponctuelle permanente $\Rightarrow \vec{E}$

$$\|\vec{E}(r)\| = \frac{q' \cdot 1}{4\pi\epsilon \cdot r^2} \quad V = \frac{q' \cdot 1}{4\pi\epsilon \cdot r} \quad E_p = q'V = \frac{q \cdot q' \cdot 1}{4\pi\epsilon \cdot r}$$

$$\|\vec{F}(r)\| = q \cdot \frac{q' \cdot 1}{4\pi\epsilon \cdot r^2} \quad \text{Permittivité: } \epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r = \epsilon_0 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F.m}^{-1}$$
- Circuit de courant permanent $\Rightarrow \vec{B}$

Perméabilité : $\mu = \mu_0 \mu_r = \mu_0 \cdot 12,57 \cdot 10^{-7} \text{ H.m}^{-1}$

$$\|\vec{B}(r)\| = \frac{\mu \cdot I}{2\pi \cdot r} \quad \|\vec{B}(r)\| = \frac{\mu \cdot I}{2r} \sin \alpha$$

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

Nb. Cette force ne travaille pas ($W=0$; $E_p = \text{cste}$)

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

LIEN ELECTRICITE / MAGNETISME

(Romagnosi 1802, Ørsted 1820)

Dans R fixe, champ (\vec{E}, \vec{B})
déplacement de charges dans un champ magnétique ($\vec{v} = \vec{V}$) sans champ électrique ($\vec{E} = 0$)

$$\vec{F} = -e \cdot \vec{V} \wedge \vec{B}$$

Dans R' mobile, champ (\vec{E}', \vec{B}')
charges statiques ($\vec{v}' = 0$), donc pas de force magnétique :

$$\vec{F}' = -e \cdot \vec{E}'$$

donc $\vec{E}' = \vec{V} \wedge \vec{B}$

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

COUPLAGE ELECTROMAGNETIQUE

- Si les charges et les courants électriques ne dépendent pas du temps, ils créent des champs E et B permanents (statiques) et **indépendants l'un de l'autre.**
- Si les charges et les courants électriques varient au cours du temps, ils créent des champs électriques et magnétiques d'intensités variables dans le temps et **couplés:**
 - **Equations de Maxwell:** empiriques (fin XIX° siècle), puis conséquence théorique de la relativité restreinte (théorie des champs, début XX° siècle).

JC Maxwell 1831-1897

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

OBJECTIFS DU POINT D'ÉTAPE 2

- Savoir définir : une onde sonore comme onde de vibration ou de pression.
- Savoir manipuler les caractéristiques d'une onde sonore : c, Z, χ, \dots
- Savoir définir, modéliser une onde électromagnétique et manipuler $\vec{B} = \frac{1}{c_n} \vec{u} \wedge \vec{E}$
- Savoir manipuler $n, \epsilon, \mu, \epsilon_r, \mu_r$
- Connaître les grands domaines du spectre électromagnétique:
X- γ , < 10 nm, UV, V (400-800 nm), IR, H > mm

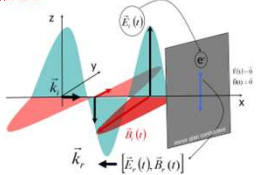
PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

REFLEXION ET REFRACTION

Ces phénomènes peuvent être abordés de deux façons équivalentes. La première correspond à une approche « optique physique », la seconde à une approche « optique géométrique ».

1. Par les équations de Maxwell



2. Par le principe de moindre action (Fermat)
le vecteur d'onde suit la trajectoire la plus rapide entre deux points.
Dans un milieu homogène, c'est la trajectoire la plus courte.

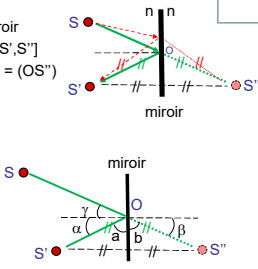
PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

PMA ⇒ LOI DE LA REFLEXION DE DESCARTES

Réflexion sur un miroir dans un milieu homogène (mêmes n),

PMA ⇒ (SOS') minimum, O ∈ miroir
S'' tel que miroir = médiatrice de [S', S'']
Alors (S'OS'') est isocèle ⇒ (OS') = (OS'')
PMA ⇒ (SOS'') minimum
PMA ⇒ O ∈ (S, S'')



miroir = médiatrice de [S', S'']
⇒ $\hat{\alpha} = \hat{\beta}$
⇒ $\hat{\alpha} = \hat{\beta}$
⇒ $\hat{\alpha} = \hat{\gamma}$

Lors d'une réflexion sur un miroir placé dans un milieu homogène, les angles d'incidence et de réflexion sont égaux.

PASS

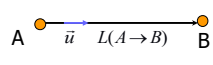
ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

CHEMIN OPTIQUE

- **Principe de Fermat** : La lumière suit la trajectoire qui minimise le temps de parcours t_n entre deux points A et B dans un milieu d'indice de réfraction n :

$$t_n = \frac{\text{dist}(A,B)}{c_n} \Rightarrow c.t_n = \frac{c}{c_n} \cdot \text{dist}(A,B) = n \cdot \text{dist}(A,B) \text{ minimal suivant le PMA.}$$

- **Chemin optique L** entre deux points d'un milieu d'indice n



$$L(A \rightarrow B) = n \cdot \text{dist}(A,B) = n \vec{u} \cdot \vec{AB} \text{ où } \vec{u} = \frac{\vec{AB}}{|\vec{AB}|}$$

$$t_n = \frac{n \cdot \text{dist}(A,B)}{c} = \frac{L}{c}$$

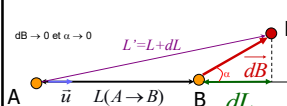
$L(A \rightarrow B)$ est la distance que parcourrait la lumière dans le vide (à la célérité c) dans le temps nécessaire pour relier A à B dans un milieu d'indice n

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

VARIATION DE CHEMIN OPTIQUE

Supposons un petit déplacement de B en B' et calculons la petite variation de chemin optique (on néglige la modification de \vec{u})



$$dB \rightarrow 0 \text{ et } \alpha \rightarrow 0$$

$$L' = L + dL$$

$$L' = n \vec{u} \cdot \vec{AB}' = n \vec{u} \cdot (\vec{AB} + \vec{dB})$$

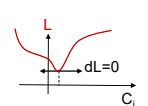
$$L' = n \vec{u} \cdot \vec{AB} + n \vec{u} \cdot \vec{dB}$$

$$L' = L + n \vec{u} \cdot \vec{dB}$$

$$dL = n \vec{u} \cdot \vec{dB}$$

projection de \vec{dB} sur \vec{u}

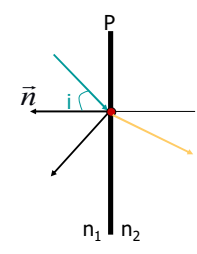
PMA (Fermat) $\Rightarrow L$ minimal
 $\Rightarrow dL = n \cdot \vec{u} \cdot d\vec{B} = 0$
 Pour un petit déplacement $d\vec{B}$ autour de la trajectoire d'un rayon lumineux




PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA


LOIS DE SNELL -DESCARTES



Quelles sont les directions du rayon réfléchi et du rayon transmis par rapport au rayon incident ?



Willebrord Snell
1580-1626



René Descartes
1596-1650

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

LOIS DE SNELL –DESCARTES (REFLEXION)

Fermat $\Rightarrow dL(A \rightarrow M \rightarrow B) = 0$
 \vec{u}_i et \vec{u}_r coplanaires

$$dL(A \rightarrow M \rightarrow B) = 0$$

$$\Rightarrow n_1 \vec{u}_i \cdot d\vec{M} - n_1 \vec{u}_r \cdot d\vec{M} = 0$$

$$\Rightarrow n_1 \cdot dM \cdot \cos i' = n_1 \cdot dM \cdot \cos r'$$

$$\Rightarrow \cos i' = \cos r'$$

$$\Rightarrow \sin i = \sin r$$

$$\Rightarrow i = r$$

Rayons incidents et réfléchis dans le même plan
 $i = r$

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

LOIS DE SNELL–DESCARTES (REFRACTION)

$dL(A \rightarrow M \rightarrow C) = 0$
 \vec{u}_i et \vec{u}_t coplanaires

$$dL(A \rightarrow M \rightarrow C) = 0$$

$$n_1 \vec{u}_i \cdot d\vec{M} - n_2 \vec{u}_t \cdot d\vec{M} = 0$$

$$\Rightarrow n_1 \sin i = n_2 \sin t$$

Rayons incidents et transmis dans le même plan
 $n_1 \sin i = n_2 \sin t$

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

LOIS DE SNELL -DESCARTES

La lumière suit la trajectoire qui minimise le temps de parcours :

Rayons incidents réfléchis et transmis dans le même plan
 $i = r$
 $n_1 \sin i = n_2 \sin t$

Conséquence: $(n_1/n_2) \sin i = \sin t \leq 1 \Rightarrow \sin i \leq n_2/n_1$
 $n_2 < n_1 \Rightarrow$ réflexion totale si $i > \text{arc sin}(n_2/n_1)$

PASS

ONDES SON OCM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

A VOUS DE JOUER

Allez sur wooclap.com et utilisez le code **ONDESMATIERE**

Chemin optique et lois de Descartes

- 1 Dans une verre d'indice 2, la diffusion optique par un objet est un rayon lumineux est la distance de la surface... 0% 0
- 2 Cliquez sur l'écran projeté pour lancer la question. 0% 0
- 3 L'indice de réflexion du vide est égal à 0. 0% 0

wooclap 0 / 0

ONDES SON OCM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

MODELISATION D'UN ŒIL HUMAIN

cornée, rétine, iris, nerf optique, cristallin, humeur aqueuse, humeur vitrée

$n=1$ (air), $n'=1,34$ (vitrée), Axe de révolution

Œil ≈ système optique **dioptrique centré**

- **Dioptrique** = frontière entre un espace transparent d'indice de réfraction n et un autre d'indice $n' \neq n$
- **Système optique** = milieu transparent contenant des miroirs ou des dioptries
 - Pas de miroirs = système **dioptrique**
 - Miroirs = système **catadioptrique**
- Système optique **centré** = admettant un axe de révolution

PASS

ONDES SON OCM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

MODELISATION D'UN ŒIL (HYPOTHESES)

Approximation de Gauss :

- système optique centré,
- dont **les rayons lumineux s'écartent peu de l'axe** ($\alpha \ll 1$)

Dans l'approximation de Gauss, le système optique est

- **stigmatique** si l'image de tout point A est un point A'
- **aplanétique** si l'image de tout segment $AB \perp$ axe est un segment $A'B' \perp$ axe

DIOPTRE 2, DIOPTRE 1, n, n', n'' , $\alpha \ll 1$, A, B, A', B'

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

CONVENTIONS

Valeur algébrique de l'arc PS >0 dans le sens trigonométrique

Valeur algébrique du segment SC $= x_C - x_S >0$

angle $\omega >0$ dans le sens trigonométrique

$\omega = \frac{PS}{CS}$

Axe optique (S,C) orienté positivement dans le sens de propagation de la lumière

Dioptre sphérique de sommet S = portion de surface d'une sphère de centre C et de rayon SC

Dioptre sphérique dans un système optique centré

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

FORMULE DE CONJUGAISON DU DIOPTRE SPHERIQUE

$n \cdot \sin(i) = n' \cdot \sin(i')$ GAUSS $\Rightarrow n \cdot i = n' \cdot i'$

$\pi - i + \omega + \alpha = \pi \Rightarrow i = \omega + \alpha$

$\pi - \omega + i' + \alpha' = \pi \Rightarrow i' = \omega - \alpha'$

$n(\omega + \alpha) = n'(\omega - \alpha') \Rightarrow (n' - n)\omega = n\alpha + n'\alpha'$

$\alpha = \frac{SP}{AS} = -\frac{SP}{SA}$ $\alpha' = \frac{SP}{A'S} = \frac{SP}{SA'}$ $\omega = \frac{PS}{CS} = \frac{SP}{SC}$

$\Rightarrow (n' - n) \frac{SP}{SC} = -n \frac{SP}{SA} + n' \frac{SP}{SA'}$

$\frac{n' - n}{SC} = \frac{n'}{SA'} - \frac{n}{SA} = \Pi$

Π puissance ou vergence en dioptrie ($Dp = m^{-1}$)

$\Pi > 0 \Rightarrow$ dioptre convergent

$\Pi < 0 \Rightarrow$ dioptre divergent

$\Pi = 0 \Rightarrow$ dioptre plan ou absent

Π est additive

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

CONSTRUCTION DES IMAGES

$\Pi = \frac{n' - n}{SC} = \frac{n'}{SA'} - \frac{n}{SA}$

Dioptre sphérique convergent

Un rayon normal au dioptre passe par le centre sans être dévié (Descartes)

Un rayon parallèle à l'axe optique émerge en coupant l'axe au foyer image F' avec $\Pi = n' / SF'$

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

AMETROPIES SPHERIQUES

$n = 1$, $n' = 1,34$
 objet à ∞ , $SC = 22,2 \text{ mm}$, image sur la rétine
 $\Pi = \frac{n' - n}{SC} = 60 \text{ Dp}$
Cil réduit normal
Pathologie de la convergence
MYOPE : $\Pi > 60 \text{ Dp}$ ($R \downarrow$) ou $L \uparrow$
HYPERMETROPE : $\Pi < 60 \text{ Dp}$ ($R \uparrow$) ou $L \downarrow$

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

CORRECTIONS DES AMETROPIES SPHERIQUES

objet à ∞
verre divergent
MYOPE
 --- non corrigé
 — corrigé
verre convergent
HYPERMETROPE
 --- non corrigé
 — corrigé

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

REFLEXION NORMALE

g représente par exemple E ou B d'une OEM

$g_i(t,x) = A_i \sin[\omega(t - \frac{x}{c_1})]$
 $g_r(t,x) = A_r \sin[\omega(t + \frac{x}{c_1})]$
 $g_t(t,x) = A_t \sin[\omega(t - \frac{x}{c_2})]$

$\frac{\partial g_i}{\partial x}(t,0) + \frac{\partial g_r}{\partial x}(t,0) = \frac{\partial g_t}{\partial x}(t,0)$
 $\Rightarrow -\frac{\omega}{c_1} A_i + \frac{\omega}{c_1} A_r = -\frac{\omega}{c_2} A_t \Rightarrow A_i - A_r = \frac{c_1}{c_2} A_t$

$g_i(t,0) + g_r(t,0) = g_t(t,0) \Rightarrow A_i + A_r = A_t$

$\Rightarrow A_i - A_r = \frac{c_1}{c_2} A_t = \frac{c_1}{c_2} (A_i + A_r) \Rightarrow 1 - \frac{A_r}{A_i} = \frac{c_1}{c_2} \left(1 + \frac{A_r}{A_i}\right) \Rightarrow \frac{A_r}{A_i} = \frac{c_2 - c_1}{c_2 + c_1}$

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

REFLEXION NORMALE

$$\left. \begin{aligned} \frac{A_r}{A_i} &= \frac{c_2 - c_1}{c_2 + c_1} \\ c_i &= \frac{c}{n_i} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{A_r}{A_i} = \frac{\frac{c}{n_2} - \frac{c}{n_1}}{\frac{c}{n_2} + \frac{c}{n_1}} = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}$$

En milieu homogène, l'intensité lumineuse est proportionnelle à A^2 :

$$r = \frac{I_r}{I_i} = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2$$

$$t = \frac{I_t}{I_i} = 1 - r$$

Ex: lentille en verre ($n_2=1,5$) dans de l'air ($n_1=1$) : $r=4\%$
 Conséquence: réflexion totale si $n_2 \rightarrow \infty$ (soit $n_2 \gg n_1$)

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

REFLEXION NORMALE TOTALE

$$\vec{E}_i(t, x) = \vec{E}_0 \sin\left[\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)\right] \quad \vec{E}_r(t, x) = -\vec{E}_0 \sin\left[\omega\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

interférences: $\vec{E}(t, x) = \vec{E}_i(t, x) + \vec{E}_r(t, x)$

$$\vec{E}(t, x) = \vec{E}_0 \left\{ \sin\left[\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)\right] - \sin\left[\omega\left(t + \frac{x}{c}\right)\right] \right\}$$

Rappel: $\sin p - \sin q = 2 \sin \frac{p-q}{2} \cos \frac{p+q}{2}$

donc: $\vec{E}(t, x) = 2\vec{E}_0 \left\{ \sin\left[-\frac{\omega x}{c}\right] \cos[\omega t] \right\}$

$$\vec{E}(t, x) = \left[-2 \sin\left(\frac{\omega x}{c}\right) \vec{E}_0 \right] \cos(\omega t) = \vec{A}(x) \cdot \cos(\omega t)$$

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

ONDE STATIONNAIRE

$$\vec{E}(t, x) = \left[-2 \sin\left(\frac{\omega x}{c}\right) \vec{E}_0 \right] \cos(\omega t) = \vec{A}(x) \cos(\omega t)$$

Pas de déphasage

Amplitude $\vec{A}(x) = -2 \sin\left(\frac{\omega x}{c}\right) \vec{E}_0$ variable avec x

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

ONDE STATIONNAIRE

Pas de déphasage

Amplitude $A(x)$ variable avec x

$$\sin\left(\frac{\omega x}{c}\right) = 0 \Leftrightarrow \frac{2\pi x}{cT} = \frac{2\pi x}{\lambda} = N\pi \Leftrightarrow x \in \left\{0, \frac{\lambda}{2}, \lambda, 3\frac{\lambda}{2}, \dots\right\}$$

$$\vec{E}(t, x) = \left[-2 \sin\left(\frac{\omega x}{c}\right) \vec{E}_0 \right] \cos(\omega t) = \vec{A}(x) \cdot \cos(\omega t)$$

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

ONDE STATIONNAIRE & QUANTIFICATION

Si le milieu est limité de dimension L , λ ne peut prendre que certaines valeurs discrètes $2L/k$:

$$\lambda = 2L, L, 2L/3, L/2, \dots$$

On dit que ces grandeurs sont **quantifiées**

$$\vec{E}(t, x) = \left[-2 \sin\left(\frac{\omega x}{c}\right) \vec{E}_0 \right] \cos(\omega t)$$

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

A VOUS DE JOUER...

Allez sur [wooclap.com](https://www.wooclap.com) et utilisez le code **ONDESMATIERE**

Dioptre sphérique et ondes stationnaires

- Un rayon passant par le centre d'un dioptre sphérique vient pas dévier. 0% 0
- Un dioptre sphérique renverse les rayons parallèles à l'axe optique sans les dévier. 0% 0
- Cliquez sur l'écran projeté pour lancer la question. 0% 0
- Un seul rayon lumineux trop est dans être corrigé avec un dioptre sphérique de puissance négative. 0% 0
- Dans un espace où s'établit une onde stationnaire, tous les points sont en phase et la dimension de l'espace est quantifiée. 0% 0

wooclap 0 / 0

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

A VOUS DE JOUER...

Allez sur wooclap.com et utilisez le code **ONDESMATIERE**

Une onde stationnaire de longueur d'onde 620 nm s'établit dans du vide entre deux miroirs (pour produire une lumière LASER), ...

- 1 La distance séparant ces deux miroirs peut être de 21 cm 0% 0 👤
- 2 La fréquence de cette radiation est de l'ordre de MHz 0% 0 👤
- 3 Cliquez sur l'écran projeté pour lancer la question 0% 0 👤
- 4 Cette lumière est visible à un œil humain 0% 0 👤
- 5 Cette lumière a une dimension comparable avec la longueur d'une longueur de longueur d'onde 332 nm 0% 0 👤

wooclap 0 / 0

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

OBJECTIFS DU POINT D' ÉTAPE 3

Savoir définir, caractériser et manipuler:

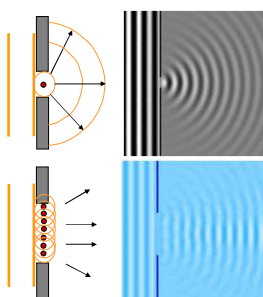
- Un chemin optique et le principe de Fermat
 - Calculs de chemins optiques dans diverses configurations
- Les lois de Descartes et la réflexion normale
 - Dans des contextes géométriques variés
- Les coefficients de réflexion et de transmission
- Onde stationnaire en lien avec la quantification
- L'approximation de Gauss, la relation de conjugaison du dioptre et ses applications dans la correction des amétropies sphériques

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

DIFFRACTION

Rappel du principe de Huygens-Fresnel : chaque point d'une surface d'onde agit comme une source ponctuelle émettant en phase,



Diffraction = changement de direction d'une onde au passage d'un écran percé d'un trou de diamètre b de l'ordre ou inférieur à la longueur d'onde.

Après l'écran :

- ① une ou plusieurs ondes sphériques se propagent.
- ② un déphasage apparaît entre les rayons émis dans une direction
- ③ les ondes cohérentes ré-émises peuvent s'additionner algébriquement = interférences

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

INTERFERENCES

- Définition : Addition algébrique d'ondes progressives pures cohérentes**
 - Attention : il ne s'agit pas simplement de l'addition des intensités des ondes (qui a lieu même avec des ondes incohérentes)
- Exemples :**
 - Onde stationnaire après réflexion normale
 - Ondes sphériques après diffraction
 - Onde fractionnée avec décalage de phase

PASS Meios réfléchissant et semi-réfléchissant Bi-prisme et miroirs de Fresnel

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

INTERFERENCES DE 2 SOURCES COHERENTES

Rappel : $\sin p + \sin q = 2 \sin \frac{p+q}{2} \cos \frac{p-q}{2}$

2 sources cohérentes

$$\vec{E}(t, r) = \vec{E}_0 [\sin(\omega t - \varphi_r) + \sin(\omega t - \varphi_r - \varphi)]$$

$$\vec{E}(t, r) = 2 \vec{E}_0 \sin\left(\frac{2\omega t - 2\varphi_r - \varphi}{2}\right) \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right)$$

$$\vec{E}(t, r) = \left[2 \vec{E}_0 \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) \right] \sin\left(\omega t - \varphi_r - \frac{\varphi}{2}\right)$$

(où $\varphi_r = \frac{\omega r}{c}$)

$D = b \sin \theta$
 $\varphi = \frac{\omega}{c} D = \frac{2\pi}{\lambda} D$
 $\Rightarrow \varphi = 2\pi \frac{b \sin \theta}{\lambda}$ indépendant du temps t

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

INTERFERENCES DE 2 SOURCES COHERENTES

$$\vec{E}(t, r) = \left[2 \vec{E}_0 \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) \right] \sin\left(\omega t - \varphi_r - \frac{\varphi}{2}\right)$$

$$\varphi = 2\pi \frac{b \sin \theta}{\lambda}$$

Amplitude (donc intensité) maximum si $|\cos(\varphi/2)|$ maximum, soit si $\varphi/2$ multiple de π

$$\frac{\varphi}{2} = \pi \cdot \frac{b \sin \theta}{\lambda} = k \cdot \pi \Leftrightarrow \sin \theta = k \cdot \frac{\lambda}{b} \approx \theta$$

Succession de bandes claires et sombres → mesures de petits déplacements, astronomie

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

INTERFERENCES APRES DIFFRACTION

Calcul du déphasage entre deux rayons distants de x , diffractés sous un angle θ :

$$d\varphi = \frac{\omega}{c} dD = \frac{2\pi}{\lambda} dD$$

$$\Rightarrow d\varphi = \frac{2\pi \cdot \sin \theta}{\lambda} x = \Theta \cdot x$$

Dans la direction θ , l'onde observée après diffraction est la somme de toutes les ondes déphasées ayant passé l'obstacle entre $-b/2$ et $+b/2$ et ayant été diffractées dans la direction θ :

$$\vec{E} = \int_{-b/2}^{b/2} \frac{\vec{A}_0}{b} \sin(\omega t - \Theta x) dx$$

écran éloigné

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

ONDE DIFFRACTEE (Cf. Annexe 2)

$$\vec{E} = \int_{-b/2}^{b/2} \frac{\vec{A}_0}{b} \sin(\omega t - \Theta x) dx \quad \text{avec} \quad \Theta = \frac{2\pi \cdot \sin \theta}{\lambda}$$

$$\Rightarrow \vec{E} = \vec{A}_0 \cdot \text{sinc}\left(\frac{\pi b \cdot \sin \theta}{\lambda}\right) \sin(\omega t)$$

où $\text{sinc}(x) = \frac{\sin x}{x}$

Amplitude \vec{A}
minimale pour
 $\pi \cdot b \cdot \sin \theta / \lambda = N \cdot \pi$

$$\vec{A} = \vec{A}_0 \cdot \text{sinc}\left(\frac{\pi b \sin \theta}{\lambda}\right) = 0 \Leftrightarrow \sin \theta_{\min} = N \frac{\lambda}{b}, \quad N \text{ entier}$$

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

INTERFERENCES APRES DIFFRACTION

$\sin \theta_{\min} = \frac{\lambda}{b} \approx \theta_{\min}$ est aussi la largeur à mi-hauteur du maximum principal

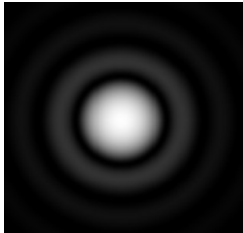
PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

DIFFRACTION PAR DES ECRANS

ORIFICE CARRE DE COTE b $\sin \theta_{\min}^{\nu} = N \cdot \frac{\lambda}{b}$

ORIFICE CIRCULAIRE DE DIAMETRE d

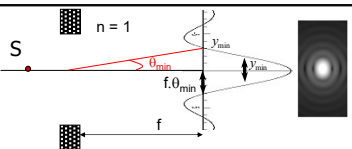


$\sin \theta_{\min}^{\nu} = 1,22 \cdot N \cdot \frac{\lambda}{d}$
N entier positif

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

LA DIFFRACTION LIMITE LA RESOLUTION




$\theta_{\min} \approx \sin \theta_{\min} = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{d}$
 $y_{\min} \approx f \cdot \theta_{\min} \approx f \cdot 1,22 \cdot \frac{\lambda}{d}$

$N = f/d = \text{nombre d'ouverture}$ des objectifs photographiques ($d = f/2,8 > f/22$)

$y_{\min} \approx f \cdot \theta_{\min} \approx 1,22 \cdot \lambda \cdot N$

θ_{\min} est la **résolution angulaire**
 y_{\min} est la **résolution spatiale**

Plus le nombre d'ouverture $N = f/d$ est grand,
plus la diffraction dégrade la résolution (y_{\min})

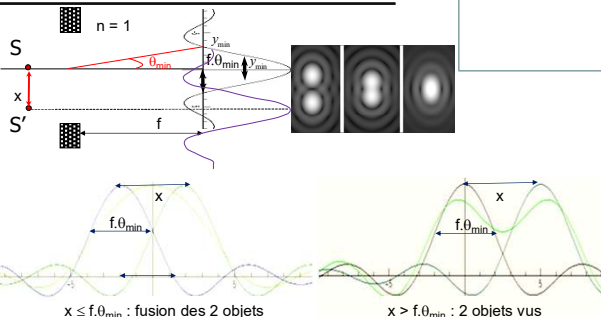


N ↓ et d ↑
Ø tache ↓
résolution ↑

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

LA DIFFRACTION LIMITE LA RESOLUTION



$x \leq f \cdot \theta_{\min}$: fusion des 2 objets
 $x > f \cdot \theta_{\min}$: 2 objets vus

Le diaphragme sépare les images si $x > LMH = f \cdot \theta_{\min} = 1,22 \cdot \lambda \cdot f/d = 1,22 \cdot \lambda \cdot N$

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

LA DIFFRACTION LIMITE LA RESOLUTION

L'optique sépare les images de 2 objets distants de $x > LMH = f \cdot \theta_{\min}$
 $LMH = R = \text{pouvoir séparateur} = \text{résolution}$

Pouvoir séparateur d'un instrument d'optique:
 $R = 1,22 \cdot \lambda \cdot \frac{f}{d} = \frac{0,61 \cdot \lambda}{\sin \alpha}$
 ou $\frac{0,61 \cdot \lambda}{n \cdot \sin \alpha}$ si le milieu image est d'indice n

Si on interpose une goutte d'huile d'indice n entre le diaphragme et l'écran de visualisation, il faut remplacer la longueur d'onde dans le vide λ par λ/n :

$$\lambda_n = c_n \cdot T = \frac{c}{n} \cdot T = \frac{\lambda}{n}$$

PASS Cf. cours d'UE3 sur la microscope optique

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

LA DIFFRACTION LIMITE LA RESOLUTION

Résolution angulaire $\theta_{\min} = 1,22 \cdot \lambda/d$
 Résolution spatiale $R = 1,22 \cdot \lambda f/d = 0,61 \cdot \lambda/(n \cdot \sin \alpha)$

- Pupille $d = 5 \text{ mm}$, $\lambda_n = 500/1,34 \text{ nm} \Rightarrow \theta_{\min} = 91 \mu\text{rad}$
 $R = f \cdot \theta_{\min} = 2 \mu\text{m}$
- Microscope $d = 1 \text{ cm}$, $\lambda = 500 \text{ nm}$, $n \cdot \sin \alpha = 1,5$
 $\Rightarrow R = 0,2 \mu\text{m}$ et donc $f = 3,3 \text{ mm}$ et $\theta_{\min} = 61 \mu\text{rad}$
- Intérêt des optiques de **grand diamètre** (téléscopes)
- intérêt des **faibles λ** (rayons X ou γ , ...)
- Intérêt d'un milieu de **n élevé** entre la lame et le microscope

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION (VISION) DUALITE ATOME X RA

RESOLUTION ET NUMERISATION

$R = f \cdot \theta_{\min}$

Théorème d'échantillonnage de Shannon:
 Numérisation sans perte d'information
 \Updownarrow
 Dimension du pixel = $R/2$

Exemple: calcul du diamètre optimal des cônes de la rétine: $2 \mu\text{m}/2 = 1 \mu\text{m}$

Données histologiques :
 Bâtonnets : $2 \mu\text{m}$; Cônes : $1 \text{ à } 3 \mu\text{m}$


Nb: la diffraction n'est pas la seule à limiter la résolution, cf. DFGSM2

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

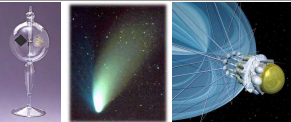
OBJECTIFS DU POINT D'ÉTAPE 4

- **Savoir :**
 - Définir des ondes cohérentes, interférence, diffraction.
 - Évaluer si des interférences sont possibles
 - Calculer un déphasage et une interférence dans des cas simples.
 - Manipuler la relation $\sin \theta_{\min} = N \cdot \lambda / b$
 - en déduire les caractéristiques de résolution angulaire des instruments optiques et les conditions de numérisation.

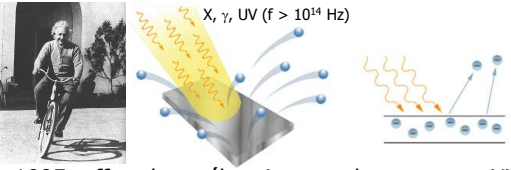
PASS 

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

APPROCHE EXPERIMENTALE




↳ Pression de radiation: lumière ⇒ chocs de particules ?



X, γ , UV ($f > 10^{14}$ Hz)

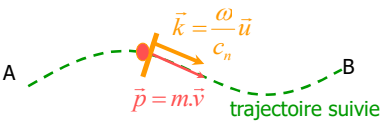
1905: effet photo-électrique seulement avec UV, X ou γ

↳ Lumière = Particules dont l'énergie dépend de f ?

PASS 

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

DUALITE ONDE-CORPUSCULE



$\vec{k} = \frac{\omega}{c_n} \vec{u}$


$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$ trajectoire suivie

Problème : modéliser ensemble les deux caractéristiques de la lumière :

- **ondulatoires :** réflexion, réfraction, diffraction, interférences...
- **corpusculaires :** chocs, effet photo-électrique, effet Compton...

Idée : Modéliser via le principe de moindre action et l'analogie entre :

- **ondulatoire :** surface d'onde / vecteur d'onde \vec{k}
- **corpusculaire :** masse / quantité de mouvement \vec{p}

PASS 

ONDES SON OCM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

PRINCIPES DE MOINDRE ACTION

Aspect ondulatoire: principe de Fermat (1657)

1601-1665

$$C = \int_A^B n \cdot ds \quad \text{chemin optique minimal}$$

$$C = \int_A^B n \cdot ds = \int_A^B \frac{c}{c_n} \cdot ds = \int_A^B \frac{c}{c_n} \frac{\omega}{\omega} \cdot ds = \frac{c}{\omega} \int_A^B \frac{\omega}{c_n} \cdot ds = \frac{c}{\omega} \int_A^B \vec{k} \cdot d\vec{s}$$

car $n = \frac{c}{c_n}$

PASS

ONDES SON OCM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

PRINCIPES DE MOINDRE ACTION

Aspect ondulatoire: principe de Fermat (1657)

1601-1665

$$A = \int_A^B \vec{k} \cdot d\vec{s} \quad \text{minimale}$$

PASS

ONDES SON OCM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

PRINCIPES DE MOINDRE ACTION

Aspect corpusculaire: principe de Maupertuis (1744)

1698-1769

$$A = \int_A^B \vec{p} \cdot d\vec{s} \quad \text{minimale}$$

Justifications :

m et v constants $\Rightarrow \int_A^B \vec{p} \cdot d\vec{s} = \int_A^B m \cdot v \cdot ds = m \cdot v \int_A^B ds = m \cdot v \cdot (s_b - s_a)$

E_k constant $\Rightarrow \int_A^B \vec{p} \cdot d\vec{s} = \int_A^B m \cdot v \cdot ds = \int_A^B m \cdot v \cdot \frac{ds}{dt} dt = \int_A^B m \cdot v^2 dt = 2 \cdot E_k \int_A^B dt = 2 \cdot E_k \cdot (t_b - t_a)$

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

PRINCIPES DE MOINDRE ACTION

$$A = \int_A^B \vec{k} \cdot d\vec{s}$$

$$A' = \int_A^B \vec{p} \cdot d\vec{s}$$

Description ondulatoire et corpusculaire de la lumière
 ⇒ A et A' minimaux ensembles

Il suffit d'avoir \vec{p} et \vec{k} proportionnels : $\vec{p} = \hbar \cdot \vec{k}$

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

RELATION DE LOUIS DE BROGLIE

$$p = \hbar k \Rightarrow p = \hbar \cdot \frac{\omega}{c_n} = \hbar \cdot \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{h}{\lambda}$$

Constante de Planck
 $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$
 $\hbar = h/2\pi$

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Longueur d'onde (m) quantité de mouvement de la particule (kg.m.s⁻¹)
 ONDE ↔ PARTICULE

1892-1987

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

APPLICATION NUMERIQUE

- Sujet de 70 kg se déplaçant à 10 km/h
 $\lambda = \frac{6.62 \cdot 10^{-34}}{70 \cdot 10000/3600} = 3,4 \cdot 10^{-36} \text{ m} \ll 10^{-18} \text{ m (électron)}$
- Électron accéléré sous 100 V
 $\frac{1}{2} m \cdot v^2 = e \cdot V \Rightarrow m^2 \cdot v^2 = 2m \cdot e \cdot V \Rightarrow p = m \cdot v = \sqrt{2 \cdot m \cdot e \cdot V} = 5,4 \cdot 10^{-24} \text{ kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
 $\lambda = \frac{6.62 \cdot 10^{-34}}{5,4 \cdot 10^{-24}} = 1,2 \cdot 10^{-10} \text{ m} \approx \text{dimensions atomiques}$


Donc : comportement ondulatoire (diffraction) des électrons
 Les électrons ⇒ ↑ résolution des microscopes (∝ λ ↓ / d)
 mais ce comportement ne peut pas se manifester pour un humain ...

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

3 CONSEQUENCES DE LA DUALITE O.C

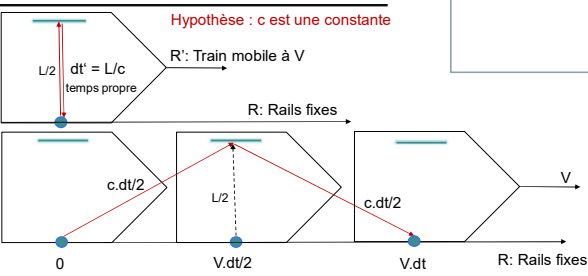
- Relation du quantum d'Einstein
 - Que signifie $\lambda=h/p$ dans le cas d'un photon ($m=0$ mais $p \neq 0$) ?
- Relations d'incertitudes d'Heisenberg
 - Où comment le hasard entre en jeu du fait de la dualité onde-corpuscule
- Quantification des grandeurs physiques
 - Où l'on renonce à la continuité des grandeurs physiques

PASS 

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

RELATIVITE RESTREINTE

Hypothèse : c est une constante




R': Train mobile à V
R: Rails fixes

$$\left(\frac{c \cdot dt}{2}\right)^2 = \left(\frac{V \cdot dt}{2}\right)^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2 \Rightarrow dt^2 \cdot (c^2 - V^2) = L^2 = c^2 \cdot dt'^2 \Rightarrow dt = \frac{c^2 \cdot dt'^2}{c^2 - V^2} = \frac{dt'^2}{1 - \frac{V^2}{c^2}}$$

Exemple: $V = 0.87c \Rightarrow \gamma = 2$
Si vue de l'intérieur du train, l'horloge bat toutes les ns ($dt=L/c=10^{-8}$ s), alors elle bat 2 fois plus lentement ($dt=2$ ns), vue du sol.

$dt = \frac{dt'}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} = \gamma \cdot dt'$ où $\gamma \geq 1$

PASS 

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

IMPULSION & ENERGIE EN RELATIVITE

$p = m \frac{dr}{dt} = m \frac{dr}{dt} \frac{dt}{dt} = m \frac{dr}{dt} \gamma \Rightarrow p = \gamma \cdot m \cdot V$ où $\frac{dt}{dt'} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} = \gamma$

En particulier, $V = c \Rightarrow m = 0$

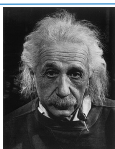
de plus, comme $(1 - \epsilon)^x \approx (1 - n \cdot \epsilon)$

$$\gamma \cdot mc^2 = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} = mc^2 \left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \approx mc^2 \left(1 + \frac{V^2}{2c^2}\right) = mc^2 + \frac{1}{2} mV^2 = E$$


Donc, en généralisant : $E = \gamma \cdot mc^2$

$E = \gamma \cdot mc^2 = \frac{p}{V} \cdot c^2 = p \cdot c$ si $V = c$ donc $m = 0 \Rightarrow E = p \cdot c$

A Einstein
1879-1955



Remarque, plus généralement : $E^2 = \gamma^2 m^2 c^4 = m^2 c^4 (1 + \gamma^2 \frac{V^2}{c^2}) = m^2 c^4 (1 + \frac{1}{1 - \frac{V^2}{c^2}}) = m^2 c^4 (1 + \frac{V^2}{c^2 - V^2}) = m^2 c^4 (1 + \gamma^2 \frac{V^2}{c^2}) \Rightarrow E^2 = m^2 c^4 + m^2 c^2 \gamma^2 V^2 \Rightarrow E^2 = m^2 c^4 + p^2 c^2$

PASS 

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

RELATION DU QUANTUM

Pour une particule (PHOTON) associée à une onde électromagnétique se déplaçant à la célérité de la lumière c :

$$M = \frac{m_{\text{repos}}}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \text{ donc } V = c \Rightarrow m_{\text{repos}} = 0$$

$$m_{\text{repos}} = 0 \Rightarrow E = p.c$$

La relation de L. de Broglie s'écrit dans ce cas particulier :

$$p = \frac{h}{\lambda} \Rightarrow E = \frac{hc}{\lambda} = hf = \hbar.\omega \quad \hbar = \frac{h}{2\pi}$$

E : énergie du photon
 ω, f et λ: pulsation, fréquence et longueur de l'OEM associée
 c: célérité des OEM dans le vide;
 h: constante de Planck, ħ: constante de Planck réduite

PASS

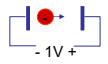
ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

RELATION DU QUANTUM

$$E = \frac{hc}{\lambda} = hf = \hbar.\omega \quad \text{où } \hbar = \frac{h}{2\pi}$$

Électron-volt = énergie acquise par un électron accéléré sous 1 V :

E = q.V où q=e et V=1
 1 eV = 1,602.10⁻¹⁹ J



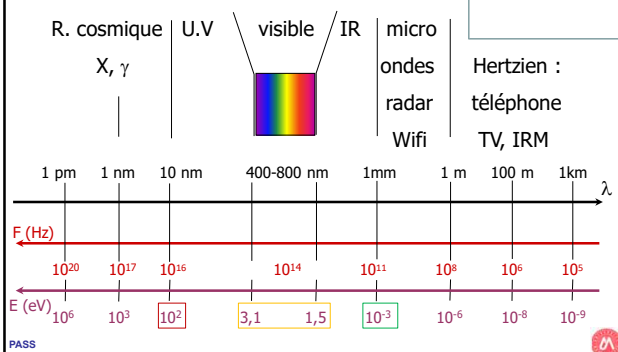
$$E(\text{eV}) = \frac{hc}{e.\lambda(\text{nm}).10^{-9}} \Rightarrow E(\text{eV}) = \frac{6,626.10^{-34}.2,998.10^8}{1,602.10^{-19}.\lambda(\text{nm}).10^{-9}} \quad E(\text{eV}) = \frac{1240}{\lambda(\text{nm})}$$

Attention: cette relation ne s'applique pas aux particules de masses au repos non nulles

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

CLASSIFICATION SIMPLIFIEE



The chart shows the following ranges and values:

- R. cosmique:** X, γ
- U.V:** 10 nm to 400 nm
- visible:** 400-800 nm
- IR:** 800 nm to 1 mm
- micro ondes:** 1 mm to 1 m
- radar:** 1 m to 100 m
- Wifi:** 100 m to 1 km
- Hertzien:** 1 km to 1000 km
- téléphone:** 1000 km to 10000 km
- TV, IRM:** 10000 km to 100000 km

Frequency (F) and Energy (E) values are also indicated for each region.

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

RETOUR SUR LA DIFFRACTION

La même figure d'interférences est enregistrée sur une plaque photographique lorsque les photons sont émis un par un

Interprétation ?

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

RETOUR SUR LA DIFFRACTION

Incertitude sur la position du photon : $\Delta x = b$
 Incertitude sur l'impulsion du photon : $\Delta p_x = p \cdot \sin \theta$
 si θ petit et $D \approx 1 \text{ m}$, alors $p \cdot \sin \theta \approx p \cdot \theta \approx p \cdot \lambda / b$
 Alors $\Delta x \cdot \Delta p_x \approx b \cdot p \cdot \lambda / b = p \cdot \lambda = h \approx h / 2\pi$

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

RETOUR SUR LA DIFFRACTION

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar \neq 0$$

L'incertitude sur la direction de diffraction de l'OEM se retrouve dans l'impossibilité de connaître avec une absolue précision à la fois la position et l'impulsion du photon

PASS

RELATIONS D'INCERTITUDE D'HEISENBERG

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar$$

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$$

ΔE : énergie échangée lors d'une interaction de durée Δt



1901-1976

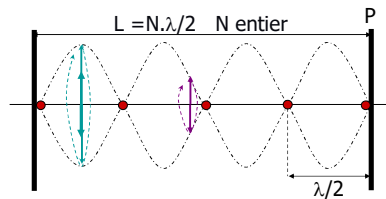
Pour calculer une trajectoire à partir de la relation fondamentale de la dynamique ($\Sigma F = ma$), il faut connaître exactement les positions et impulsions initiales, ce qui n'est pas le cas.

Donc, il n'y a pas de trajectoire définie à l'échelle des particules élémentaires, mais seulement des probabilités de présence p

PASS



QUANTIFICATION



Dualité Onde-particule \Rightarrow L. d'onde $\lambda = 2 \cdot L / N$ quantifiée
 \Rightarrow fréquence $f = c / \lambda = N \cdot c / (2L)$ quantifiée
 \Rightarrow Énergie = $hf = N \cdot h \cdot c / (2L)$ quantifiée

Les grandeurs physiques ne varient pas continûment, mais par multiples d'une grandeur élémentaire: elles sont **quantifiées**.

PASS



OBJECTIFS DU POINT D' ÉTAPE 5

- **Savoir expliquer** pourquoi une modélisation duale ondulatoire et corpusculaire entraîne :
 - $\lambda = h/p$ et $E = hc / \lambda$ pour les particules de masses nulles
 - $\Delta x \cdot \Delta p_x$ borné inférieurement et la perte du concept de trajectoire
 - La quantification des grandeurs physiques
- **Savoir manipuler** :
 - Les relations $\lambda = h/p$ et $E = hc / \lambda$
 - Et les conséquences de $E = hc / \lambda$ sur la classification des REM
- **Connaître**: les ordres de grandeur limites en énergie des photons :
 - (X, γ) : $E > 10\text{-}100$ eV ; (visible) : $E = 1\text{-}3$ eV; (Hertzien) : $E < 1$ meV

PASS



ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

A VOUS DE JOUER...

Allez sur wooclap.com et utilisez le code **ONDESMATIERE**

Le défaut de masse par nucléon.

- 1 est une partie du défaut de masse par nucléon des nucléons, sans compter dans les forces atomiques. 0% 0 👤
- 2 est en lien avec la stabilité des noyaux. 0% 0 👤
- 3 Cliquez sur l'écran projeté pour lancer la question. 0% 0 👤
- 4 est l'énergie par nucléon qui est due à la force de liaison entre les nucléons. 0% 0 👤
- 5 permet d'expliquer pourquoi les réactions de fusion nucléaire libèrent de l'énergie. 0% 0 👤

wooclap 0 / 0

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

OBJECTIFS DU POINT D'ÉTAPE 6

- **Savoir définir :**
 - 4 interactions + hadrons (p,n) + leptons (e, ν)
 - Le modèle de Rutherford et ses limites
 - Isotope, isotone, isobare
- **Savoir manipuler**
 - Les unités atomiques de masse et d'énergie
 - Le défaut de masse ΔM

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

MODELE ATOMIQUE DE BOHR

- Dualité onde-électron ⇒ quantification
- Quantification : $2\pi r = n\lambda$

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

$2\pi r = k \frac{\lambda}{2}$
k entier impair

$2\pi r = n\lambda$
k = 2.n

hydrogénoïde : 1e⁻

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

MODELE ATOMIQUE DE BOHR

- Dualité onde-électron \Rightarrow quantification
- Quantification : $\lambda = \frac{h}{mv}$ $\left\{ \begin{array}{l} \Rightarrow 2\pi r = \frac{nh}{mv} \\ \Rightarrow mv r = nh \text{ où } h = \frac{h}{2\pi} \end{array} \right.$
- D'où la **quantification du Mⁱ cinétique** de l'e⁻ : $\|\vec{L}\| = \|\vec{p} \wedge \vec{r}\| = mv r = nh$ avec $n = 1, 2, \dots$

hydrogénoïde : 1e⁻

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

MODELE ATOMIQUE DE BOHR

- Dualité onde-électron \Rightarrow quantification
- Quantification : $\lambda = \frac{h}{mv}$ $\left\{ \begin{array}{l} \Rightarrow 2\pi r = \frac{nh}{mv} \\ \Rightarrow mv r = nh \text{ où } h = \frac{h}{2\pi} \end{array} \right.$
- D'où la **quantification du Mⁱ cinétique** de l'e⁻ : $\|\vec{L}\| = \|\vec{p} \wedge \vec{r}\| = mv r = nh$ avec $n = 1, 2, \dots$
- RFD : $\frac{k}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow (mv)^2 = \frac{km}{r}$ $\left\{ \begin{array}{l} r = n^2 \frac{h^2}{km} = n^2 r_0 \\ r_0 = \frac{0,53}{Z} 10^{-10} m \end{array} \right.$

mais $(mv)^2 = \left(\frac{nh}{r}\right)^2$

quantification de rayon orbital

hydrogénoïde : 1e⁻

$k = \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0} = 2,3 \cdot 10^{-28} Z$

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

MODELE ATOMIQUE DE BOHR

- Energie cinétique de l'e⁻ : $E_c = \frac{1}{2} mv^2$ $\left\{ \begin{array}{l} RFD \Rightarrow (mv)^2 = \frac{km}{r} \\ \Rightarrow E_c = \frac{k}{2r} \end{array} \right.$
- Energie potentielle de l'e⁻ : $E_p = -eV = -\frac{k}{r}$
 - En prenant $E_p(\infty) = 0$: $V = \frac{Ze}{4\pi\epsilon_0 r}$

hydrogénoïde : 1e⁻

$k = \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0} = 2,3 \cdot 10^{-28} Z$

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

MODELE ATOMIQUE DE BOHR

- Energie cinétique de l'e⁻ :

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

$$RFD \Rightarrow (mv)^2 = \frac{km}{r} \Rightarrow E_c = \frac{k}{2r}$$
- Energie potentielle de l'e⁻ : $E_p = -eV = -\frac{k}{r}$
 - En prenant $E_p(\infty)=0$
- Energie de l'électron : $E = E_c + E_p = -\frac{k}{2r}$

$$r = n^2 \frac{\hbar^2}{km} \Rightarrow E = -\frac{m}{2} \left(\frac{k}{\hbar} \right)^2 \frac{1}{n^2} \Rightarrow E = -\frac{me^4 Z^2}{8\hbar^2 \epsilon_0^2 n^2}$$

$$E(eV) = -13,6 \frac{Z^2}{n^2}$$

hydrogénoïde : 1e⁻

$k = \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0} = 2,3 \cdot 10^{-28} Z$

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

MODELE ATOMIQUE DE BOHR

Pour un atome hydrogénoïde (i.e à un électron)

$E_1(eV) = -13,6 Z^2$

$E_2(eV) = -\frac{13,6}{4} Z^2$

$E_3(eV) = -\frac{13,6}{9} Z^2$

$E_\infty = 0$

$E_n(eV) = -13,6 \frac{Z^2}{n^2}$

N. Bohr

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

MODELE ATOMIQUE DE BOHR

Pour un atome à plus d'un électron (Z=1)

EFFET D'ÉCRAN :
la charge du noyau « vue » par l'électron périphérique semble diminuée de $\sigma \cdot e$


$$E_{n,\sigma}(eV) = -13,6 \frac{(Z-\sigma)^2}{n^2}$$

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

LIMITES DU MODELE DE BOHR

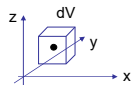
- Le modèle de Bohr est semi-classique
 - est validé expérimentalement sur ^1H pour $E_n(\text{eV}) = -13,6/n^2$, mais pas pour $\|\vec{L}\| = n\hbar$
 - notion de «trajectoire» de l'électron incohérente
- Du fait des inégalités d'Heisenberg :
 - pas de trajectoires
 - seulement des probabilités de présence de l'e⁻
- Comment déterminer cette probabilité p ? :
 - hypothèse: p liée à une fonction ψ associée à l'e⁻

PASS 

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

FONCTION D'ONDE ET EQUATION DE SCHRODINGER


- Interprétation de Copenhague (M. Born, 1926) :
La fonction d'onde ψ d'une particule détermine sa probabilité de présence en un lieu dV à l'instant t : $p = |\psi(x, y, z, t)|^2 dV$




- On montre que cette fonction ψ est solution de l'équation différentielle suivante :

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi(t, x)}{\partial x^2} + V \cdot \psi = E \cdot \psi$$

Equation de Schrödinger



E Schrödinger
1887-1961

PASS 

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

UNE APPROCHE DE L'EQUATION DE SCHRODINGER

Si on recherche ψ sous la forme d'une OPS $\psi(t, x) = \sin[\omega t - k \cdot x]$ dont les caractéristiques (ω, k) sont liées à celles d'une particule (E, p) par les relations de dualité: $E = \hbar \cdot \omega$ et $p = \hbar \cdot k$

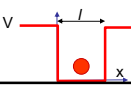
$$\psi(t, x) = \sin[\omega t - k \cdot x] = \sin\left[\frac{1}{\hbar}(Et - p \cdot x)\right]$$


$$\Rightarrow \frac{\partial^2 \psi(t, x)}{\partial x^2} = -\frac{p^2}{\hbar^2} \psi(t, x) \Rightarrow -\frac{\hbar^2}{p^2} \frac{\partial^2 \psi(t, x)}{\partial x^2} = \psi$$

$$p^2 = (mv)^2 = 2m \left(\frac{1}{2}mv^2\right) = 2m(E - V) \Rightarrow -\frac{\hbar^2}{2m(E - V)} \frac{\partial^2 \psi(t, x)}{\partial x^2} = \psi$$

$$\Rightarrow -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi(t, x)}{\partial x^2} + V \cdot \psi = E \cdot \psi \Rightarrow \psi \Rightarrow p = |\psi(x, y, z, t)|^2 dV$$

*Attention: bien différencier ψ (densité de probabilité) de l'OEM (E, B) associée au photon

Exemple:  $\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin\left(n \frac{\pi x}{l}\right)$ et $E_n = \frac{\hbar^2}{8ml^2} n^2$

PASS 

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

OBJECTIFS DU POINT D'ÉTAPE 7


- **Connaître et savoir manipuler :**
 - Le modèle de Bohr-Sommerfeld
 - Remplissage des couches électroniques
 - Les énergies des électrons atomiques (hydrogénoïdes)

$$E_{n,l}(\text{eV}) = -13,6 \cdot \frac{(Z - \sigma(n,l))^2}{n^2}$$
 - Les énergies d'ionisation, d'excitation, de fluorescence :

$$E_{n,l}^i = -E_{n,l}$$

$$E_{n,l}^{n,l} = |E_{n,l} - E_{n,l}|$$

$$hf = E_{n,l}^{n,l} = |E_{n,l} - E_{n,l}|$$
 - Les niveaux d'énergie des nucléons

PASS 

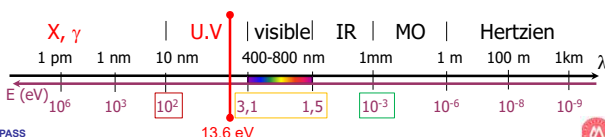
ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA


RAYONNEMENTS IONISANTS

Rayonnement ionisant, définition :

capable d'ioniser l'électron K de l'hydrogène.
 Une particule est dite ionisante si son énergie dépasse **13,6 eV**

mais, les **énergies moyennes** d'ionisation sont plus élevées :
 Dans l'eau : 32 eV
 Dans l'air : 34 eV



PASS 

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA


RAYONNEMENTS IONISANTS

Rayonnement ionisant, définition :

capable d'ioniser l'électron K de l'hydrogène.
 Une particule est dite ionisante si son énergie dépasse **13,6 eV**

mais, les **énergies moyennes** d'ionisation sont plus élevées :
 Dans l'eau : 32 eV
 Dans l'air : 34 eV

Les particules ionisantes d'intérêt en santé sont :
 Les neutrons, protons, électrons, alpha d'énergie > 13,6 eV et leurs antiparticules
 Les photons X et γ

PASS 

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

RAYONNEMENTS IONISANTS

• INCONVENIENT :
 Ils peuvent briser des liaisons covalentes, donc produire des radicaux libres qui sont très réactifs peuvent dénaturer des molécules.
 Énergie moyenne d'une ionisation de l'eau : 32 eV

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

RAYONNEMENTS IONISANTS

• AVANTAGE :
 Ils peuvent être utilisés pour irradier des cellules pathologiques (cancers, Hyperthyroïdie...).

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

PHOTONS IONISANTS

• AVANTAGE :
 Les photons ionisants peuvent traverser la matière, donc permettre de sonder l'intérieur d'un organisme

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA
PRODUCTION DE RAYONS X

- Dé-excitation d'électrons atomiques
 - **Fluorescence**, effet Auger, conversion interne
- Freinage d'électrons (bremsstrahlung)

$E_{\phi} = hf = \frac{hc}{\lambda} = |E_{n',l'} - E_{n,l}|$

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA
PRODUCTION DE RAYONS X

- Dé-excitation d'électrons atomiques
 - Fluorescence, **effet Auger**, conversion interne
- Freinage d'électrons (bremsstrahlung)

⊙ DE-EXCITATION & EMISSION D'UN QUANTUM

⊙ IONISATION OU EXCITATION D'UN ELECTRON AUGER

⊙ FLUORESCENCE X

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA
PRODUCTION DE RAYONS X

- Dé-excitation d'électrons atomiques
 - Fluorescence, effet Auger, **conversion interne**
- Freinage d'électrons (Bremsstrahlung)

⊙ EMISSION D'UN QUANTUM PAR LE NOYAU (CF. RADIOACTIVITE)

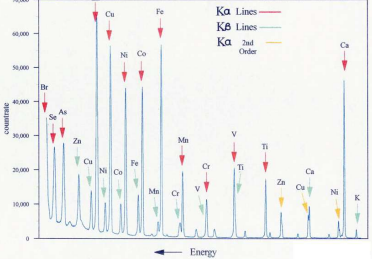
⊙ IONISATION OU EXCITATION

⊙ FLUORESCENCE X

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA
PRODUCTION DE RAYONS X

- Dé-excitation d'électrons atomiques
 - Fluorescence, effet Auger, **conversion interne**
- Freinage d'électrons (Bremsstrahlung)

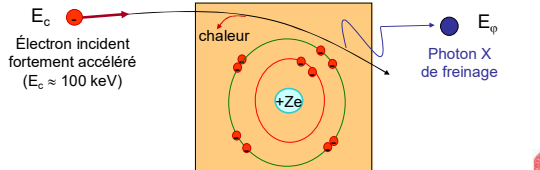


Dans tous les cas donc, on observera un **spectre discret** de fluorescence permettant d'analyser la composition atomique massive d'un échantillon

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA
PRODUCTION DE RAYONS X

- Dé-excitation d'électrons atomiques
- Freinage d'électrons (bremsstrahlung)
 - Particule chargée décélérée par interaction électrostatique avec noyaux de la cible: émission d'un REM
 - Energie rayonnée $\propto a^2 \propto (Ze^2/mr^2)^2$ donc importante pour les e^-
 - La fraction de l' $E_c(e^-)$ rayonnée augmente avec $E_c(e^-)$ et Z^2 (le reste de l' $E_c(e^-)$ perdue l'est sous forme d'excitations et de chaleur)



E_c Électron incident fortement accéléré ($E_c \approx 100$ keV)

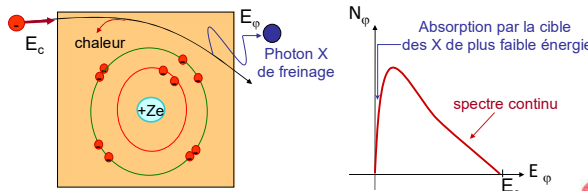
chaleur

E_ϕ Photon X de freinage

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA
PRODUCTION DE RAYONS X

- Dé-excitation d'électrons atomiques
- Freinage d'électrons (bremsstrahlung)
 - L' $E_c(e^-)$ peut être intégralement fournie à un unique photon ($E_\phi = E_c$), ou fournie à plusieurs photons et perdue en partie sous forme de chaleur, d'où un **spectre continu** de rayonnement ($0 < E_\phi < E_c$)



E_c Électron incident fortement accéléré ($E_c \approx 100$ keV)

chaleur

E_ϕ Photon X de freinage

Absorption par la cible des X de plus faible énergie

spectre continu

N_ϕ

E_ϕ

E_c

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

PRODUCTION DE RAYONS X

- Dé-excitation d'électrons atomiques
- Freinage d'électrons (bremsstrahlung)
 - L' $E_c(e^-)$ peut être intégralement fournie à un unique photon ($E_\phi = E_c$), ou fournie à plusieurs photons et perdue en partie sous forme de chaleur, d'où un spectre continu de rayonnement ($0 < E_\phi < E_c$)
 - Ionisations au sein de la cible \Rightarrow photons de fluorescence en sus

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

PRODUCTION DE RAYONS X

- Dé-excitation d'électrons atomiques
- Freinage d'électrons (bremsstrahlung)
 - Applications : Le tube à rayons X des appareils de radiologie et les ostéodensitomètres bi-photoniques (DEXA).

W. Röntgen 1845-1923 22/12/1695

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

A VOUS DE JOUER...

Allez sur wooclap.com et utilisez le code **ONDESMATIERE**

Parmi les rayonnements suivants, lesquels sont ionisants ?

- un rayonnement de fluorescence de longueur d'onde 0,03 nm 0% 0
- un rayonnement de fluorescence de longueur d'onde 1 nm 0% 0
- un rayonnement de freinage de longueur d'onde 100 keV Cliquez sur l'écran projeté pour lancer la question 0% 0
- une onde radio de longueur d'onde 100 m 0% 0
- un rayonnement visible de longueur d'onde 400 nm 0% 0

wooclap 0 / 0

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA


OBJECTIFS DU POINT D'ÉTAPE 8

Savoir définir et caractériser :

- Un rayonnement ionisant ($E > 13,6 \text{ eV}$; $\lambda < 91 \text{ nm}$)
- L'énergie moyenne d'ionisation de l'eau (32 eV)
- La dangerosité des rayonnements ionisants
 ⇒ radicaux libres non spécifiques ⇒ altération de protéines
- L'intérêt des rayonnements ionisants
 Thérapie, photons pénétrants (imagerie médicale)

Connaître, savoir caractériser et manipuler :


- Les modes de production des rayons X
 Transitions électroniques et freinage
- Les spectres associés à ces phénomènes
- Les utilisations associés (tube à rayons X)

PASS 

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

DESINTEGRATIONS RADIOACTIVES


- **Transformation d'un noyau « père » X en un noyau « fils » Y :** ${}^A_Z X \rightarrow {}^A_Z Y + \text{particules}$
- Si noyau instable : $Z \neq N=A-Z$ ou $Z \geq 84$
- À condition :
 - D'un bilan énergétique positif : $E_d \geq 0$
 - De la **conservation de la charge, de l'impulsion...**
- 50 isotopes radioactifs naturels (périodes longues)
- tous les isotopes artificiels sont radioactifs

PASS 

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

DESINTEGRATIONS RADIOACTIVES

- Classement par interaction impliquée
 - **Interaction forte :** radioactivité alpha (α)
 - **Interaction faible :**
 - » radioactivité bêta (β)
 - » capture électronique
 - **Interaction EM :**
 - » radioactivité gamma (γ)
 - » conversion interne
 - » création de paires
- Loi de décroissance radioactive

PASS 

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

RADIOACTIVITE ALPHA

- Emission d'un noyau d'hélium :

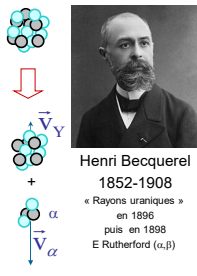
$${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} Y + {}^4_2 \text{He}$$
- Energie disponible :

$$E_d = M(X).c^2 - [M(Y) + M(\alpha)].c^2$$

$$E_d = [M(X) - M(Y) - M(\alpha)].c^2$$

$$E_d = [\mathcal{M}(X) - Z.m_e - \mathcal{M}(Y) + (Z-2).m_e - \mathcal{M}(\alpha) + 2.m_e].c^2$$

$$E_d = \mathcal{M}(X).c^2 - [\mathcal{M}(Y) + \mathcal{M}(\alpha)].c^2$$
 avec $\mathcal{M}({}^A_Z X) = M({}^A_Z X) + Z.m_e$: masse atomique
 et $M({}^A_Z X)$ masse nucléaire
- $E_d \geq 0 \Rightarrow A > 150$: concerne les isotopes lourds



Henri Becquerel
1852-1908
« Rayons Uraniques »
en 1896
puis en 1898
E Rutherford (α,β)

PASS

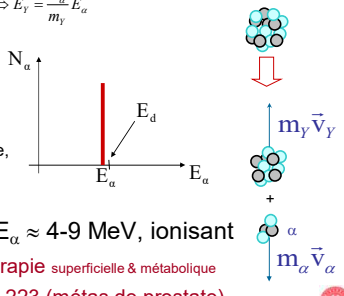
ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

RADIOACTIVITE ALPHA

- Spectre de raie unique (approximation) :

$$m_\alpha v_\alpha = m_Y v_Y \Rightarrow (m_\alpha v_\alpha)^2 = (m_Y v_Y)^2 \Rightarrow E_Y = \frac{m_\alpha}{m_Y} E_\alpha$$

$$E_d = E_Y + E_\alpha = E_\alpha \left(1 + \frac{m_\alpha}{m_Y} \right)$$
 donc : $E_\alpha = \frac{m_Y}{m_Y + m_\alpha} E_d$
 Énergie des α unique, précise,
 et de peu inférieure à E_d
- Ordre de grandeur : $E_\alpha \approx 4-9$ MeV, ionisant
- Applications : radiothérapie superficielle & métabolique
Radium 223 (métas de prostate)



PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

RADIOACTIVITE PAR INTERACTION FAIBLE

- Transformations isobariques : même A
 - $Z > N = A - Z \Rightarrow$ proton \rightarrow neutron
 - $Z < N = A - Z \Rightarrow$ neutron \rightarrow proton
- 3 types de radioactivité isobarique :
 - radioactivité bêta moins
 - radioactivité bêta plus
 - capture électronique

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

CAPTURE ELECTRONIQUE

- Capture d'un électron atomique K par un noyau riche en protons :
 - En compétition avec β^+

$${}^A_Z X + {}^0_{-1} e_K^- \rightarrow {}^A_{Z-1} Y + {}^0_0 \nu$$

$${}^1_1 p + {}^0_{-1} e_K^- \rightarrow {}^1_0 n + {}^0_0 \nu$$

- Energie disponible :

$$E_d = [M(X) + m_e - M(Y)]c^2 - E_K^i$$

$$E_d = [\mathcal{M}(X) - \mathcal{M}(Y)]c^2 - E_K^i$$

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

CAPTURE ELECTRONIQUE

- Il s'ensuit l'émission de photons X de fluorescence caractéristiques de l'atome fils Y
- Application : dosage de protéines par Radio-Immuno-Array (RIA) via un comptage X
 - Application : comptage à 35 keV pour de ${}^{125}\text{I}$ fixée sur la molécule à doser.

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

RADIOACTIVITE PAR INTERACTION EM

Il en existe 3 modes :

- Radioactivité gamma (γ)
- Conversion interne
- Création de paires

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA
RADIOACTIVITE GAMMA (Villard 1900)

• Emission d'un **photon** :

$${}^A_Z X^m \rightarrow {}^A_Z X + {}^0_0 \gamma$$

• Energie disponible :

$$E_d \approx E_\gamma = hf = \frac{hc}{\lambda} = [M({}^A_Z X^m) - M({}^A_Z X)]c^2$$

• Spectre **de raies**

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA
RADIOACTIVITE GAMMA

• Applications : le technétium 99m

$${}^{99m}_{43} Tc \xrightarrow{\gamma} {}^{99}_{43} Tc + {}^0_0 \gamma$$

– source : ${}^{99}_{42} Mo \xrightarrow{\beta^-} {}^{99}_{43} Tc^m + {}^0_{-1} e^- + \bar{\nu}$

142,6 keV
 0 keV

142,6 keV 1,4%
 140,5 keV 88,6% 6,03 hr
 2,1 keV 10%

Scintigraphie d'émission mono-photonique :
 Single Photon Emission Computed Tomography

• D'autres isotopes sont utilisés (${}^{123}_{53} I$, ${}^{131}_{53} I$, ${}^{81}_{36} Kr$, ${}^{111}_{49} In$, ${}^{201}_{81} Tl$...)

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA
RADIOACTIVITE GAMMA (SPECT)

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA
 AUTRES RADIOACTIVITES PAR INTERACTION EM

• Conversion interne Création de paires
 Si $E_d > 1,02 \text{ MeV}$

2 photons γ de 511 keV (annihilation du e^+)
 + fluorescence X du fait des ionisations de l' e^- et du e^+

spectre de raies de fluorescence X

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA
 A VOUS DE JOUER...

Allez sur [wooclap.com](https://www.wooclap.com) et utilisez le code **ONDESMATIERE**

Une réaction radioactive...

- 1) Vient posséder une énergie de repos de l'ordre de 0% 0 👤
- 2) Vient posséder à partir d'un processus inverse, un spectre de raies spectrales identiques aux radioactifs 0% 0 👤
- 3) Vient posséder un nombre A et Z de type (beta +) 0% 0 👤
- 4) Vient posséder une direction ou deux positions d'énergie bien déterminées 0% 0 👤
- 5) Vient posséder des photons d'énergie exactement 511 keV 0% 0 👤
- 6) gamma, produit des photons d'énergie bien déterminés 0% 0 👤

wooclap 0 / 0

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA
 OBJECTIFS DU POINT D'ÉTAPE 9

Pour chaque réaction radioactive :

Savoir définir et caractériser

- La transformation nucléaire (équation de réaction)
- Le type (α, β, γ) et le mode ($\beta^+, \beta^-, \text{CE}, \text{CI}, \text{CP}$)
- Les conditions nécessaires à une désintégration
- Le spectre
- Les applications dans les domaines de la santé

Savoir calculer et exploiter :

- Le bilan énergétique d'une réaction (E_d)
- L'allure du spectre

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

LOI DE DECROISSANCE RADIOACTIVE

Processus aléatoire suivant une loi de Poisson : $\sigma^2 = \bar{C}$

$C \in [\bar{C} - \sqrt{\bar{C}}, \bar{C} + \sqrt{\bar{C}}]$
 $p = 68,3\%$

$\frac{S}{B} = \frac{\bar{C}}{\sigma} = \sqrt{\bar{C}}$

$\bar{C} = 10$
 $\sqrt{\bar{C}}$

« tirage au sort » suivant P

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

LOI DE DECROISSANCE RADIOACTIVE

Le taux de comptage est 5 fois plus élevé sur l'image de gauche, donc le rapport S/B est plus de 2 fois meilleur ($\sqrt{5} = 2,24$)

$\frac{S}{B} = \sqrt{\bar{C}}$ est multiplié par 2,24

12 cm/min 60 cm/min

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

LOI DE DECROISSANCE RADIOACTIVE

- N_0 = nombre initial de noyaux radioactifs
- $N(t)$ = nombre de noyaux non encore désintégrés à t
- λ = probabilité qu'un isotope se désintègre/sec

$$\lambda = -\frac{dN/N}{dt}$$

$dN = -\lambda N dt \Rightarrow \frac{dN}{N} = -\lambda dt$
 en intégrant : $\ln N = -\lambda.t + K$
 soit $N(t) = e^{-\lambda t + K} = e^K e^{-\lambda t}$
 or $N(0) = N_0$, donc :

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

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

LOI DE DECROISSANCE RADIOACTIVE

$N(t) = N_0 e^{-\lambda \cdot t}$

$T = \frac{\ln 2}{\lambda} \approx \frac{0,69}{\lambda}$

$N(t) = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T} \cdot t}$

$N(t) = \frac{N_0}{2^{\frac{t}{T}}}$

Période : durée moyenne nécessaire à la désintégration de la moitié des noyaux d'un échantillon

$N(T) = \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda \cdot T} \Rightarrow \ln 2 = \lambda \cdot T \Rightarrow T = \frac{\ln 2}{\lambda}$

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

LOI DE DECROISSANCE RADIOACTIVE

$T = \frac{\ln 2}{\lambda} \approx \frac{0,69}{\lambda}$

$N(t) = \frac{N_0}{2^{\frac{t}{T}}}$

Dix périodes sont nécessaires pour diminuer le nombre de noyaux radioactifs d'un facteur supérieur à 1000 ($2^{10}=1024$)

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

LOI DE DECROISSANCE RADIOACTIVE

Vie moyenne τ d'un isotope avant désintégration:

$$\tau = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} t \cdot dN = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} t \cdot \lambda N dt = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} t \cdot \lambda N_0 e^{-\lambda t} dt$$

$$\tau = \lambda \int_0^{\infty} t \cdot e^{-\lambda t} dt$$

Par parties* : $\int_0^{\infty} t \cdot e^{-\lambda t} dt = \left[t \cdot \frac{e^{-\lambda t}}{-\lambda} \right]_0^{\infty} - \int_0^{\infty} \left(-\frac{1}{\lambda} e^{-\lambda t} \right) dt = \frac{1}{\lambda} \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \left[\frac{e^{-\lambda t}}{-\lambda} \right]_0^{\infty} = \frac{1}{\lambda^2}$

Donc : $\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{\ln 2} \approx 1,4 \cdot T$

Pour le : ${}^{99}_{43}\text{Tc}^m$: $\tau \approx 8,7 \text{ h}$

PASS car $[uv] = \int d(u \cdot v) = \int v \cdot du + u \cdot dv \Rightarrow \int u \cdot dv = [uv] - \int v \cdot du$

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

ACTIVITE

- **Activité** = nombre de désintégrations par seconde au sein d'un échantillon
- Unité SI: **Becquerel (Bq)** : 1 Bq = désintégration/sec.
- Autre unité: **curie (Ci)** : 1 mCi = 37 MBq

$$A(t) = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \left| \frac{d}{dt} N_0 e^{-\lambda t} \right| = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

- donc l'activité est proportionnelle à N(t), nombre de noyaux non encore désintégrés :

$$A(t) = \lambda \cdot N(t)$$

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

FILIATIONS RADIOACTIVES

$${}^{99}_{42}\text{Mo} \xrightarrow{\beta^-} {}^{99}_{43}\text{Tc}^m + {}^0_{-1}e^- + {}^0_0\nu$$

$${}^{99}_{43}\text{Tc}^m \xrightarrow{\gamma} {}^{99}_{43}\text{Tc} + {}^0_0\gamma$$

$T_1 = 66h$ $T_2 = 6h$

Équilibre séculaire ou de régime :
 ≈ 1 désintégration de ⁹⁹Mo pour chaque désintégration de Tc^m.
 Le Mo « impose » sa période

PASS

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA

A VOUS DE JOUER...

Allez sur [wooclap.com](https://www.wooclap.com) et utilisez le code **ONDESMATIERE**

En guise de synthèse finale, quelques items issus des concours antérieurs...

- 1 Dans un équilibre séculaire, la radioactivité de l'échantillon père est toujours toujours comprise un temps plus de l'échantillon fils une période plus courts. 0% 0 👤
- 2 Une onde électromagnétique dans le vide se propage avec une vitesse constante, indépendamment de sa fréquence, dans une période. 0% 0 👤
- 3 Cliquez sur l'écran projeté pour lancer la question. 0% 0 👤
- 4 Dans un condensateur plan, le champ électrique du pôle est toujours homogène, à la valeur de sa charge. 0% 0 👤
- 5 L'inductif d'un électroaimant réactor dépend de la présence du fer. 0% 0 👤

wooclap 0 / 0

ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA


OBJECTIFS DU POINT D'ÉTAPE 10

Savoir :

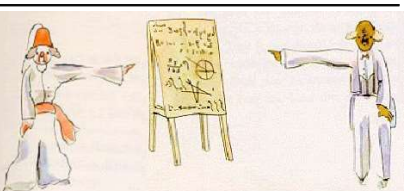
- Définir une statistique de Poisson
Aléatoire, sans mémoire, stationnaire, rare
- L'associer aux désintégration radioactives
- Caractériser sa variance = moyenne
- Caractériser un équilibre séculaire

Savoir manipuler et utiliser :

- Les taux de comptages en scintigraphie ($S/B = \sqrt{N}$)
- La loi de décroissance : $N(t) = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 \cdot 2^{-t/T}$
- Les définitions de λ , T , τ .
- L'activité en Bq : $A(t) = \lambda \cdot N(t)$

PASS 


ONDES SON OEM PROPAGATION(VISION) DUALITE ATOME X RA



Si vous avez la curiosité d'approfondir un peu ce cours, je vous conseille un ouvrage remarquablement bien adapté à l'étude de la physique pour des professionnels de santé :

Physique pour les sciences de la vie (tome 1: la physique et ses méthodes; tome 2: la matière; tome 3: les ondes)
A. Bouyssy, M. Davier, B. Gatty.
DIA Université. Belin, 1988.

Je vous remercie pour votre attention
et vous souhaite tout le courage nécessaire pour la suite de l'année

PASS Ce cours est disponible toute l'année sur <http://scintil.umontpellier.fr/enseignements/cours/> 

COMPLEMENTS ET EXERCICES

ANNEXE 1 et 2 - Rappels d'enseignements de lycée.

ANNEXE 3 – Exercice élémentaire de manipulation des équations de Maxwell pour caractériser le champ électromagnétique.

ANNEXE 4 – Calcul (hors programme) d'une onde diffractée.

ANNEXE 5 – Exercice utile de manipulation de l'équation du dioptre sphérique permettant d'étendre cette dernière à une lentille mince.

PASS

ANNEXE 1

RAPPEL: FONCTION SINUS $f(t) = \sin(\omega \cdot t)$

Rappels

$$f(t) = \sin(\omega \cdot t)$$

$$= \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$$

$$= \sin\left(2\pi \cdot \frac{t}{T}\right)$$

avec par définition :

$$\omega = 2\pi \cdot f = \frac{2\pi}{T}$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$$

ω (rad.s⁻¹) = pulsation propre = $2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi / T$
 f (Hertz = Hz = s⁻¹) : fréquence
 T (s) : période (temporelle)

PASS

ANNEXE 2

RAPPELS DE PHYSIQUE: FORCE & TRAVAIL

Rappels

- Une force \vec{F} est ce qui fait varier la quantité de mouvement d'un mobile dans le temps: $\vec{F} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{d\vec{p}}{dt}$.
 Si $v \ll c$ et m constant: $\vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m \cdot \frac{d(\vec{v})}{dt} = m \cdot \vec{a}$
- Le travail W est l'énergie échangée lorsque le point d'application d'une force se déplace :

$$dW \stackrel{\text{def}}{=} \vec{F} \cdot d\vec{l} = F \cdot dL \cdot \cos(\vec{F}, d\vec{l})$$

$$W_{L=M \rightarrow M'} = \int_M^{M'} \vec{F} \cdot d\vec{l}$$

$F = P \cdot S$
 $dW = F \cdot dl = P \cdot S \cdot dl$
 $dW = P \cdot dV$

PASS

ANNEXE 2

RAPPELS DE PHYSIQUE: FORCE CENTRALE

Rappels

- Certaines forces se décomposent en $\vec{F} := s \cdot \vec{C}$ où $s \in \mathbb{R}$ caractérise l'objet qui subit la force ($s = m$ ou q , masse ou charge d'une particule), et $\vec{C}(x, y, z)$ est un **champ vectoriel** ($\vec{C} = \vec{g}$ ou \vec{E} pour la gravitation ou l'électrostatique).
- Une force est **centrale** si il existe un point fixe O tel qu'à tout instant, la force observée en tout point M est portée par la direction (MO)

(exemple avec $Q \cdot q > 0$)

PASS

ANNEXE 2
RAPPELS DE PHYSIQUE: GRAVITE ET ELECTROSTATIQUE

Rappels

- Les forces de gravité et électrostatique sont des cas particuliers de forces centrales créés par un champ vectoriel où :

$$\vec{C} = K \cdot \frac{\vec{u}}{r^2} \quad \text{avec} \quad \vec{u} = \frac{\vec{r}}{\|\vec{r}\|} \quad \text{et} \quad \vec{r} = \pm \vec{M'O}$$

$$\vec{F} = s \cdot K \cdot \frac{\vec{u}}{r^2}$$

s = masse ou charge électrique du mobile M.
 K > 0 dépend de la source du champ et du milieu:
 Gravitation: $K = G \cdot \mathbf{M}$ ($G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$)
 Electrostatique: $K = \frac{F}{\epsilon_r} \cdot \mathbf{Q}$ ($F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$)

Pesanteur:
 $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$

Electrostatique:
 $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$

(exemple avec Q,q > 0)

PASS

ANNEXE 2
RAPPELS DE PHYSIQUE: Potentiel, Energie potentielle d'un champ central en 1/r^2

Rappels

- Gravitation/Electrostatique: $\vec{F} := s \cdot K \cdot \frac{\vec{u}}{r^2}$:

$$W_{M \rightarrow M'} = \int_M^{M'} \vec{F} \cdot d\vec{l} = K \cdot s \cdot \int_M^{M'} \frac{\vec{u} \cdot d\vec{l}}{r^2} = K \cdot s \cdot \int_M^{M'} \frac{dr}{r^2} = K \cdot s \cdot \left[-\frac{1}{r} \right]_r = K \cdot s \cdot \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r'} \right) = E_p(M) - E_p(M')$$

W indépendant du chemin suivi entre M et M'.
 Force conservative (pour l'énergie: $E_c + E_p = \text{cste}$)

Force électrostatique ou de gravitation :

Force centrale: $\vec{F} := s \cdot \vec{C}$ avec $\vec{C} := K \cdot \frac{\vec{u}}{r^2}$

$E_p = s \frac{K}{r} := s \cdot V$ avec $V := \frac{K}{r}$

Electrostatique: $s = q$ $K = \frac{F}{\epsilon_r} \cdot \mathbf{Q}$

Gravitation: $s = m$ $K = G \cdot \mathbf{M}$

Pesanteur:
 $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$

Electrostatique:
 $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$

(exemple avec Q,q > 0)

PASS

ANNEXE 2
RAPPELS DE PHYSIQUE: SYNTHESE

Rappels

	PESANTEUR	ELECTROSTATIQUE
Source	Masse de la terre \mathbf{M}	Charge \mathbf{Q}
s	Masse de la particule m	Charge de la particule q
$\vec{C} = K \cdot \frac{\vec{u}}{r^2}$	$\vec{g} = (G \cdot \mathbf{M}) \cdot \frac{\vec{u}}{r^2}$	$\vec{E} = \left(\frac{F}{\epsilon_r} \cdot \mathbf{Q} \right) \cdot \frac{\vec{u}}{r^2}$
$V = K/r$	$G \cdot \mathbf{M} \cdot \frac{1}{r} = g \cdot r$	$\frac{F}{\epsilon_r} \cdot \mathbf{Q} \cdot \frac{1}{r} = E \cdot r$
$E_p = s \cdot V$	$m \cdot G \cdot \mathbf{M} \cdot \frac{1}{r} = m \cdot g \cdot r = m \cdot V$	$q \cdot \frac{F}{\epsilon_r} \cdot \mathbf{Q} \cdot \frac{1}{r} = q \cdot E \cdot r = q \cdot V$
$\vec{F} = s \cdot \vec{C}$	$\vec{P} = m \cdot \vec{g} = G \cdot \mathbf{M} \cdot m \cdot \frac{\vec{u}}{r^2}$	$\vec{F} = q \cdot \vec{E} = \frac{F}{\epsilon_r} \cdot \mathbf{Q} \cdot q \cdot \frac{\vec{u}}{r^2}$
Constantes	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$	$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$

Remarque : $-\frac{d}{dr}(E_p) = -\frac{d}{dr}\left(\frac{Ks}{r}\right) = -K \cdot s \cdot \frac{d}{dr}\left(\frac{1}{r}\right) = \frac{Ks}{r^2} = F$

Une force centrale en $1/r^2$ « dérive de l'énergie potentielle »

Pesanteur:
 $E_p = m \cdot g \cdot r$
 $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$

Electrostatique:
 $E_p = q \cdot V$
 $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$

(Exemple avec Q et q positifs)

PASS

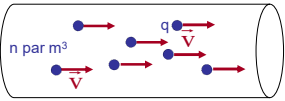
ANNEXE 3

DENSITES DE CHARGES ET DE COURANTS

Exercice

Soient n particules par unité de volume, de charge q et de vitesse v . On définit :

- la densité de charge $\rho = n \cdot q$ en $C \cdot m^{-3}$
- la densité de courant $j = n \cdot q \cdot v = \rho \cdot v$ en $A \cdot m^{-2}$



Le principe de conservation de la charge donne un lien entre ces deux densités :

$$\vec{j} = j \cdot \vec{e}_x \Rightarrow \frac{\partial j}{\partial x} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

PASS

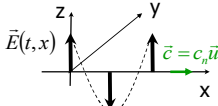
ANNEXE 3

LES EQUATIONS DE MAXWELL DANS LE VIDE

Exercice

APPLICATION :

- Soit une onde électrique

$$\vec{E}(t,x) = (0, 0, E_0 \sin[\omega(t - \frac{x}{c_n})])$$


- 1° relation de couplage de Maxwell :

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} \\ \frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z} \\ \frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} \end{pmatrix} = -\frac{\partial}{\partial t} \begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{\partial E_z}{\partial x} \\ 0 \end{pmatrix} = -\frac{\partial}{\partial t} \begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{pmatrix} \Rightarrow B_x = B_z = 0 \text{ et } \frac{\partial E_z}{\partial x} = -\frac{\partial B_y}{\partial t}$$

seul B_y est non nul

PASS

ANNEXE 3

LES EQUATIONS DE MAXWELL DANS LE VIDE

Exercice

$$\vec{E}(t,x) = (0, 0, E_0 \sin[\omega(t - \frac{x}{c_n})])$$

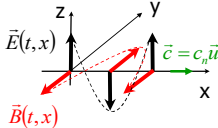
Maxwell $\Rightarrow B_x = B_z = 0$ et

$$\frac{\partial B_y}{\partial t} = \frac{\partial E_z}{\partial x} = -\frac{1}{c_n} \omega E_0 \cos[\omega(t - \frac{x}{c_n})]$$

$$\Rightarrow B_y = -\frac{1}{c_n} E_0 \sin[\omega(t - \frac{x}{c_n})]$$

$$\vec{B}(t,x) = (0, -B_0 \sin[\omega(t - \frac{x}{c_n})], 0) \quad \text{avec } B_0 = \frac{1}{c_n} E_0$$

Généralisation : $\vec{B} = \frac{1}{c_n} \vec{u} \wedge \vec{E}$



PASS

EXERCICE: Lentille

CONCOURS PACES 2016-2017

Une lentille de verre ($n=1,8$) est constituée d'un dioptre divergent de $R_1 = 80$ cm et d'un dioptre plan. On considère que les sommets des 2 dioptres sont confondus (lentille mince).

1- Donnez la formule de conjugaison de cette lentille

$$\frac{n-1}{SC_1} = \frac{n-1}{SA'} - \frac{1}{SA}$$

$$\frac{1-n}{SC_2} = 0 = \frac{1}{SA'} - \frac{n}{SA}$$

$$\Rightarrow \frac{n-1}{SC_1} = \frac{1}{SA'} - \frac{1}{SA}$$

2- Calculez la puissance de cette lentille

$$\Pi = \frac{n-1}{SC_1} = -\frac{0,8}{80 \cdot 10^{-2}} = -1 \text{ Dp} \quad (SC_1 = -R_1)$$

$$\Pi = -1 = \frac{1}{SF'} \Rightarrow SF' = -1 \text{ m}$$

3- Calculez la focale image de cette lentille

4- Calculez le grandissement d'un objet placé à 1 m en amont de cette lentille

$$\frac{1}{G} = \left| \frac{SA'}{SA} \right| = |\Pi \cdot SA + 1| = |(-1) \cdot (-1) + 1| = 2$$

Connaissance
Réflexion
Les deux

PASS

EXERCICE: Amétropies

AMETROPIES SPHERIQUES

Quelle correction proposer à un patient myope qui voit flou tout objet situé au-delà d'un mètre de son œil ?

MYOPE non corrigé

MYOPE corrigé

Connaissance
Réflexion
Les deux

PASS

EXERCICE: Diffraction & résolution

EXERCICE D'APPLICATION

Écran éloigné où se forment les images de 2 sources identiques de $\lambda = 500$ nm après traversée d'une fente carrée de largeur $b = 0,5$ mm.

Connaissance
Réflexion
Les deux

A. La distance entre le premier minimum et le maximum principal est de l'ordre de 1 mm.
 $\sin \theta_{\min} = \frac{\lambda}{b} \approx \text{tg} \theta_{\min} = \frac{x_{\min}}{D} = x_{\min} = \frac{500 \cdot 10^{-9}}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 1 \text{ mm}$

B. La largeur à mi-hauteur de la tache de diffraction (maximum principal) est de l'ordre de 1 mm.
 $LMH \approx x_{\min} = 1 \text{ mm}$

C. Si $D = 3$ m, la distance entre le 2 maxima est de l'ordre de 3 mm.
 $x = D \frac{\lambda}{b} = 3 \text{ m} = 3 \text{ mm}$

D. Si $D = 1$ m, Les 2 images seront indiscernables si $d < 1$ mm.
 Fusion des 2 pics d'intensité (intersection à plus de 50% de l'intensité maximale)...

E. Si $D = 3$ m, Les 2 images seront indiscernables si $d < 1$ mm.

Indépendante du grandissement

PASS

EXERCICE: Capture électronique

CAPTURE ELECTRONIQUE (PACES 2013)

On observe l'apparition de manganèse ${}^{55}_{25}\text{Mn}$ (masse atomique de 54,938 047 u) au sein de fer ${}^{55}_{26}\text{Fe}$ (masse atomique 54,938 296 u), sans émission de particule chargée positivement ($1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$).

On donne: $E_1^i({}^{55}_{26}\text{Fe}) = 7,11 \text{ keV}$ et $E_1^i({}^{55}_{25}\text{Mn}) = 6,54 \text{ keV}$

$$E_2^i({}^{55}_{26}\text{Fe}) = 0,85 \text{ keV} \quad \text{et} \quad E_2^i({}^{55}_{25}\text{Mn}) = 0,77 \text{ keV}$$

$$E_1^{2p}({}^{55}_{26}\text{Fe}) = 0,72 \text{ et } 0,71 \text{ keV} \quad \text{et} \quad E_1^{2p}({}^{55}_{25}\text{Mn}) = 0,65 \text{ et } 0,64 \text{ keV}$$

Connaissance

Réflexion

Les deux

1- Ecrire la réaction en cause ${}^{55}_{26}\text{Fe} + {}^0_{-1}e^- \rightarrow {}^{55}_{25}\text{Mn} + {}^0_0\nu$

2- Calculer l'énergie emportée par la particule émise

$$E_d = [m({}^{55}_{26}\text{Fe}) - m({}^{55}_{25}\text{Mn})] \cdot c^2 - E_K^i({}^{55}_{26}\text{Fe})$$

$$= [54,938296 - 54,938047] \cdot 931,5 - 7,11 \cdot 10^{-3} = 224,83 \text{ keV}$$

3- Calculer l'énergie des photons émis après la réaction

(hors Auger sur M) $L1 \rightarrow K : 6,54 - 0,77 = 5,77 \text{ keV}$

$$L2 \rightarrow K : 6,54 - 0,65 \text{ ou } 0,64 = 5,89 \text{ keV ou } 5,90 \text{ keV}$$

$$L2 \rightarrow L1 : 0,77 - 0,65 \text{ ou } 0,64 = 0,12 \text{ keV ou } 0,13 \text{ keV}$$

Fluorescence X

PASS