

Modèles ondulatoire et

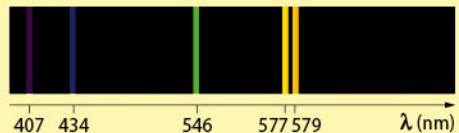
Avant d'aborder le chapitre EN AUTONOMIE

LES ACQUIS INDISPENSABLES

- La lumière se propage dans le vide à une vitesse appelée **célérité** qui a pour valeur $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
- La lumière peut être **décomposée** par un prisme ou un réseau. La figure obtenue est appelée **spectre**.
- La décomposition de la lumière blanche donne un **spectre continu**:



- La décomposition de la lumière émise par un gaz excité est un **spectre de raies**.



- Chaque raie est caractérisée par une **longueur d'onde dans le vide** ou dans l'air notée λ .
- Le laser est une source de lumière **monochromatique**. Son spectre présente une seule raie.

POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

Pour chaque situation, rédiger une réponse qui explique en quelques lignes le raisonnement. → Vérifiez vos réponses en flashant la page ou sur le site lycee.editions-bordas.fr

SITUATION 1

On décompose la lumière provenant des lampes de tunnels autoroutiers.



Décrire le spectre obtenu.

SITUATION 2

Un arc en ciel est la décomposition de la lumière du Soleil dans les gouttes d'eau.

À quel type de spectre correspond l'arc en ciel ?

SITUATION 3

Un boîtier de laser affiche les caractéristiques de sa source de lumière.

Quelle est la longueur d'onde de ce laser ?



particulaire de la lumière



Comment expliquer l'émission de lumières colorées dans les lampes des enseignes lumineuses ?

► EXERCICE 38

NOTIONS ET CONTENUS

- Domaines des ondes électromagnétiques.
- Relation entre longueur d'onde, célérité de la lumière et fréquence.
- Le photon. Énergie d'un photon.
- Description qualitative de l'interaction lumière-matière : absorption et émission.
- Quantification des niveaux d'énergie des atomes.

CAPACITÉS EXPÉIMENTALES

- Effectuer des procédures courantes ➔ ACTIVITÉ 3
- Confronter un modèle à des résultats expérimentaux ➔ ACTIVITÉ 4

1942年
NKGAI

1. ACTIVITÉ DE DÉCOUVERTE

CLASSE INVERSÉE

COMPÉTENCES :

(APP) Rechercher et organiser l'information

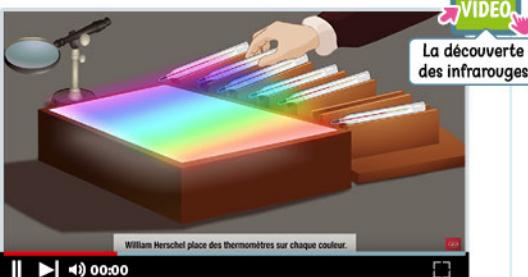
(AN/RA) Évaluer des ordres de grandeur

Les rayonnements invisibles

La lumière constitue un domaine d'ondes électromagnétiques. Quels sont les autres domaines d'ondes électromagnétiques et comment les classer ?

DOC 1 Les rayons infrarouges

En 1800, William Herschel, un scientifique britannique, découvre les premiers rayonnements invisibles : les rayons infrarouges.



DOC 3 Les rayons X

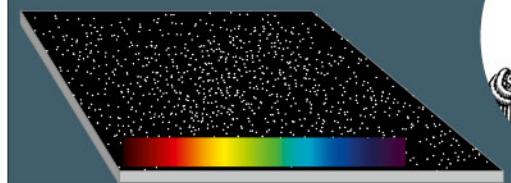
Le 22 décembre 1895, le physicien allemand Wilhelm Röntgen réalise la première radiographie de l'histoire : celle de la main de son épouse, Anna Bertha Röntgen.



VOCABULAIRE

- **Onde** : perturbation qui se propage.
- **Rayonnement** : ensemble d'ondes électromagnétiques.

DOC 2 Les ultraviolets

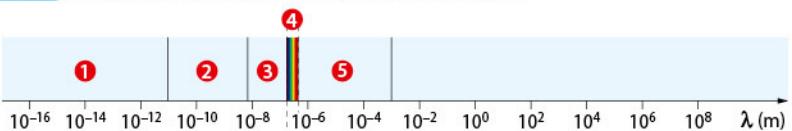


En 1801, Johann Wilhelm Ritter, un physicien allemand, constate que des sels d'argent situés au-delà du violet du spectre de la lumière noircissent. Ils réagissent donc en l'absence de lumière. Il appelle donc ce rayonnement invisible les ultraviolets (UV), ce qui signifie « au-delà du violet ». Les ultraviolets sont des ondes électromagnétiques telles que $10 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm}$.

DOC 4 Les rayons gamma

En 1900, Paul Villard, un chimiste français, découvre des rayonnements inconnus qui accompagnent des désintégrations radioactives. Ces rayonnements nommés rayons gamma sont plus énergétiques et pénétrants que les rayons X ! Les rayons gamma appartiennent au domaine des ondes électromagnétiques telles que $\lambda < 1 \text{ pm}$.

DOC 5 Domaines d'ondes électromagnétiques



EXPLOITATION ET ANALYSE

1 Reproduire le document 5 et attribuer à chaque domaine les ondes électromagnétiques évoquées dans les autres documents.

2 La fréquence v d'une onde électromagnétique se calcule de la manière suivante : $v = \frac{c}{\lambda}$, avec c la célérité des ondes dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

a. Calculer l'ordre de grandeur des domaines de fréquences pour chaque type d'ondes électromagnétiques.

b. Compléter le diagramme (doc. 5) en indiquant les domaines de fréquences des ondes électromagnétiques.

c. Comment évolue la fréquence par rapport à la longueur d'onde ?

d. Les appellations « infrarouge » et « ultraviolet » se réfèrent-elles au classement en longueur d'onde ou à celui en fréquence ?

3 À l'aide d'une recherche, éventuellement sur Internet, placer le domaine des micro-ondes et celui des ondes hertziennes.

SYNTHÈSE

Comment classe-t-on les ondes électromagnétiques ?

Je réussis si...

- Je classe correctement les domaines d'ondes électromagnétiques.
- Je sais appliquer la formule mathématique.
- Je sais évaluer un ordre de grandeur.

2. TÂCHE COMPLEXE

COMPÉTENCES :

(APP) Rechercher et organiser l'information

(COM) Choisir des modes de représentation appropriés

Dualité de la lumière

LE PROBLÈME À RÉSOUVRIR

La question de la nature de la lumière a préoccupé les physiciens pendant des siècles.

La lumière se comporte-t-elle comme une onde ou comme une particule ?

COUP DE POUCE ➔ p. 423



DOC 1 Expérience décisive

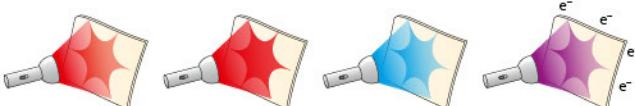
Jusqu'au xx^e siècle la nature de la lumière a divisé les physiciens. En 1850, Léon Foucault a réalisé l'expérience imaginée par François Arago : il a comparé la vitesse de la lumière dans l'air et celle dans l'eau. Pour les partisans du modèle particulaire, la lumière devrait aller plus vite dans l'eau car l'eau est plus dense que l'air. Pour les partisans du modèle ondulatoire, c'est l'inverse ! Les résultats de l'expérience sont tombés : la lumière se propage plus vite dans l'air.

DOC 3 Diffraction

Lorsqu'un faisceau de lumière rencontre un obstacle, son épaisseur diminue. En dessous d'une certaine dimension, le faisceau de lumière s'étale. C'est le phénomène de diffraction, phénomène caractéristique des ondes.



DOC 5 Effet photoélectrique



L'effet photoélectrique se produit lorsqu'un matériau éclairé émet des électrons. C'est par exemple ce phénomène qui est exploité dans les cellules photovoltaïques.

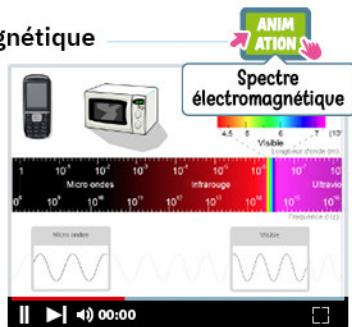
Cet effet ne se produit que pour des rayonnements ayant une fréquence supérieure à une fréquence seuil v_s . Quelle que soit l'intensité de la lumière qui éclaire le matériau, si sa fréquence est inférieure à la fréquence seuil, aucun électron ne sera émis. Pour expliquer cela, Albert Einstein utilise la notion de « quanta de lumière » : une lumière de fréquence v est un ensemble de photons transportant chacun l'énergie $E = hv$, h étant une constante appelée constante de Planck. Ainsi :

- si $E_{\text{photon}} < hv_s$, aucun électron n'est émis du matériau ;
- si $E_{\text{photon}} \geq hv_s$, des électrons sont émis du matériau.

DOC 2 Spectre électromagnétique

La lumière se propage dans le vide à une vitesse de $3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ comme tous les rayonnements électromagnétiques.

L'animation ci-contre présente une vue d'ensemble du spectre électromagnétique.



DOC 4 Spectre de lampes à vapeur de gaz

Le spectre de la lumière des lampes à vapeur de gaz n'est pas continu mais présente des raies colorées. On explique cela en considérant que les atomes de gaz absorbent de l'énergie lors de la décharge puis la réémettent sous forme de photon d'énergie définie.



spectre d'une lampe à vapeur de mercure

VOCABULAIRE

► **Onde** : perturbation qui se propage.

► **Particule** : constituant élémentaire.

► **Dualité de la lumière** : la lumière se comporte tantôt comme une onde, tantôt comme une particule.

Je réussis si...

► J'identifie les différentes propriétés de la lumière.

► Je sais exploiter des documents scientifiques.

► Je sais reconnaître un comportement ondulatoire et un comportement particulaire.

3. DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

TP

COMPÉTENCES :

(RÉA) Effectuer des procédures courantes (calculs, représentations, collectes de données, etc.)

(COM) Utiliser un vocabulaire adapté et choisir des modes de représentation appropriés

Lampes fluorescentes

Un tube fluorescent, appelé improprement « néon », ne contient, dans la plupart des cas, pas de néon mais du mercure gazeux.

Comment prouver expérimentalement la présence de mercure dans les lampes fluorescentes ?



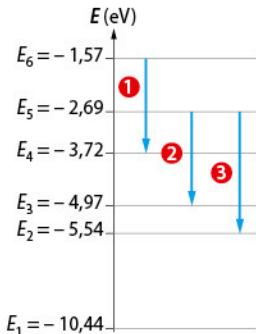
DOC 1 Les lampes fluorescentes

Les lampes fluorescentes, comme les lampes fluocompactes ou les « néons », sont constituées d'un tube qui contient un gaz sous faible pression. Lorsque la lampe est alimentée en électricité, une décharge électrique fournit de l'énergie aux atomes du gaz. Ces atomes excités restituent ensuite l'énergie sous forme de lumière. Le mercure émettant beaucoup dans l'ultraviolet, on recouvre les parois du tube avec une poudre fluorescente. Dans cette poudre fluorescente, les ultraviolets sont convertis en lumière visible.

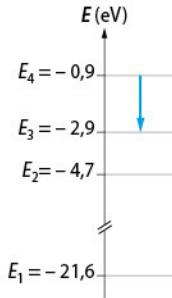
DOC 2 Diagramme d'énergie

Ci-dessous, les figures A et B présentent les diagrammes d'énergie de l'atome de mercure et de l'atome de néon.

A Atome de mercure



B Atome de néon



VOCABULAIRE

- Un **spectre d'émission** est la figure obtenue après **dispersion** de la lumière d'une source de lumière.
- Une **raie** est un trait coloré sur un spectre d'émission. Une raie est caractérisée par sa **longueur d'onde λ** .

POUR VISUALISER



Une animation qui présente les différents spectres d'émission et d'absorption des atomes.

EXPLOITATION

Réaliser les expériences permettant d'obtenir le spectre d'une ou plusieurs lampes fluorescentes, d'une lampe à vapeur de mercure et d'une lampe à vapeur de néon.

- 1 a. Décrire les spectres obtenus.
b. Mesurer les longueurs d'onde des raies.

ANALYSE

- 2 À partir du diagramme d'énergie A (doc. 2), identifier les raies qui correspondent aux transitions représentées.
- 3 À partir du diagramme d'énergie B (doc. 2), calculer la longueur d'onde du photon émis lors de la transition représentée.

SYNTHÈSE

- 4 En s'appuyant sur l'ensemble des documents et résultats des expériences, conclure sur la présence de mercure et de néon dans les lampes fluorescentes.

Je réussis si...

- Je sais décrire un spectre.
- Je sais mesurer les longueurs d'onde des raies.
- Je sais exploiter un diagramme d'énergie.
- Je sais synthétiser les différentes informations.

4. TÂCHE COMPLEXE

COMPÉTENCES :

(VAL) Confronter un modèle à des résultats expérimentaux

(COM) Présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente

Lumière d'une étoile

LE PROBLÈME À RÉSOUTRE

La décomposition de la lumière des étoiles fait apparaître des raies sombres. L'étoile Vega émet une lumière qui est en partie absorbée par sa chromosphère.

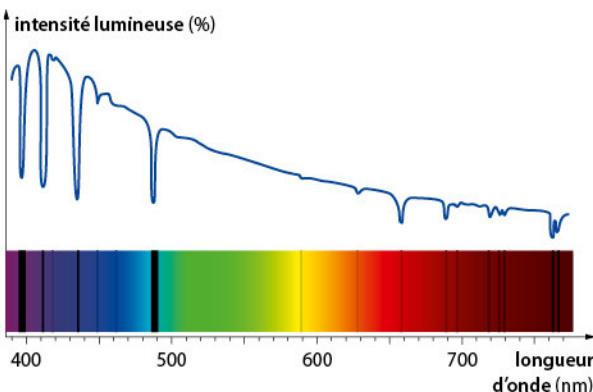
À partir de l'exemple de l'atome d'hydrogène, expliquer pourquoi uniquement certaines raies sont absorbées dans le spectre de l'étoile Vega.

COUP DE POUCE ➔ p. 423



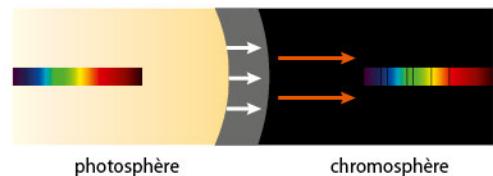
DOC 1 Étoile Vega

Vega est une étoile de la constellation de la Lyre. On peut décomposer sa lumière avec un système dispersif.



DOC 2 Photosphère et chromosphère

La photosphère d'une étoile émet de la lumière. Cette lumière traverse une fine couche de gaz qui entoure l'étoile, la chromosphère, qui absorbe en partie la lumière. La chromosphère de Vega contient en particulier de l'hydrogène.



DOC 3 Un peu de quantique

L'énergie des atomes est quantifiée. Cela signifie qu'elle ne peut pas prendre n'importe quelle valeur. Les valeurs possibles des énergies d'un atome sont précisées sur le diagramme d'énergie.

La lumière n'interagit avec la matière que par « paquet d'énergie ». Une radiation de fréquence v ne peut échanger avec la matière que des multiples de l'énergie $h\nu$. Ce « paquet » d'énergie est porté par le photon, le modèle particulier de la lumière.

VOCABULAIRE

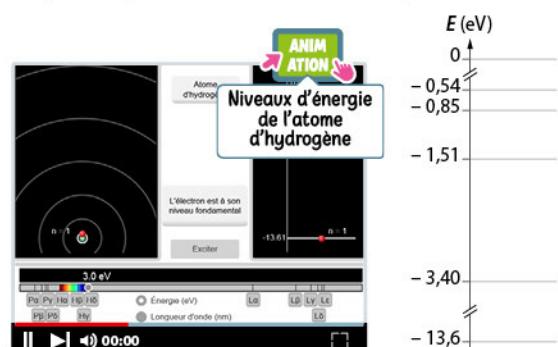
► On parle d'**absorption** lorsqu'un milieu matériel soustrait une partie de l'énergie des rayonnements électromagnétiques.

► **Quantifié** signifie : ne peut prendre que certaines valeurs.

► **Photosphère** : surface visible d'une étoile.

DOC 4 Niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène

Le diagramme des niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène représente les valeurs d'énergie accessibles.



Une animation pour présenter les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène.

Je réussis si...

► Je sais expliquer l'absorption d'un photon par un atome.

► Je sais exploiter un spectre d'absorption.

► Je sais extraire les informations de supports variés (schéma, animation etc.).



1 Modèle ondulatoire de la lumière

► Les ondes électromagnétiques

Une onde électromagnétique est une perturbation des propriétés électriques et magnétiques d'un milieu qui se propage.

On classe les ondes électromagnétiques en domaines selon leur **fréquence** notée ν ou leur **longueur d'onde** dans le vide notée λ (FIG. 1).

POUR VISUALISER



Histoire de l'électromagnétisme

La vidéo détaille les différents domaines d'ondes électromagnétiques et revient sur l'histoire de leurs découvertes.

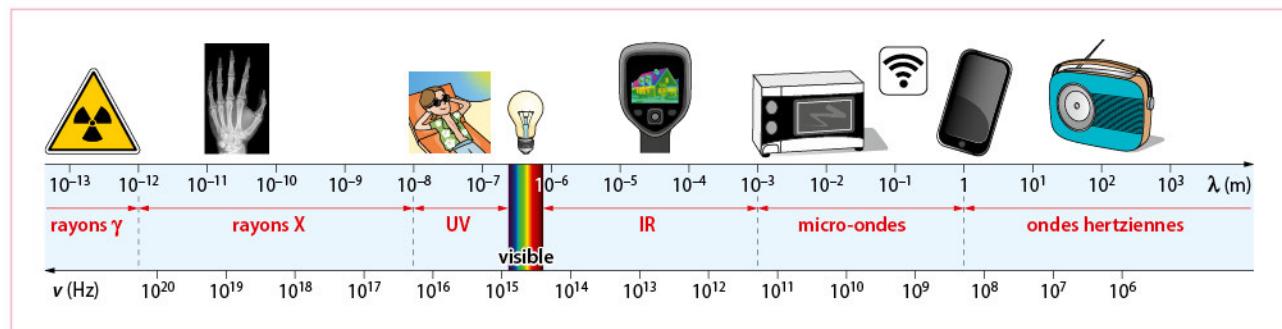


FIG. 1 Les différents domaines d'ondes électromagnétiques.

► La lumière

On appelle « lumière » les ondes électromagnétiques visibles par l'œil humain. Elles appartiennent au **domaine du visible** caractérisé par des intervalles de longueurs d'ondes et de fréquences :

$$\lambda \approx [400 \text{ nm} ; 800 \text{ nm}] \text{ ou } \nu \approx [4 \times 10^{14} \text{ Hz} ; 8 \times 10^{14} \text{ Hz}]$$

On peut définir des domaines de longueur d'onde (donnés généralement pour une propagation dans le vide, milieu pris comme référence) et des domaines de fréquences pour les différentes couleurs du spectre de la lumière blanche (FIG. 2).

► Relation entre fréquence et longueur d'onde

Une onde électromagnétique périodique ou **radiation** est caractérisée par sa **période temporelle T** et sa **période spatiale ou longueur d'onde λ** .

La longueur d'onde λ est la distance parcourue par l'onde pendant la période T . La célérité c de la lumière étant le rapport de la distance parcourue par la lumière sur la durée du parcours, on peut écrire : $c = \frac{\lambda}{T}$. La période T étant l'inverse de la fréquence ν , on peut aussi écrire que $c = \lambda \cdot \nu$.

On a donc la relation suivante pour la propagation d'une onde électromagnétique dans le vide :

$$c = \lambda \cdot \nu$$

célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

longueur d'onde (en m)

fréquence (en Hz)

Désignation	Couleur	Longueur d'onde (nm)	Fréquence (THz)
Rouge		≈ 625 – 740	≈ 480 – 405
Orange		≈ 590 – 625	≈ 510 – 480
Jaune		≈ 565 – 590	≈ 530 – 510
Vert		≈ 520 – 565	≈ 580 – 530
Cyan		≈ 500 – 520	≈ 600 – 580
Bleu		≈ 450 – 500	≈ 670 – 600
Indigo		≈ 430 – 450	≈ 700 – 670
Violet		≈ 380 – 430	≈ 790 – 700

FIG. 2 Longueurs d'onde dans le vide et fréquences des différentes couleurs.

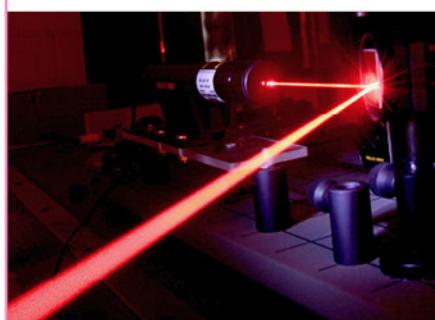


FIG. 3 Le laser est une lumière monochromatique caractérisée par sa longueur d'onde λ .

EXEMPLE

Le laser He-Ne (FIG. 3) émet une radiation de longueur d'onde dans le vide $\lambda = 633 \text{ nm}$. La fréquence de cette radiation est :

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3,00 \times 10^8}{633 \times 10^{-9}} = 4,74 \cdot 10^{14} \text{ Hz}.$$

La célérité de la lumière dans le vide étant constante, la fréquence ν et la longueur d'onde dans le vide λ sont **inversement proportionnelles**.

APPROFONDISSEMENT SCIENTIFIQUE

Lorsqu'une onde électromagnétique change de milieu, sa fréquence reste identique mais sa longueur d'onde, comme sa vitesse, change.



2 Modèle particulaire de la lumière

► Quantum d'énergie

Le modèle ondulatoire de la lumière ne permet pas d'expliquer toutes ses propriétés, en particulier son interaction avec la matière. Par exemple, ce modèle ne permet pas d'expliquer la présence de raies colorées sur les spectres d'émission des gaz (FIG. 7A) ni les raies sombres sur les spectres d'absorption (FIG. 7B).

La lumière n'échange pas avec la matière n'importe quelle valeur de l'énergie mais des multiples entiers d'une quantité élémentaire appelée **quantum d'énergie E** (FIG. 4).

► Le photon

Dans le modèle particulaire, une radiation de fréquence ν peut être considérée comme un ensemble de **particules** transportant chacune un quantum d'énergie E . Ces particules, de masse nulle, sont appelées « **photons** ».

Une radiation de fréquence ν ou de longueur d'onde dans le vide λ est un ensemble de photons transportant chacun l'énergie E telle que :

$$E = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$$

énergie du photon (en J) la constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
fréquence (en Hz) célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
longueur d'onde (en m)

Le joule est une unité trop grande pour les énergies du photon. On utilise souvent l'électronvolt de symbole eV et de valeur : $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$.

EXEMPLE

Le laser He-Ne émet une radiation de longueur d'onde dans le vide $\lambda = 633 \text{ nm}$. L'énergie d'un photon de cette radiation se calcule ainsi :

$$E = \frac{hc}{\lambda} = 6,63 \times 10^{-34} \times \frac{3,00 \times 10^8}{633 \times 10^{-9}} = 3,14 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E = \frac{3,14 \times 10^{-19}}{1,60 \times 10^{-19}} = 2,00 \text{ eV}$$

Ce laser échange avec la matière uniquement des multiples entiers de 2,00 eV, soit 2,00 eV, 4,00 eV, 6,00 eV, etc.

► Dualité onde-particule

La lumière peut être décrite par deux modèles :

- un modèle **ondulatoire** où la lumière est une onde électromagnétique ;
- un modèle **particulaire** où la lumière est constituée de particules appelées photons.

Les deux modèles coexistent : on parle de **dualité onde-particule**.

Ces deux modèles sont deux aspects de la lumière, comme un dessin peut représenter deux choses en même temps (FIG. 5). Le comportement de la lumière est expliqué selon les cas soit par le modèle ondulatoire, soit par le modèle particulaire.

EXEMPLE

Les couleurs observées sur une bulle de savon s'expliquent avec le modèle ondulatoire de la lumière.

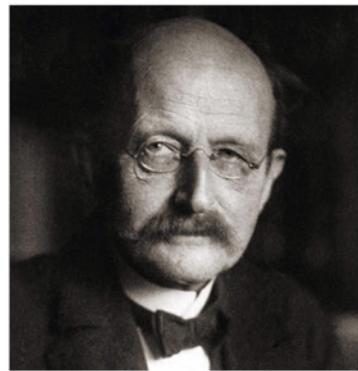


FIG. 4 Max Planck (1858-1947), un physicien allemand, a introduit le concept de quantum d'énergie à l'origine de la mécanique quantique.

VOCABULAIRE

► **Quantum** (au pluriel, quanta) : « quantité » en latin. Plus petite valeur que peut prendre une grandeur en physique.

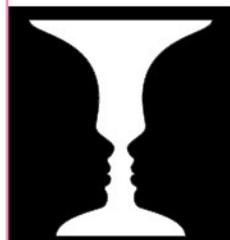


FIG. 5 Cette figure est à la fois un vase et deux visages, comme la lumière est onde et particule.



3 Interaction lumière-matière

► Quantification des énergies de l'atome

L'énergie de l'atome est **quantifiée** : elle ne peut prendre que certaines valeurs.

Sur un **diagramme d'énergie** on indique, sur des **niveaux**, les valeurs possibles de l'énergie d'un atome. Le niveau le plus bas est appelé **l'état fondamental** de l'atome (qui correspond donc à la valeur la plus basse de l'énergie que peut avoir l'atome). Les niveaux d'énergie supérieurs sont appelés **états excités** (FIG. 5). Chaque atome a un diagramme d'énergie qui lui est propre.

► Absorption d'un photon

Un atome peut **absorber** un photon si l'énergie du photon correspond à l'écart entre deux niveaux E_i et E_f . Cela se traduit par :

$$\Delta E = |E_f - E_i| = E_{\text{photon}} = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$$

Avec E_i énergie initiale de l'atome et E_f énergie finale de l'atome : $E_f > E_i$.

Lorsque l'atome absorbe un photon, son énergie augmente. On peut représenter cette **transition** d'énergie par une flèche verticale ascendante reliant les deux niveaux d'énergie concernés (FIG. 6).

► Émission d'un photon

Un atome dans un état excité (après une décharge électrique, un échauffement, une absorption de lumière, etc.) peut restituer de l'énergie en **émettant** un photon d'énergie :

$$\Delta E = |E_f - E_i| = E_{\text{photon}} = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$$

Avec E_i énergie initiale de l'atome et E_f énergie finale de l'atome : $E_f < E_i$.

Lorsque l'atome émet un photon, son énergie diminue. On peut représenter cette **transition** d'énergie par une flèche verticale descendante reliant les deux niveaux d'énergie concernés (FIG. 6).

► Interprétation des spectres d'émission et d'absorption

L'absorption d'un photon se traduit par une **raie sombre** de longueur d'onde $\lambda = \frac{hc}{|E_f - E_i|}$ sur le **spectre d'absorption** de l'atome (FIG. 7 A).

L'émission d'un photon se traduit par une **raie colorée** de longueur d'onde $\lambda = \frac{hc}{|E_f - E_i|}$ sur le **spectre d'émission** de l'atome (FIG. 7 B).

À chaque raie d'absorption d'un atome correspond une raie d'émission : elles sont liées à la même **transition d'énergie**. Les spectres d'émission et d'absorption d'un atome sont **complémentaires**.

POUR VISUALISER



Cette animation permet de tester l'absorption de différents photons par l'atome d'hydrogène.

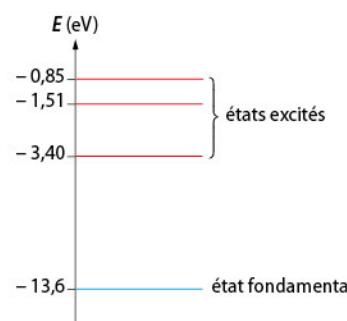


FIG. 5 Extrait du diagramme d'énergie de l'atome d'hydrogène.

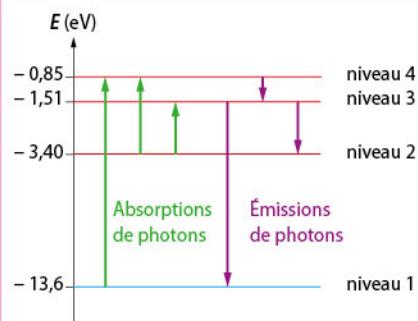


FIG. 6 Absorptions et émissions de photons par l'atome d'hydrogène.

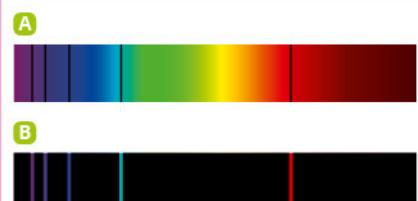


FIG. 7 Spectres d'absorption et d'émission de l'atome d'hydrogène.

A Spectre d'absorption de l'atome d'hydrogène.

B Spectre d'émission de l'atome d'hydrogène.

1 Modèle ondulatoire de la lumière

- Il existe différents domaines d'**ondes électromagnétiques** définies par leurs **fréquences** ou leurs **longueurs d'onde dans le vide**.



- La fréquence v et la longueur d'onde dans le vide λ sont liées par la relation suivante :

$$c = \lambda \cdot v$$

où $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (célérité de la lumière dans le vide) et λ (longueur d'onde en m) et v (fréquence en Hz).

- La lumière est une onde électromagnétique appartenant au **domaine du visible** pour lequel longueur d'onde et fréquence sont comprises dans les intervalles suivants :

$$\lambda : [400 \text{ nm} ; 800 \text{ nm}] \text{ et } v : [4 \times 10^{14} \text{ Hz} ; 8 \times 10^{14} \text{ Hz}]$$

2 Modèle particulaire de la lumière

- La lumière se définit aussi comme étant un déplacement de **particules** appelées **photons**.

- Une **radiation** lumineuse de fréquence v et de longueur d'onde dans le vide λ est un ensemble de photons transportant chacun l'énergie donnée par la relation :

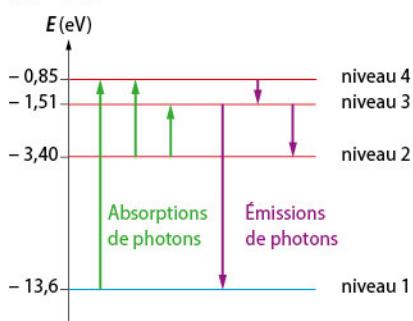
$$E = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$$

où $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ (constante de Planck), $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (célérité de la lumière dans le vide) et λ (longueur d'onde en m).

- La lumière est à la fois onde et particule. Son aspect ondulatoire ou particulier se manifeste selon l'expérience réalisée : c'est la **dualité onde-particule**.

3 Interaction lumière-matière

- L'énergie d'un atome est **quantifiée** : elle ne peut prendre que certaines valeurs.
- Le **diagramme d'énergie** d'un atome indique les valeurs d'énergie que peut prendre un atome. Dans son **état fondamental**, l'atome est à son niveau d'énergie le plus bas. Aux autres niveaux, l'atome est dans un **état excité**.



- Un atome peut **absorber** un photon si l'énergie du photon correspond au passage d'un niveau d'énergie E_i à un autre E_f , tel que :

$$\Delta E = |E_f - E_i| = E_{\text{photon}} = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$$

- On observe alors une raie sombre de longueur d'onde $\lambda = \frac{hc}{|E_f - E_i|}$ sur le spectre d'absorption de l'atome.



- Un atome dans un état excité E_i retourne dans l'état fondamental ou dans un état excité inférieur E_f en **émettant** un photon d'énergie :

$$\Delta E = |E_f - E_i| = E_{\text{photon}} = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$$

- On observe alors une raie colorée de longueur d'onde $\lambda = \frac{hc}{|E_f - E_i|}$ sur le spectre d'émission de l'atome.



Vérifier l'essentiel EN AUTONOMIE

Pour chaque question, choisir la ou les bonnes réponses. ➔ SOLUTIONS EN PAGE 423



DONNÉES

► Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$;
 $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$

1 Modèle ondulatoire de la lumière

	A	B	C
1 Parmi les ondes électromagnétiques, on trouve :	les rayons X.	la lumière.	les UV.
2 Le domaine du visible est tel que :	$\lambda \in [400 \text{ nm} ; 800 \text{ nm}]$	$f \in [400 \text{ Hz} ; 800 \text{ Hz}]$	$f \in [4 \times 10^{14} \text{ Hz} ; 8 \times 10^{14} \text{ Hz}]$
3 La fréquence et la longueur d'onde dans le vide sont liées par :	$c = \lambda \times v$	$\lambda = \frac{c}{v}$	$v = \frac{c}{\lambda}$
4 Une onde de fréquence $4,10 \times 10^{14} \text{ Hz}$:	est visible.	correspond à une lumière rouge.	a une longueur d'onde dans le vide de 530 nm.

2 Modèle particulaire de la lumière

	A	B	C
5 Un photon :	est lié au modèle particulaire de la lumière.	a une énergie $E = hv$.	est lié au modèle ondulatoire de la lumière.
6 L'énergie d'un photon de longueur d'onde $\lambda = 500 \text{ nm}$ vaut :	$4,00 \times 10^{-19} \text{ J}$	2,48 eV	2,48 J

3 Interaction lumière-matière

	A	B	C
7 D'après le diagramme d'énergie de l'hydrogène, on peut dire que :	le niveau fondamental a une énergie de - 13,6 eV.	l'énergie de l'atome d'hydrogène est quantifiée.	l'atome d'hydrogène peut avoir une énergie de - 4,5 eV.
8 L'absorption d'un photon par un atome peut être schématisée par :			

Acquérir les notions

1 Modèle ondulatoire de la lumière

Notions du programme

Domaines des ondes électromagnétiques

→ EXERCICES
9, 10 et 11

Relation entre longueur d'onde, célérité de la lumière et fréquence

→ EXERCICES
12, 13, 14 et 15

Ce qu'on attend de moi

- Utiliser une échelle de fréquences ou de longueurs d'onde pour identifier un domaine spectral.

- Citer l'ordre de grandeur des fréquences ou des longueurs d'onde des ondes électromagnétiques utilisées dans divers domaines d'applications.

DONNÉES

► Célérité de la lumière dans le vide :
 $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; constante de Planck :
 $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; 1 eV = $1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$.

9 Quel domaine ?

Attribuer à chaque application ci-dessous le domaine d'ondes électromagnétiques correspondant en vous aidant de l'ordre de grandeur des longueurs d'onde utilisées.



A radiologie 10^{-10} m



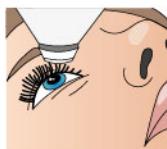
B télécommunication 10^2 m



C caméra thermique
 10^{-5} m



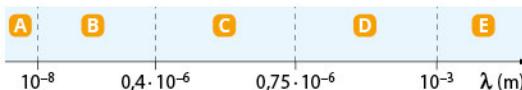
D bronzing 10^{-7} m



E chirurgie laser 10^{-5} m

10 Échelle des ondes

Le schéma ci-dessous propose un classement d'ondes électromagnétiques.

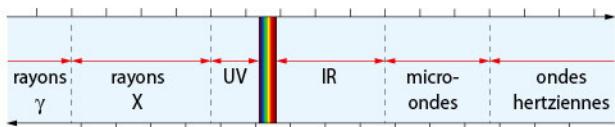


- À quelle grandeur correspond λ ?
- Attribuer à chaque domaine A, B, C, D et E le nom de la famille correspondante parmi les familles de la liste suivante : rayons X, infrarouges, ultraviolets, rayons γ , ondes hertziennes, lumière visible, micro-ondes.
- Citer un exemple d'application pour chaque domaine.

11 Dans quel sens ?

Les ondes électromagnétiques ont été classées sur le schéma ci-dessous.

échelle A



échelle B

- a. Quelle échelle est graduée en fréquence ?
- Quelle échelle est graduée en longueur d'onde dans le vide ?
- Expliquer à l'aide d'une relation pourquoi ces deux grandeurs varient à l'inverse l'une de l'autre.

12 Fréquence et longueur d'onde

Le tableau ci-dessous dresse une liste de fréquence, une liste de longueur d'onde dans le vide et une liste d'applications.

Fréquences	Longueurs d'onde dans le vide	Applications
2,40 GHz	10,6 μm	Wi-Fi
$3,22 \times 10^{13} \text{ Hz}$	125 mm	Chirurgie laser
107,7 MHz	9,32 μm	Thermographie
$2,83 \times 10^{13} \text{ Hz}$	2,786 m	Radio

Attribuer, à chaque fréquence, la longueur d'onde dans le vide associée puis l'application correspondante.

13 Micro-ondes

À l'origine du micro-ondes se trouve une découverte accidentelle : en 1946 un ingénieur constate qu'une barre de chocolat placée dans sa poche fond lorsqu'il s'approche d'un magnétron, un dispositif utilisé dans les radars et qui émet des ondes électromagnétiques. Les premiers micro-ondes émettaient des ondes autour de 2 450 MHz.



- a. Quelle donnée caractérise ces ondes ?
- En donner un ordre de grandeur.
- Calculer la longueur d'onde dans le vide associée.
- Expliquer l'appellation « micro-ondes ».

14 Télécommande

Des télécommandes utilisent des ondes électromagnétiques de fréquence $3,2 \times 10^{14}$ Hz.

1. Calculer la longueur d'onde dans le vide correspondante.
2. a. À quel domaine d'ondes électromagnétiques appartiennent ces ondes ?
- b. Ces ondes sont-elles visibles ?
3. On réalise l'expérience représentée ci-dessous avec l'appareil photographique d'un téléphone portable.



Sans appuyer



En appuyant sur une touche

Pourquoi peut-on dire que cette expérience permet de voir un rayonnement invisible ?

15 Radio

Pour écouter une radio FM, on doit utiliser une antenne « quart-d'onde ». C'est une antenne qui a la taille du quart de la longueur d'onde. Les fréquences radio FM sont comprises entre 87 et 108 MHz.



1. Donner l'ordre de grandeur des fréquences radio FM.
2. À quel domaine d'ondes électromagnétiques appartiennent ces ondes ?
3. Calculer les deux tailles limites de l'antenne.

2 Modèle particulaire de la lumière

Notions du programme

Le photon
Énergie d'un photon
→ EXERCICES 15 à 19

Ce qu'on attend de moi

Utiliser l'expression donnant l'énergie d'un photon.

16 Vrai ou faux ?

Dire si les affirmations suivantes sont vraies ou fausses. Corriger les affirmations fausses.

1. La lumière est soit onde, soit particule.
2. La particule de lumière se nomme un photon.
3. Un photon transporte l'énergie $E = h\lambda$.
4. Une radiation de fréquence ν ne peut transporter que des énergies multiples de $E = h\nu$.

17 Danger

À partir des infrarouges, plus un rayonnement est énergétique et plus il présente un risque pour la santé.



1. Donner la relation qui lie l'énergie d'un photon à sa longueur d'onde.
2. Sans faire de calcul déterminer parmi les trois photons suivants le plus dangereux :
 - photon 1 : $\lambda_1 = 0,100$ mm ;
 - photon 2 : $\lambda_2 = 5,50$ nm ;
 - photon 3 : $\lambda_3 = 1,00$ pm.
3. Calculer l'énergie de chaque photon en J puis en eV.

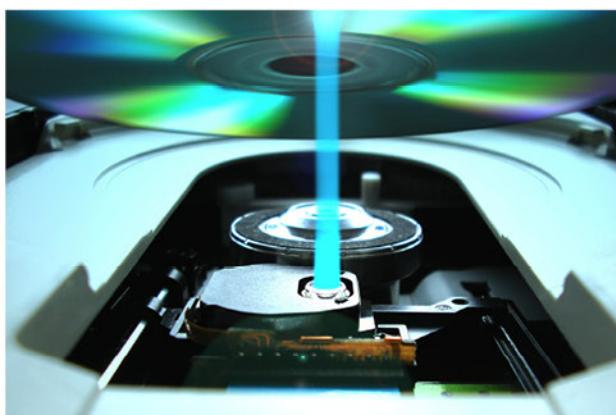
18 Énergie, fréquence et longueur d'onde

1. Calculer en joule l'énergie des photons de longueur d'onde :
 - a. 200 µm ;
 - b. 580 nm ;
 - c. 0,100 mm.
2. Calculer en joule l'énergie des photons de fréquence :
 - a. $3,90 \times 10^{14}$ Hz ;
 - b. 5,00 GHz ;
 - c. 1,50 MHz.
3. Recopier les phrases suivantes en sélectionnant la bonne réponse :
 - a. plus la longueur d'onde augmente et plus l'énergie des photons augmente/diminue ;
 - b. plus la fréquence augmente et plus l'énergie des photons augmente/diminue.

19 DVD ou Blu-ray

Pour graver un DVD, on utilise un laser rouge de 650 nm. Pour graver un disque Blu-ray, on utilise un laser bleu de 405 nm.

On considère une impulsion laser de 50 mJ.



1. Calculer l'énergie d'un photon du laser bleu.
2. Sans faire de calcul, dire si l'énergie d'un photon du laser rouge a une énergie supérieure, inférieure ou égale à celle du laser bleu.
3. Calculer le nombre de photons émis lors de l'impulsion :
 - a. pour le laser bleu ;
 - b. pour le laser rouge.

3 Interaction lumière-matière

Notions du programme

Quantification des niveaux d'énergie des atomes

Description qualitative de l'interaction lumière-matière : absorption et émission

► EXERCICES 20 à 24

Ce qu'on attend de moi

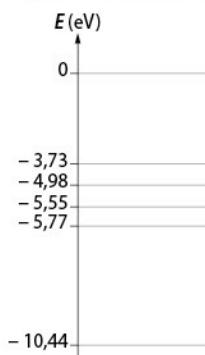
- Exploiter un diagramme de niveaux d'énergie en utilisant les relations :

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \text{ et } \Delta E = h\nu.$$

20 Mercure

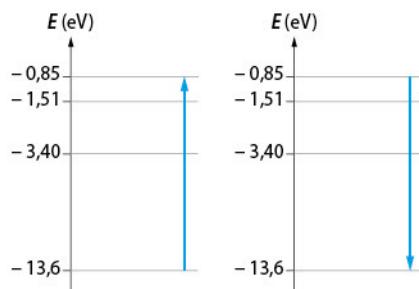
Les lampes à vapeur de mercure émettent une lumière bleutée. On trouve le document ci-dessous à propos de l'atome de mercure.

1. Comment appelle-t-on cette figure ?
2. Pourquoi peut-on affirmer que l'énergie de l'atome de mercure est quantifiée ?
3. a. Quelle est la valeur de l'énergie de l'atome de mercure dans son état fondamental ?
- b. Citer une valeur d'énergie qui correspond à un état excité de l'atome de mercure.
4. L'atome de mercure peut-il avoir une énergie de - 6,5 eV ? Justifier.
5. L'atome de mercure peut-il absorber un photon d'énergie 10 eV ?



21 Gain ou perte d'énergie ?

Ci-dessous deux schémas illustrent l'interaction lumière-matière.



1. Que représentent les traits horizontaux sur les schémas ?
2. a. Quel schéma explique l'absorption d'un photon ? Justifier.
- b. Quel schéma explique l'émission d'un photon ? Justifier.
3. Dans quel cas l'atome :
 - a. perd de l'énergie ?
 - b. gagne de l'énergie ?

22 Absorption ou émission

1. a. Reproduire la figure de l'exercice 20 puis indiquer une transition d'énergie correspondant à l'absorption d'un photon par l'atome de mercure.

b. Calculer la valeur de l'énergie du photon absorbé.

c. Calculer la longueur d'onde du photon absorbé.

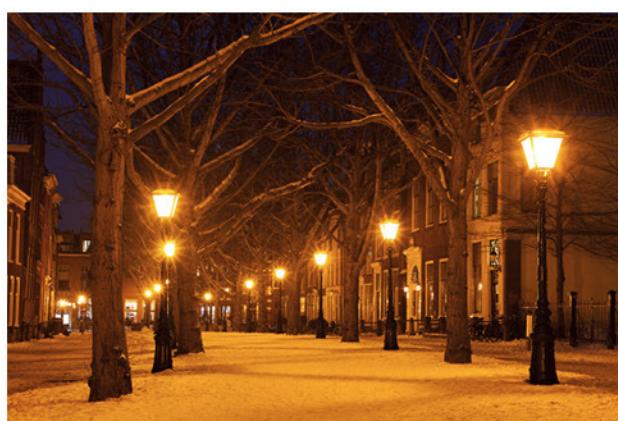
2. a. Reproduire une nouvelle fois la figure de l'exercice 20 puis indiquer une transition d'énergie correspondant à l'émission d'un photon par l'atome de mercure.

b. Calculer la valeur de l'énergie du photon émis.

c. Calculer la longueur d'onde du photon émis.

23 Lampe à vapeur de sodium

Les lampes à vapeur de sodium sont utilisées dans les éclairages urbains.



On donne ci-dessous le spectre d'émission du sodium.



589,0 nm 589,6 nm

1. De quel type de spectre s'agit-il ?
2. Déterminer l'énergie en J puis en eV des deux photons émis.
3. Quel sera l'énergie des deux photons absorbés par l'atome de sodium ? Justifier.

24 Atome d'hydrogène

On peut calculer les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène avec la formule suivante : $E_n = -13,6/n^2$ où E_n est en eV et n est un entier positif ≥ 1 .

1. Calculer l'énergie des 5 premiers niveaux et les disposer sur un diagramme d'énergie.

2. Quel est l'énergie de l'atome d'hydrogène dans son état fondamental ?

3. a. Quelle énergie doit posséder un photon pour que l'atome, en l'absorbant, passe de son état fondamental au deuxième état excité ?

b. Représenter schématiquement l'absorption de ce photon.

c. Calculer la longueur d'onde du photon absorbé.

Exercice résolu EN AUTONOMIE

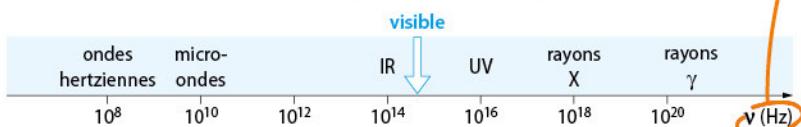
CALCUL MENTAL

25 Les rayons T

Les rayons térahertz ou rayons T sont des ondes électromagnétiques. Les fréquences des rayons térahertz sont comprises entre 0,1 THz et 30 THz. Les rayons T sont étudiés pour remplacer les rayons X dans les scanners. En effet, *les rayons T sont moins énergétiques que les rayons X donc présentent moins de risques pour la santé.*

Données : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $1 \text{ THz} = 10^{12} \text{ Hz}$
 $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

Les domaines d'ondes électromagnétiques se répartissent ainsi :



- Entre quels domaines d'ondes électromagnétiques se situent les rayons T ?
- Calculer le domaine de longueurs d'onde dans le vide associé.
- Interpréter la phrase en italique à partir du modèle particulier de la lumière appliqué aux ondes électromagnétiques.

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- Une conversion est donnée.
- Les domaines d'ondes électromagnétiques sont classés en fonction de leurs fréquences puisque l'axe est gradué en Hz.

LES QUESTIONS À LA LOUPE

- Calculer :** déterminer une valeur numérique en appliquant une formule mathématique.
Interpréter : justifier la phrase à l'aide d'une démonstration, en utilisant une formule mathématique.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. Les ondes térahertz ont une fréquence comprise entre 0,1 THz et 30 THz. En ordre de grandeur, ces ondes ont une fréquence comprise entre $10^{-1} \times 10^{12} \text{ Hz} = 10^{11} \text{ Hz}$ et $30 \text{ THz} \approx 10^1 \times 10^{12} \text{ Hz} = 10^{13} \text{ Hz}$.

Les rayons T se situent entre les micro-ondes et les rayons infrarouges.

2. On a la relation $c = \lambda v$ donc $\lambda = c/v$.

$$\text{Pour } v = 0,1 \times 10^{12} \text{ Hz}, \lambda = \frac{3,00 \times 10^8}{0,1 \times 10^{12}} = 3 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

$$\text{Pour } v = 30 \times 10^{12} \text{ Hz}, \lambda = \frac{3,00 \times 10^8}{30 \times 10^{12}} = 1,0 \times 10^{-5} \text{ m.}$$

Les longueurs d'onde dans le vide des rayons T se situent entre $1,0 \times 10^{-5} \text{ m}$ et $3 \times 10^{-3} \text{ m}$.

3. Dans le modèle particulier, une onde de fréquence v est un ensemble de photons d'énergie $E = hv$. Or, $v_X > v_T$ donc $E_X > E_T$, h étant constante.

L'énergie des rayons X est bien supérieure à l'énergie des rayons T.

QUELQUES CONSEILS

- Il faut trouver l'ordre de grandeur des fréquences du domaine des rayons T.
- et 2. Rappels de calculs sur les puissances de 10 :
 $\frac{10^a}{10^b} = 10^{a-b}$; $10^a \times 10^b = 10^{a+b}$
- Si besoin, on peut choisir une fréquence de rayon X et une fréquence de rayon T et calculer l'énergie de chaque rayon.

EXERCICE SIMILAIRE

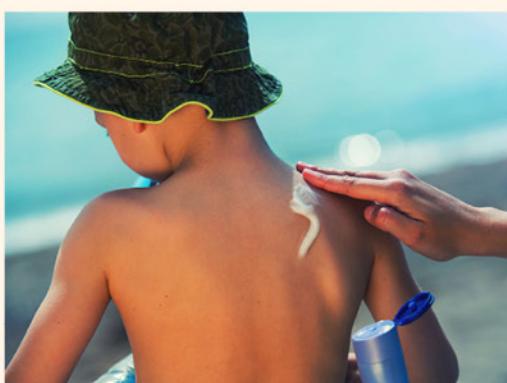
26 Les UV

On peut classer les rayons ultraviolets (UV) en trois catégories :

- les UVA pour $320 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm}$: ils sont responsables du bronzage ;
- les UVB pour $280 \text{ nm} < \lambda < 320 \text{ nm}$: ils provoquent rougeurs et brûlures ;
- les UVC pour $10 \text{ nm} < \lambda < 280 \text{ nm}$: ce sont les plus dangereux mais ils sont arrêtés par la couche d'ozone.

1. Une crème solaire absorbe les rayonnements situés entre $10 \times 10^{14} \text{ Hz}$ et $10 \times 10^{15} \text{ Hz}$. Cette crème évite-t-elle le bronzage ?

2. Expliquer par un calcul pourquoi les UVC sont plus dangereux que les UVB.

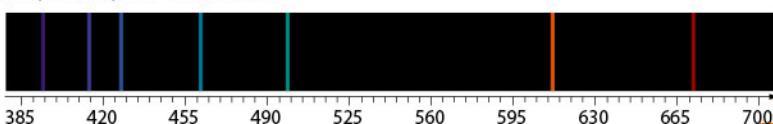


Exercice résolu EN AUTONOMIE



27 Raie d'émission du lithium

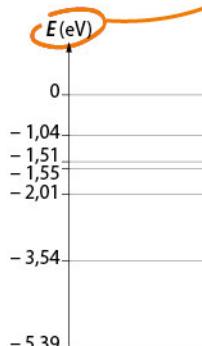
On obtient le spectre ci-dessous en décomposant la lumière émise par une lampe à vapeur de lithium.



On souhaite expliquer la présence des différentes raies colorées à partir du diagramme d'énergie de l'atome de lithium représenté ci-contre.

Données : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
 $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$

1. **Déterminer**, en joule, l'énergie du photon émis lorsque l'atome de lithium passe du premier état excité à l'état fondamental.
2. **Calculer** la longueur d'onde associée.
3. **Identifier** la raie correspondante sur le spectre en estimant l'incertitude-type sur la mesure.



EXEMPLE DE RÉDACTION

1. L'état fondamental correspond à l'énergie la plus basse donc $E_f = -5,39 \text{ eV}$. Le premier état excité est le premier niveau au-dessus de l'état fondamental : il a une énergie de $E_i = -3,54 \text{ eV}$.

L'énergie du photon est : $E_{\text{photon}} = |E_f - E_i| = |-5,39 - (-3,54)| = 1,85 \text{ eV}$. Or $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$ donc $E_{\text{photon}} = 1,85 \times 1,60 \times 10^{-19} = 2,96 \times 10^{-19} \text{ J}$.

$$2. \lambda = \frac{hc}{E_{\text{photon}}} = 6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8 / (2,96 \times 10^{-19}) ; \lambda = 6,72 \times 10^{-7} \text{ m.}$$

$$3. \lambda = 6,72 \times 10^{-7} \text{ m} = 672 \text{ nm.}$$

La raie du spectre qui a la longueur : $670 \text{ nm} \leq \lambda_{\text{rouge}} \leq 674 \text{ nm}$.

Le milieu de cet intervalle correspond au meilleur estimateur de la grandeur mesurée : $\lambda_{\text{rouge}} = 672 \text{ nm}$.

La demi-largeur de l'intervalle définit, en première approximation, un estimateur de l'incertitude-type : $u_{\lambda_{\text{rouge}}} = 2 \text{ nm}$.

Aux incertitudes de mesures près, la raie correspondant à la transition d'énergie étudiée est la **raie rouge sur le spectre**.

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

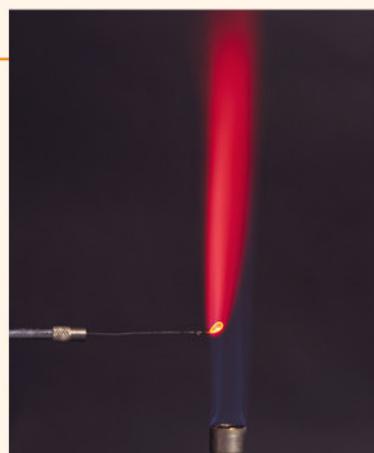
- Le spectre est gradué en nm. L'axe indique donc la **longueur d'onde** des raies. L'axe est gradué de 5 nm en 5 nm.
- L'énergie est indiquée en **eV** sur le diagramme d'énergie. Il faudra donc la convertir en joule dans les calculs.

LES QUESTIONS À LA LOUPE

- **Déterminer** : mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.
- **Calculer** : déterminer une valeur numérique en appliquant une formule mathématique.
- **Identifier** : trouver, reconnaître une valeur, une grandeur, un résultat... parmi plusieurs possibilités.

QUELQUES CONSEILS

3. Une graduation sur l'axe vaut 5 nm. Il faut évaluer l'incertitude sur la lecture d'une graduation pour pouvoir comparer la longueur d'onde mesurée et la longueur d'onde calculée.



EXERCICE SIMILAIRE

28 Transition d'énergie de l'atome de lithium

On utilisera dans cet exercice le spectre et le diagramme d'énergie de l'exercice précédent.

Données : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$

Incertitude sur la lecture d'une graduation : $0,6 \times 0,5$ graduation.

1. Mesurer la raie d'émission orange sur le spectre de l'atome de lithium.
2. En déduire l'énergie d'un photon correspondant émis.
3. a. Identifier la transition d'énergie de l'atome de lithium correspondante sachant que l'atome de lithium se trouve initialement dans son 4^e état d'excitation.
- b. Reproduire le diagramme d'énergie et représenter cette transition.

Croiser les notions

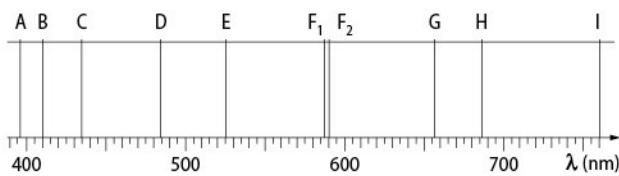
DONNÉES

- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.
- $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$.

29 Spectre du Soleil



Lorsqu'on décompose la lumière du Soleil, on observe des raies noires. Joseph von Fraunhofer (1787-1826), un physicien allemand, a fait le lien entre ces raies sombres et les éléments présents dans la chromosphère qui constitue l'atmosphère du Soleil. Il a repéré les principales raies sombres par des lettres dans le schéma ci-dessous.

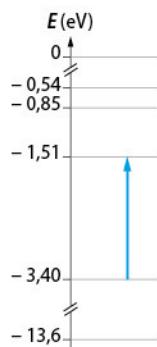


Il a aussi comparé ce spectre avec celui d'une autre étoile, Sirius, et a constaté qu'il y avait des raies en commun mais que le spectre de Sirius présentait des raies sombres supplémentaires.

1. Quelles propriétés des atomes et de la lumière permettent d'expliquer la présence de raies sombres.
2. Que peut-on conclure de la présence de raies sombres supplémentaires sur le spectre de Sirius ?
3. On considère un extrait du diagramme d'énergie de l'hydrogène ci-contre.
 - a. Qu'illustre la flèche bleue sur le schéma ?
 - b. Peut-on dire qu'il y a de l'hydrogène dans la chromosphère du Soleil ? Justifier.

JE VÉRIFIE QUE J'AI...

- bien converti les eV en J ;
- exprimé la longueur d'onde en nm pour comparer à celle mesurée.

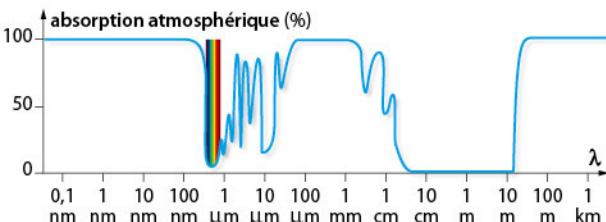


30 Rayonnements ionisants

On considère qu'un rayonnement est ionisant si l'énergie qu'il transporte est supérieure à 13,6 eV. Cette énergie est suffisante pour transformer les atomes en ions. Les rayonnements ionisants peuvent être nocifs pour les organismes vivants.

1. Déterminer la fréquence et la longueur d'onde d'un photon dont l'énergie a pour valeur 13,6 eV.
2. Quelles sont les familles d'ondes électromagnétiques ionisantes ?
3. À l'aide d'une recherche, éventuellement sur Internet, rechercher l'impact des rayonnements ionisants sur la santé.

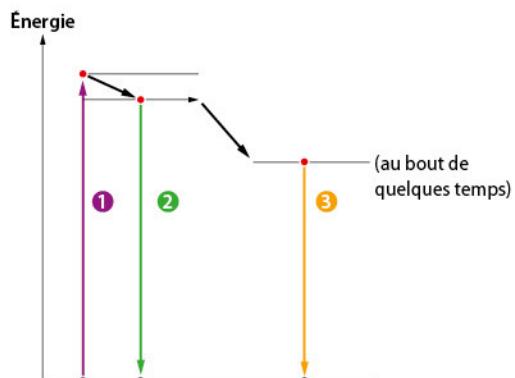
4. À l'aide du document ci-dessous, expliquer pourquoi l'atmosphère terrestre protège les êtres vivants de ces rayonnements.



31 Fluorescence et phosphorescence



On parle de fluorescence et de phosphorescence lorsqu'un objet absorbe de la lumière ultraviolette puis émet de la lumière visible. L'émission de lumière est quasiment instantanée pour la fluorescence contrairement à la phosphorescence pour laquelle la lumière peut-être émise beaucoup plus tard. Le schéma ci-dessous illustre les phénomènes de fluorescence et phosphorescence.



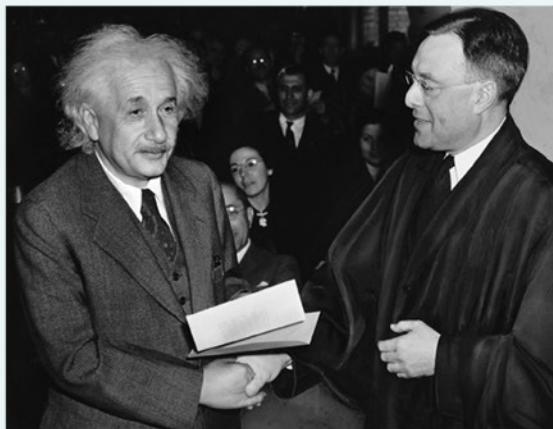
1. Que peuvent représenter les traits horizontaux sur le schéma ?
2. Attribuer à chaque numéro présent sur le schéma sa légende parmi les possibilités suivantes :
 - émission d'un photon par phosphorescence ;
 - émission d'un photon par fluorescence ;
 - absorption d'un photon.
3. a. Dire si les photons 1, 2 et 3 appartiennent au domaine des UV ou du visible.
b. L'énergie des photons émis par fluorescence ou par phosphorescence est-elle supérieure, inférieure ou égale à celle du photon absorbé ?

32 Effet photoélectrique HISTOIRE DES SCIENCES

L'effet photoélectrique est la propriété des matériaux d'émettre des électrons lorsqu'ils sont éclairés par la lumière. On constate qu'il existe une fréquence seuil notée v_s à partir de laquelle ce phénomène se produit. Cette fréquence dépend du matériau étudié. Si on éclaire le matériau avec une onde de fréquence inférieure à la fréquence seuil, aucun électron n'est éjecté du matériau même en augmentant l'intensité de la lumière. Le modèle ondulatoire de la lumière ne permet pas d'expliquer ce phénomène. Albert Einstein (1879-1955) propose une explication en utilisant le modèle particulaire de la lumière. Cette explication lui valut le prix Nobel de physique de 1921.

Césium	$4,6 \times 10^{14}$ Hz
Potassium	$5,6 \times 10^{14}$ Hz
Baryum	$6,0 \times 10^{14}$ Hz
Zinc	$8,1 \times 10^{14}$ Hz
Cuivre	$1,0 \times 10^{15}$ Hz

Dans le tableau ci-contre sont consignées les fréquences seuil de différents métaux.



- Préciser ce que l'on entend par modèle ondulatoire et modèle particulaire de la lumière.
- On envoie un rayonnement de longueur d'onde 450 nm. Pour quels métaux va-t-on observer un effet photoélectrique ? Justifier.
- Quel métal nécessite le photon le plus énergétique ? Le moins énergétique ? Justifier.

33 Réseaux sans fil CALCUL MENTAL

Il existe trois catégories de réseaux sans fil qui sont décrites dans le tableau ci-dessous.

WPAN Wireless Personal Area Network	Portée d'une dizaine de mètres.	Réseau sans fil d'une faible portée, sert à relier des périphériques entre eux. Par exemple : - Bluetooth 2,4GHz - ZigBee 868 MHz
WLAN Wireless Local Area Network	Portée d'une centaine de mètres.	Réseau local sans fil, relie l'ensemble d'un réseau d'entreprise par exemple. Technologie Wi-Fi à 2,4 GHz et 5,0 GHz

WWAN Wireless Wide Area Network	Portée supérieure à une centaine de mètres.	Réseau cellulaire sans fil. 2G : 900-1 800 MHz 3G : 1 900-2 000 MHz 4G : 500-3 800 MHz
------------------------------------	---	---

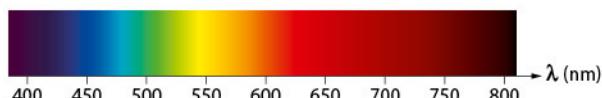
- Quelle grandeur caractérise les réseaux cités ?
- Donner un ordre de grandeurs des valeurs pour chaque réseau sans fil.
- Dans quel domaine d'ondes électromagnétiques se situent les ondes utilisées pour les réseaux sans fil ?
- Les antennes d'émission et de réception ont une dimension de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde utilisées par les différents réseaux. Évaluer l'ordre de grandeur de la taille des antennes pour chaque réseau sans fil.
- À l'aide d'une recherche, éventuellement sur Internet, expliquer les avantages que présentent l'utilisation d'ondes électromagnétiques pour la télécommunication.

34 Laser

Le laser utilisé pour mesurer la distance Terre-Lune a initialement une longueur d'onde de 1 064 nm. Mais un dispositif permet de doubler sa fréquence, de sorte que le laser émet une radiation de longueur d'onde deux fois plus petite à la sortie du télescope. Chaque impulsion émet une énergie $E = 200$ mJ.



Un spectre de la lumière visible avec les longueurs d'onde associées est donné ci-dessous.



- Justifier à l'aide d'une relation mathématique que le fait de doubler la fréquence implique de diviser la longueur d'onde par deux.
- Déterminer la longueur d'onde du faisceau laser en sortie du télescope.
- Justifier la couleur du faisceau sur la photographie.
- Calculer le nombre de photons émis à chaque impulsion.

JE VÉRIFIE QUE J'AI...

- converti la longueur d'onde en nm pour déterminer la couleur ;
- converti les mJ en J.

35 Definition of the second

Since 1967, the second is defined as follows:

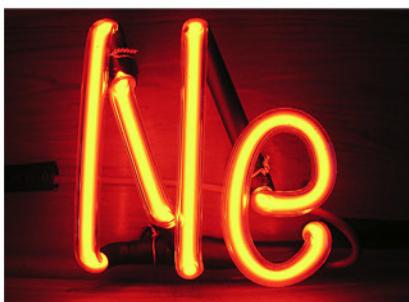
"The second is the duration of 9,192,631,770 periods of the radiation corresponding to the transition between the two hyperfine levels of the ground state of the cesium 133 atom. As a result, the frequency of the hyperfine transition in the ground state of the cesium 133 atom is exactly 9,192,631,770 Hz"

In atomic clocks a frequency wave of 9,192,631,770 Hz in a cavity containing cesium 133 atoms. If the value of the frequency is well adjusted, the cesium 133 atoms absorb this wave.

1. In which field of electromagnetic waves is the wave used in atomic clocks found?
2. What property of the atom is used to define the second?
3. Calculate the energy of the photon absorbed in J then in eV.
4. Draw a diagram to show the absorption of this photon.

36 Néon DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

On appelle couramment « tube néon » les tubes fluorescents utilisés pour l'éclairage. Les premiers tubes contenait effectivement du néon mais ce n'est plus toujours le cas. Lorsque ce tube est mis sous tension, des électrons circulent dans le gaz. Les électrons cèdent de l'énergie aux atomes qui s'excitent, puis se désexcitent en émettant de la lumière. Les tubes contenant du néon émettent une lumière rouge et sont encore utilisés pour certaines enseignes lumineuses. Sur le spectre d'émission du néon, on mesure une raie rouge de longueur d'onde $\lambda = 621,5 \text{ nm}$.



DÉMARCHE AVANCÉE

Déterminer la transition d'énergie à l'origine de la raie rouge du spectre du néon à partir du diagramme d'énergie du néon ci-contre.

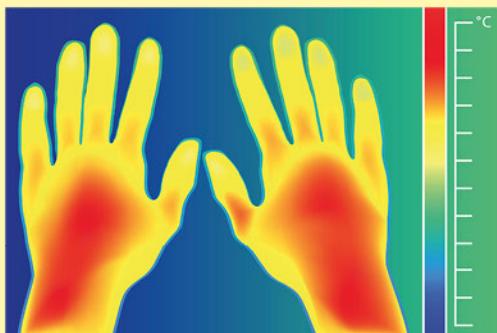
DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

1. Calculer l'énergie d'un photon de longueur d'onde 621,5 nm.
2. a. Trouver à quel écart entre deux niveaux d'énergie correspond l'énergie du photon.
b. Représenter sur le diagramme la transition d'énergie correspondante.



À L'ORAL

37 Ondes électromagnétiques au service de la santé



À l'aide d'une recherche, et des animations ci-dessous, préparer un exposé oral présentant les techniques médicales suivantes : scintigraphie ; radiographie ; lampe germicide ; chirurgie laser ; thermographie.



Cette animation pour présenter la radiographie.



Cette animation pour présenter la scintigraphie.

Pour chaque technique, préciser :

- le domaine d'ondes électromagnétiques qu'elle exploite ;
 - l'ordre de grandeur des fréquences et des longueurs d'onde des ondes utilisées ;
 - son utilisation (diagnostic, traitement), son principe ;
 - le danger qu'elle peut présenter pour les êtres vivants.
- Cet exposé devra utiliser un support informatique.

38 RETOUR SUR LA PAGE D'OUVERTURE

Préparer un exposé oral expliquant pourquoi les lampes des enseignes lumineuses émettent des lumières colorées.



Acquérir des compétences

39 Les aurores polaires

DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

APP Organiser l'information

Comment expliquer les couleurs des aurores polaires ?

DOC 1 Lumière !

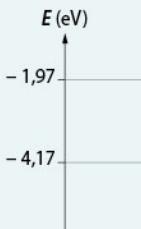
Une aurore polaire (aurore boréale dans l'hémisphère nord et aurore australe dans l'hémisphère sud) est l'apparition soudaine de lumières colorées dans le ciel. Elles s'observent au niveau des pôles magnétiques Nord et Sud de la Terre. Des particules de hautes énergies en provenance du Soleil sont piégées par le champ magnétique de la Terre. Elles cèdent de l'énergie aux atomes et molécules de l'atmosphère. Excités, ils restituent cette énergie en émettant de la lumière. Les couleurs qui apparaissent dépendent des atomes concernés (oxygène, azote etc.).



DÉMARCHE EXPERTE

Expliquer l'origine de la lumière verte des aurores polaires.

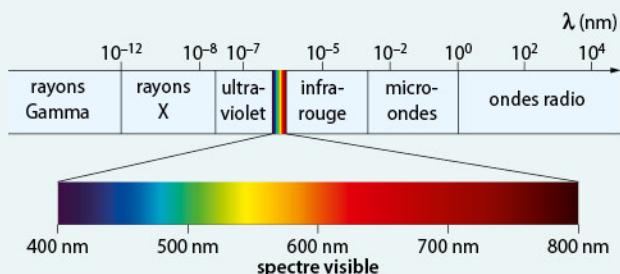
DOC 2 Extrait du diagramme d'énergie de l'atome d'oxygène



DONNÉES

- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
- $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$

DOC 3 Les domaines d'ondes électromagnétiques



DÉMARCHE AVANCÉE

1. Reproduire le document 2 et représenter l'émission d'un photon entre les deux niveaux d'énergie.
2. a. Calculer la longueur d'onde dans le vide du photon émis.
b. À quelle couleur cette longueur d'onde correspond-t-elle ?

40 Ozone

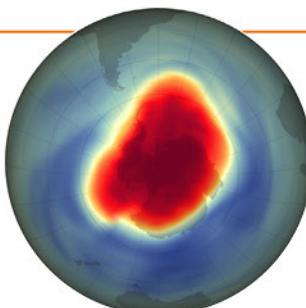
TÂCHE COMPLEXE

AN/RAI Construire les étapes d'une résolution de problème

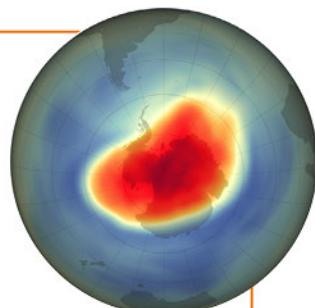
Depuis quelques années, les États ont mis en œuvre des mesures afin de réduire le trou dans la couche d'ozone qui entoure la Terre. La photodissociation de l'ozone est une réaction chimique lors de laquelle l'ozone est décomposé. Elle nécessite que l'ozone reçoive un rayonnement d'une énergie supérieure à 4,01 eV.

LE PROBLÈME À RÉSOUVRIR

Pourquoi la couche d'ozone protège la Terre des rayons ultraviolets les plus dangereux ?



La couche d'ozone en 2000



La couche d'ozone en 2016

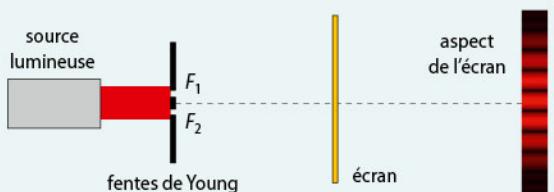
41 Interférences photon par photon

ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

(APP) Organiser l'information

DOC 1 Les interférences

On parle d'interférences lorsque deux ondes se superposent. À certains endroits, elles se renforcent et, à d'autres, elles s'annulent. Lorsque deux lumières se superposent comme dans l'expérience des fentes de Young, on obtient une figure d'interférences : une succession de bandes sombres et brillantes.

**ANALYSE**

1. Les interférences sont-elles une manifestation de l'aspect ondulatoire ou particulaire de la lumière ? Justifier.
2. Dans les documents, quelles sont les références à l'aspect particulier de la lumière ?

SYNTHÈSE

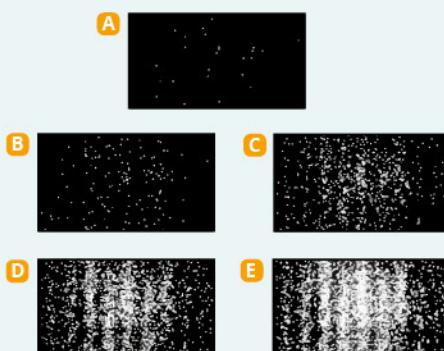
En quoi l'expérience d'interférences des fentes de Young par l'impact de photons est-elle une illustration de la dualité onde-particule ?

POUR VISUALISER

Une animation pour visualiser le phénomène d'interférences de deux ondes de même fréquence.

DOC 2 Photon par photon

On reproduit maintenant l'expérience des fentes de Young, mais avec une source lumineuse très peu puissante qui envoie les photons un par un. Voici les figures que l'on obtient pour des nombres de photons de plus en plus importants, avec un capteur qui modélise l'impact d'un photon par un point lumineux.

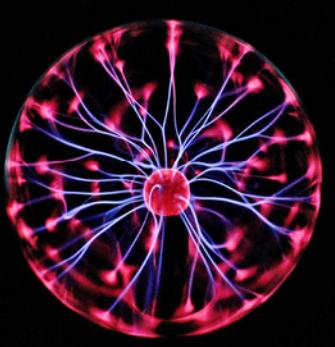
**42** Boule plasma

DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

ECE

(AN/R) Proposer un protocole

(RÉA) Utiliser un modèle



Une boule plasma est un objet de décoration. Il s'agit d'une ampoule remplie de gaz. On applique une forte tension entre la sphère centrale et l'ampoule. Certains atomes s'ionisent alors en émettant des électrons. Ces électrons fournissent de l'énergie par collision avec les atomes de gaz. Ceux-ci se désexcitent ensuite en émettant de la lumière. La couleur de la lumière émise dépend de la nature des atomes présents dans l'ampoule. Un constructeur indique que sa boule plasma contient en particulier du néon.

1. Quel type de spectre va-t-on observer en décomposant la lumière de la boule plasma ? Justifier.
2. À partir de la liste de matériel donnée dans le document 1, proposer un protocole expérimental pour prouver qu'il y a bien du néon dans la boule plasma.
3. En s'appuyant sur le document 2, expliquer l'émission de lumière par le néon dans la boule plasma.

DOC 1 Liste de matériel

Liste de matériel : prisme, réseau, fente, lentille, écran, lampe à vapeur de néon, boule plasma.

DOC 2 Quelques niveaux d'énergie de l'atome de néon

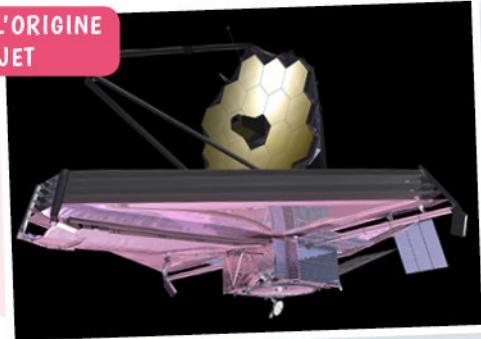
Diagramme simplifié de niveaux d'énergie de l'atome de néon.

DES PISTES POUR L'ORAL TERMINAL

Un projet sur l'étude des rayonnements de l'Univers permet d'aborder des applications concrètes et récentes des connaissances sur les ondes électromagnétiques et le modèle particulaire de la lumière. Ce projet peut croiser les notions de science de la Vie et de la Terre.

UNE SITUATION À L'ORIGINE DE MON PROJET

En 2021, le télescope spatial James Webb aura pour objectif d'atteindre un point stationnaire à 1,5 million de kilomètres de la Terre. Il pourra observer l'Univers dans le visible et l'infrarouge.



DES DOCUMENTS POUR M'AIDER À L'ORIENTER

Observation multi-longueurs d'onde

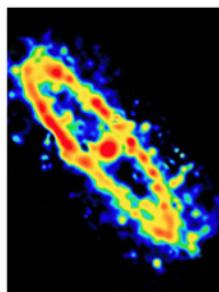
La galaxie d'Andromède n'apparaît pas de la même manière sous différentes longueurs d'onde. Chaque image apporte des informations différentes et complémentaires. L'observation en infrarouge et en ultraviolet permet d'obtenir des informations sur les étoiles en formation ou jeunes. L'observation des rayons X permet de localiser des trous noirs.



Observation des infrarouges



Observation de la lumière visible

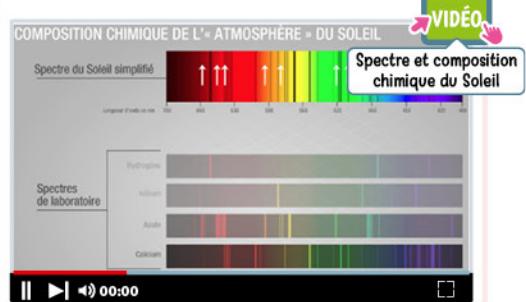


Observation des rayons X

Lumière des étoiles

La décomposition de la lumière des étoiles permet de connaître leur composition et leur température de surface. Ces informations permettent une meilleure connaissance de l'évolution des étoiles.

Une animation pour présenter la composition chimique du Soleil et son spectre.



DES PISTES DE RECHERCHE À EXPLORER



Le vocabulaire scientifique à utiliser

- onde électromagnétique
- rayonnement
- spectre
- longueur d'onde
- émission
- absorption