

Rapport du projet de fin d'étude

# Les techniques spectroscopiques et leurs applications

Faculté des Sciences

Elaboré par :  
Ismail LABIADE<sup>(SMP)</sup>

3 ème année SMP

Filière : Licence Fondamentale Sciences de la Matière Physique

Année Universitaire 2023/2024

# Table des matières

Introduction

Spectre

Techniques spectroscopiques

Applications

Conclusion

# Introduction

La lumière est une onde électromagnétique, ce qui signifie qu'elle est composée de champs électriques et magnétiques oscillants perpendiculairement l'un à l'autre et se propageant à travers l'espace sous forme des photons. Elle est visible à l'œil humain et est essentielle à la vie sur terre Pour voir un objet, il est nécessaire que de la lumière provenant de cet objet pénètre dans les yeux de l'observateur. Les détecteurs de lumières (œil, caméra, ...) sont sensibles à l'intensité lumineuse. Celle-ci est définie comme étant l'énergie lumineuse reçue par unité de surface et par unité de temps.

C'est donc une puissance par unité de surface La spectroscopie a été développée par plusieurs scientifiques au cours des siècles.

Isaac Newton au XVIIe siècle, découvert que la lumière blanche pouvait être décomposée en une gamme de couleurs à travers un prisme. Au XIXe siècle, Gustav Kirchhoff et Robert Bunsen ont utilisé la spectroscopie pour étudier les spectres de lumière émis par les éléments chimiques. Ils ont ainsi découvert que chaque élément émet une lumière avec une gamme de longueurs d'onde spécifiques, créant un "**spectre de raies**" unique pour chaque élément.

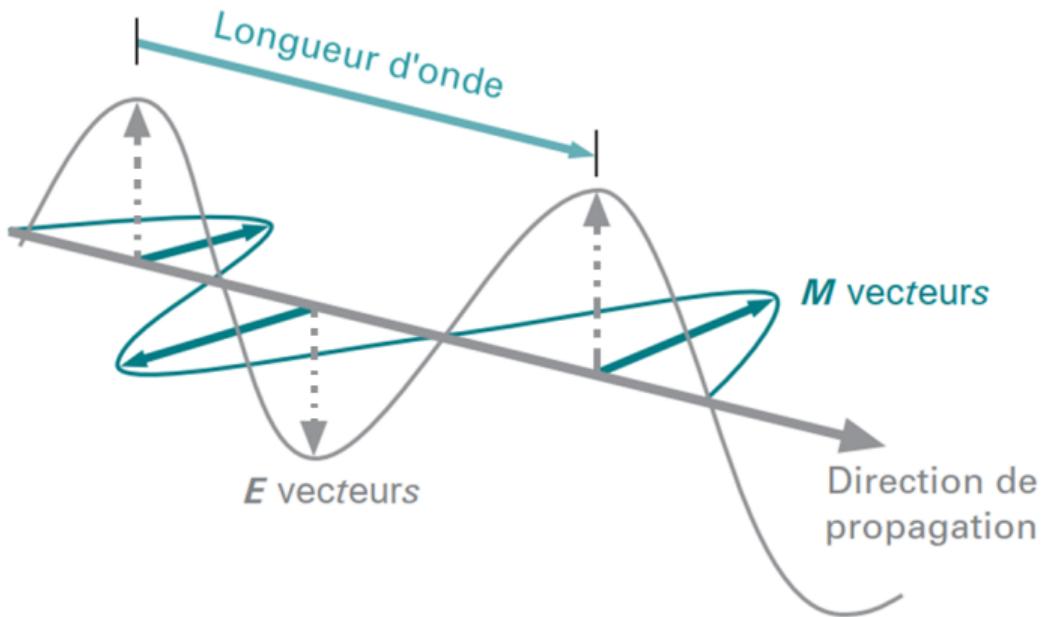


Figure: Onde électromagnétique

# Matière

**la matière** En physique, la matière est tout ce qui compose les corps qui nous entourent, tout ce qui a une masse et un volume. On peut la définir plus simplement comme une substance matérielle dont les caractéristiques fondamentales sont l'étendue et la masse, et qui occupe donc de l'espace.

La matière peut se présenter sous différents états :

**Solide:** les particules sont très proches les unes des autres et ont une structure fixe.

**Liquide:** les particules sont proches les unes des autres mais peuvent se déplacer librement.

**Gazeux:** les particules sont très éloignées les unes des autres et se déplacent librement.

**Plasma:** un état ionisé de la matière où les particules sont chargées électriquement.

Il existe différents types de matière, comme la matière ordinaire, la matière noire et l'énergie noire. La matière ordinaire est celle que nous connaissons et qui compose les étoiles, les planètes et les êtres vivants. La matière noire est une matière invisible qui ne peut être détectée que par son interaction gravitationnelle. L'énergie noire est une force mystérieuse qui est responsable de l'expansion accélérée de l'univers. La matière est un sujet fascinant qui est étudié par les scientifiques depuis des siècles. Il y a encore beaucoup de choses que nous ne savons pas sur la matière, mais nous continuons à en apprendre davantage chaque jour.

# Atome

La matière est composée d'atomes, qui sont les plus petites particules d'un élément qui conservent ses propriétés chimiques. Les atomes sont eux-mêmes composés de protons (**z**), de neutrons (**n**) et d'électrons, (**e<sup>-</sup>**),

$$(z + n = A) \quad (1)$$

c'est le nombre de masse atomique



## Électrons et niveaux d'énergie

Les atomes d'un élément possèdent des électrons qui occupent différents niveaux d'énergie. Imaginez des orbites autour du noyau atomique, chaque orbite représentant un niveau d'énergie spécifique.

**Absorption et émission d'énergie, excitation** L'absorption et l'émission d'énergie sont des processus fondamentaux qui se produisent dans les systèmes quantiques, tels que les atomes, les molécules et les noyaux. Ils impliquent l'interaction de ces systèmes avec des photons, qui sont des quanta d'énergie électromagnétique.

**Absorption d'énergie** Lorsqu'un système quantique absorbe un photon, il passe à un état d'énergie plus élevé. Ce processus est appelé excitation. L'énergie du photon doit être égale à la différence d'énergie entre les deux niveaux d'énergie impliqués dans la transition.

**Émission d'énergie** Lorsqu'un système quantique redescend à un état d'énergie plus bas, il émet un photon. Ce processus est appelé émission. L'énergie du photon émis est égale à la différence d'énergie entre les deux niveaux d'énergie impliqués dans la transition.

# Types d'excitation

**Excitation électrique:** Un système quantique peut être excité par un champ électrique.

**Excitation optique:** Un système quantique peut être excité par un photon.

**Excitation thermique:** Un système quantique peut être excité par l'absorption d'énergie thermique.

# Spectre d'émission

Est composé de raies lumineuses de différentes longueurs d'onde. Chaque raie correspond à une transition d'un électron d'un niveau d'énergie à un autre niveau d'énergie plus bas. La longueur d'onde de la raie est déterminée par la différence d'énergie entre les deux niveaux d'énergie. Par exemple, le spectre d'émission de l'hydrogène est composé de quatre raies principales dans le visible: rouge, bleu-vert, violet et bleu.

# Spectre d'absorption

Est composé de raies noires sur un fond continu. Les raies noires correspondent aux longueurs d'onde de la lumière qui ont été absorbées par les atomes ou les molécules du gaz. L'absorption de la lumière se produit lorsque l'énergie des photons correspond à la différence d'énergie entre deux niveaux d'énergie des électrons. Par exemple, le spectre d'absorption du sodium montre une raie noire caractéristique à la longueur d'onde de 589 nm.

# Quelques particules qui peuvent produire les rayonnements

- **Les électrons:** Ils peuvent produire du rayonnement lorsqu'ils sont accélérés ou décélérés. C'est le cas, par exemple, dans les tubes à rayons X, où les électrons sont accélérés à grande vitesse par un champ électrique puis brusquement stoppés par une cible métallique. Cela produit des rayons X, qui sont des ondes électromagnétiques de haute énergie.

- **Les noyaux atomiques:** Ils peuvent produire du rayonnement lorsqu'ils sont instables et se désintègrent. C'est le cas de la radioactivité. Il existe trois types principaux de rayonnement radioactif :
  - **Le rayonnement alpha:** Il s'agit de noyaux d'hélium, constitués de deux protons et de deux neutrons.
  - **Le rayonnement bêta:** Il s'agit d'électrons ou de positrons (électrons antiparticules).
  - **Le rayonnement gamma:** Il s'agit d'un rayonnement électromagnétique de très haute énergie, similaire aux rayons X mais d'origine nucléaire.

- **Les photons:** Ce sont des particules élémentaires qui constituent la lumière et les autres ondes électromagnétiques. Ils peuvent être produits par des transitions d'électrons dans les atomes ou par des réactions nucléaires.

Le type de rayonnement produit dépend de la source et de l'énergie des particules ou des ondes en jeu. Chaque type de rayonnement a ses propres propriétés et peut interagir avec la matière de différentes manières. Il est important de noter que le rayonnement peut être dangereux pour la santé humaine. Il est donc important de se protéger des sources de rayonnement, en particulier des rayonnements ionisants tels que les rayons X et le rayonnement gamma.

## Phénomène lumineux:

- ① Incandescence
- ② Fluorescence
- ③ Phosphorescence

## Effects lumineux:

- ① Effet photovoltaïque
- ② Effet photoélectrique
- ③ Effet compton

# Exemple d'atome de l'hydrogène ${}^1_1H$ :

Pendant l'ionisation de l'hydrogène, l'électron émet un nombre infini de raies spectrales jusqu'à ce qu'il soit arraché de l'atome. Ces raies correspondent à l'émission de photons par l'électron lorsqu'il passe d'un état d'énergie élevé à un état d'énergie inférieur.

La série de raies la plus connue de l'hydrogène est la série de Lyman, qui correspond à la transition de l'électron vers le niveau d'énergie 1. Les autres séries importantes sont la série de Balmer (transition vers le niveau d'énergie 2), la série de Paschen (transition vers le niveau d'énergie 3), etc.

Le nombre de raies émises par l'électron dépend de l'énergie initiale de l'électron. Plus l'énergie initiale est élevée, plus l'électron émettra de raies.

Cependant, il est important de noter que l'électron ne peut pas émettre n'importe quelle raie spectrale. Les raies émises sont quantifiées, c'est-à-dire qu'elles correspondent à des transitions spécifiques entre des niveaux d'énergie bien définis.

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$
$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

**E** L'Energie en (J)

**h** La constante de Planck

**c** Vitesse de la lumière dans le vide

$\lambda$  la longueur d'onde du photon en (m)

**R** la constante de Rydberg

quelques exemples de raies émises par l'hydrogène lors de son ionisation :

### Série de Lyman:

- ① Lyman alpha ( $\lambda = 121,5 \text{ nm}$ )
- ② Lyman bêta ( $\lambda = 102,6 \text{ nm}$ )
- ③ Lyman gamma ( $\lambda = 97,3 \text{ nm}$ )

### Série de Balmer:

- ① Balmer alpha ( $\lambda = 656,3 \text{ nm}$ )
- ② Balmer bêta ( $\lambda = 486,1 \text{ nm}$ )
- ③ Balmer gamma ( $\lambda = 434,0 \text{ nm}$ )

L'ionisation de l'hydrogène est un processus important en astrophysique, car elle permet d'expliquer le spectre des étoiles et des nébuleuses.

# Utilisations

Les spectres d'émission et d'absorption sont utilisés pour identifier les éléments et les composés chimiques. Ils sont également utilisés pour déterminer la composition des étoiles et des galaxies. De plus, ils permettent d'étudier la structure des atomes et des molécules.

# Spectroscopie

**Spectroscopie** : une technique d'analyse qui consiste à mesurer l'interaction entre un rayonnement électromagnétique et un échantillon de matière.

# Spectroscope

**Spectroscope** : un instrument qui permet d'analyser la lumière en séparant ses différentes couleurs, également appelées longueurs d'onde. On peut se baser sur l'analogie avec un arc-en-ciel, où la lumière solaire est dispersée par les gouttelettes d'eau en un spectre visible. Le spectroscope fonctionne grâce à un élément séparateur, généralement un prisme ou un réseau. Le prisme dévie la lumière selon sa longueur d'onde, ce qui crée un étalement des couleurs. En observant cet étalement à travers l'instrument, on obtient un spectre optique. Les spectroscopes sont utilisés dans de nombreux domaines scientifiques pour analyser la composition chimique des matériaux, étudier les étoiles et les galaxies, ou encore identifier des molécules. L'analyse du spectre permet de révéler des informations précieuses sur la composition et les propriétés de l'objet analysé.

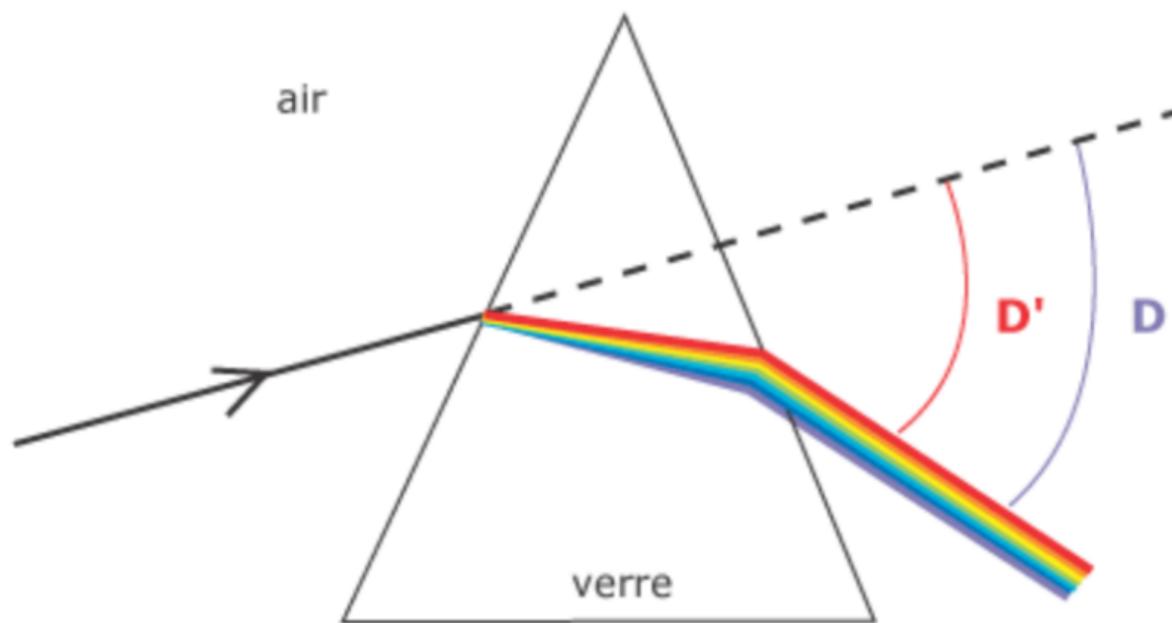
# Les dispositifs de dispersion

## Dispersion de la lumière polychromatique par un prisme

Lorsqu'un faisceau de lumière polychromatique (comme la lumière blanche) traverse un prisme, il est décomposé en ses différentes couleurs constitutives. Ce phénomène est appelé dispersion de la lumière.

Un prisme est un matériau transparent à faces planes, généralement en verre ou en plastique. Lorsque la lumière polychromatique traverse un prisme, elle est réfractée à différentes vitesses selon sa longueur d'onde. Les indices de réfraction des différents matériaux varient en fonction de la longueur d'onde, ce qui explique la dispersion de la lumière. Applications Spectroscopie, lasers  
Décomposition de la lumière, analyse de la lumière

## Dispersion de la lumière polychromatique par un prisme



**Figure:** Dispersion de la lumière polychromatique par un prisme

## Explication :

La lumière blanche est composée de toutes les couleurs du spectre visible. Chaque couleur a une longueur d'onde différente. Lorsque la lumière blanche traverse un prisme, les différentes longueurs d'onde sont réfractées à des angles différents par le matériau du prisme. La lumière rouge, qui a la longueur d'onde la plus longue, est réfractée le moins, tandis que la lumière violette, qui a la longueur d'onde la plus courte, est réfractée le plus.

## Résultat :

Le prisme sépare la lumière blanche en ses différentes couleurs constitutives, créant un spectre visible. Ce spectre est composé des couleurs suivantes, par ordre décroissant de longueur d'onde : rouge, orange, jaune, vert, bleu, indigo et violet

## Dispersion de la lumière polychromatique par un réseau

La lumière polychromatique, composée de différentes longueurs d'onde, est diffractée par un réseau selon un angle qui dépend de la longueur d'onde. Cet phénomène est appelé dispersion de la lumière.

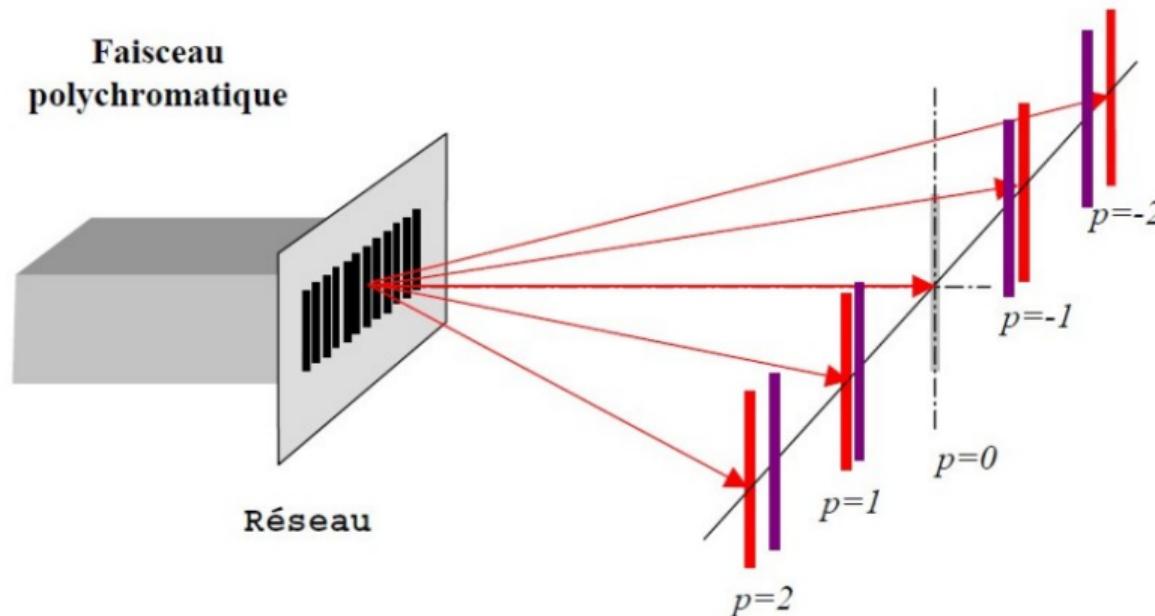
### Dispersion par un réseau

Un réseau de diffraction est constitué d'un ensemble de fentes ou de rainures régulièrement espacées. Lorsque la lumière polychromatique traverse un réseau, elle est diffractée dans différentes directions selon sa longueur d'onde. Les directions de diffraction sont déterminées par l'angle d'incidence de la lumière et la période du réseau.

# Fonctionnement

Un réseau est constitué d'un ensemble de fentes fines et parallèles séparées par des intervalles réguliers. Lorsque la lumière polychromatique traverse le réseau, elle est diffractée par chaque fente. La direction de la diffraction dépend de la longueur d'onde de la lumière et de l'angle d'incidence de la lumière sur le réseau.

# Dispersion de la lumière polychromatique par un réseau



**Figure:** Dispersion de la lumière polychromatique par un réseau

L'angle de diffraction  $\theta$  est donné par l'équation de réseau :

$$n\lambda = d(\sin\theta + \sin\alpha)$$

où :

- $n$  est l'ordre de la diffraction
- $\lambda$  est la longueur d'onde de la lumière
- $d$  est la distance entre les fentes du réseau
- $\alpha$  est l'angle d'incidence de la lumière sur le réseau

## Conséquences :

- Les différentes longueurs d'onde de la lumière polychromatique sont diffractées dans des directions différentes.
- Un spectre est formé, avec les différentes couleurs de la lumière séparées. La résolution du spectre dépend du nombre de fentes du réseau.

# Différences entre Réseaux et Prismes

## Dispersion de la lumière polychromatique

### Avantages des réseaux :

- Plus grande résolution que les prismes
- plus net avec des raies distinctes
- Utilisés dans des applications où une haute résolution est nécessaire, comme la spectroscopie et les lasers.

### Avantages des prismes :

- Plus simples et moins chers que les réseaux
- Spectre continu avec toutes les couleurs visibles
- Utilisés dans des applications où une haute résolution n'est pas nécessaire, comme la décomposition de la lumière et l'analyse de la lumière

# L'Approximation de Wien

Approximation de Wien et Température des Etoiles L'approximation de Wien, formulée par Wilhelm Wien en 1896, permet d'estimer la température d'un corps noir à partir de la longueur d'onde du maximum de son émission spectrale. Cette relation est particulièrement utile en astrophysique pour déterminer la température des étoiles.

**Formule:** L'approximation de Wien se présente sous la forme suivante :

$\lambda_{max} \times T = a$  où :

- $\lambda_{max}$  est la longueur d'onde du maximum d'émission spectrale en mètres (m)
- T est la température du corps noir en Kelvin (K)
- a est la constante de Wien, approximativement égale à  $2,89777 * 10^{-3}$  mK

## **Limits:**

Il est important de noter que l'approximation de Wien est une approximation et ne donne pas une valeur exacte de la température. Elle est plus précise pour les corps noirs parfaits, ce qui n'est pas toujours le cas des étoiles. De plus, l'approximation de Wien ne prend pas en compte l'absorption atmosphérique, qui peut affecter la longueur d'onde du maximum d'émission spectrale observée.

## **Conclusion**

L'approximation de Wien est un outil utile pour estimer la température des étoiles et d'autres corps noirs. Bien qu'elle ne soit pas toujours exacte, elle offre une première approximation rapide et simple.

# Exercice

## Application de la loi de Wien à une étoile:

### Énoncé

Soit une étoile dont le spectre présente un pic d'émission à une longueur d'onde de 459 nm.

### Déterminons

La température de l'étoile en utilisant la loi de Wien. La couleur approximative de l'étoile.

### Données

Longueur d'onde du pic d'émission ( $(\lambda_{max}) = 459\text{nm} = 459 \times (10^{-9})\text{ m}$ )

Constante de Wien (a) =  $2,89777 \times (10^{-3})\text{ m K}$

# Solution d'exercice

## 1. Calcul de la température:

Utilisons la formule de la loi de Wien:

$$T = a/\lambda_{max} \quad T = (2,89777 \times 10^{-3})mK / (459 \times 10^{-9})m = 6313K.$$

## 2. Détermination de la couleur:

Rappelons que la couleur d'une étoile est liée à sa température. Plus la température est élevée, plus la couleur est bleue. Plus la température est basse, plus la couleur est rouge.

Avec une température de 6313 K, l'étoile est bleue.

## Conclusion

L'étoile a une température approximative de 6313 K. Sa couleur approximative est bleue.

# Spectre

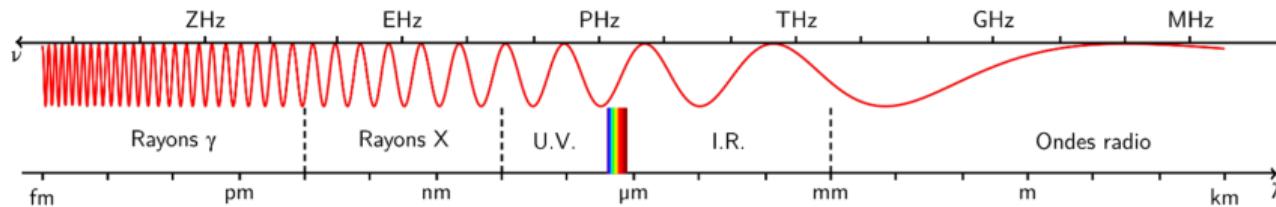


Figure: Spectre

Un spectre est une représentation de la répartition d'une onde en fonction de sa longueur d'onde, de sa fréquence ou d'une autre propriété physique. Il peut être utilisé dans divers domaines, comme la physique, l'optique, la chimie, la médecine et même au sens figuré.

# Spectroscopie gamma $\gamma$

## La spectroscopie gamma $\gamma$

est une technique d'analyse qui utilise les rayons gamma émis par les noyaux radioactifs pour identifier les éléments présents dans un échantillon et déterminer leur concentration.

# Principe de Spectroscopie gamma $\gamma$

## Principe de Spectroscopie gamma $\gamma$

Lorsque les noyaux radioactifs se désintègrent, ils émettent des rayons gamma, qui sont des photons de haute énergie. L'énergie des rayons gamma est caractéristique de l'isotope radioactif qui se désintègre.

# Spectroscopie X

## Spectroscopie X

La spectrométrie photoélectronique X est une méthode de spectrométrie photoélectronique qui implique la mesure des spectres de photoélectrons induits par des photons de rayon X. Dans une expérience XPS, l'échantillon est bombardé par des rayons X d'une certaine longueur d'onde, ce qui émet un photoélectron qui est par la suite détecté. Les photoélectrons ont des énergies propres à chaque élément, ce qui permet de déterminer la composition de l'échantillon. Pour une analyse qualitative, l'élément doit avoir une concentration plus élevée que 0,1 %, tandis qu'une analyse quantitative peut être effectuée si 5 % de l'élément est présent<sup>1</sup>.

# Principe de Spectroscopie X

## Principe de Spectroscopie X

La spectrométrie photoélectronique X a la particularité d'émettre les électrons de cœur des atomes à la surface de l'échantillon, contrairement à la spectrométrie photoélectronique UV qui émet les électrons de valence<sup>1</sup>. Spectroscopie Photoélectronique UV.

# Spectrométrie UV

## Spectrométrie UV

La spectrométrie photoélectronique UV est une méthode de spectrométrie photoélectronique qui implique la mesure des spectres de photoélectrons induits par des photons ultraviolets (UV). Elle est utilisée pour étudier les niveaux d'énergie de la couche de valence et les liaisons chimiques, surtout le caractère liant des orbitales moléculaires.

# Principe de Spectroscopie UV

## Principe de Spectroscopie UV

Son principe consiste à mesurer l'énergie des électrons émis par effet photoélectrique en ionisant les atomes d'un solide, un gaz ou un liquide avec un rayonnement ultra-violet ou X. Dans le cas des solides, seuls les atomes de surface (moins de 1 nm) peuvent être ionisés, il s'agit donc d'une technique limitée à l'étude des surfaces.

# Spectroscopie infrarouge IR

## Spectroscopie infrarouge IR

La spectroscopie infrarouge (IR) est une technique d'analyse chimique qui utilise le rayonnement infrarouge pour étudier les molécules et les composés chimiques. Cette technique est basée sur le fait que les molécules absorbent les rayonnements infrarouges à des fréquences spécifiques, ce qui permet de détecter les vibrations moléculaires qui sont caractéristiques de chaque composé.

# Principe de la spectroscopie infrarouge

## Principe de la spectroscopie infrarouge

En pratique, la spectroscopie infrarouge consiste à mesurer l'absorption des rayonnements infrarouges par un échantillon de matériau à des fréquences précises. Ces fréquences sont ensuite utilisées pour identifier les groupes fonctionnels présents dans le composé. Par exemple, la spectroscopie infrarouge peut être utilisée pour identifier les groupes hydroxyles (-OH) présents dans les alcools, les groupes carbonyles (-C=O) présents dans les cétones et les aldéhydes, les groupes amines (-NH<sub>2</sub>) présents dans les protéines, etc..

# Spectroscopie Radio

## Spectroscopie Radio

La spectroscopie radio est une technique d'analyse qui utilise les propriétés radioélectriques des atomes et des molécules pour les identifier et déterminer leur structure. Elle repose sur l'absorption ou l'émission de photons radio par les noyaux atomiques ou les électrons des molécules. Les ondes radio sont de très faible énergie.

# Principe de spectroscopie Radio

## Principe de spectroscopie Radio

Lorsque les atomes ou les molécules sont exposés à un rayonnement radioélectrique de fréquence appropriée, ils peuvent absorber l'énergie des photons et passer à un état d'énergie plus élevé. Cette absorption est quantifiée et se produit à des fréquences spécifiques caractéristiques de chaque élément ou composé.

# Techniques spectroscopiques

- Spectroscopie de résonance magnétique nucléaire RMN
- Spectroscopie IRTF
- Spectrométrie de mobilité ionique
- Spectroscopie de résonance acoustique

# Applications

## Applications de la spectroscopie dans différents domaines :

**1-En chimie** : la spectroscopie permet d'identifier et de quantifier les composants chimiques d'un échantillon, de caractériser la structure des molécules et de comprendre les réactions chimiques. Elle est utilisée dans l'analyse de l'eau et des sols, le contrôle qualité des produits chimiques et pharmaceutiques, ainsi que dans la synthèse et la caractérisation de nouveaux matériaux.

**2-En médecine :** la spectroscopie est utilisée dans le diagnostic et le suivi de maladies. Par exemple, la spectroscopie infrarouge permet de détecter des anomalies dans les tissus et de diagnostiquer des maladies comme le cancer. La spectroscopie Raman permet également d'identifier des molécules et des tissus biologiques.

**3-En astronomie :** la spectroscopie permet d'analyser la lumière émise par les étoiles, les galaxies et les objets célestes pour comprendre leur composition chimique, leur température et leur mouvement. Cette technique permet également de détecter des exoplanètes et de comprendre leur atmosphère.

**4-En géologie :** la spectroscopie est utilisée pour étudier la composition des minéraux et des roches, pour comprendre leur formation et leur évolution géologique. La spectroscopie infrarouge est particulièrement utile dans ce domaine pour identifier les minéraux dans les échantillons.

**5-En environnement** : la spectroscopie est utilisée pour détecter et quantifier les polluants dans l'eau, l'air et les sols. Elle permet également de surveiller les changements climatiques en étudiant les gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Ces exemples montrent la diversité des applications de la spectroscopie dans différents domaines scientifiques et technologiques.

# Conclusion

La spectroscopie est un domaine en évolution qui continue de se développer et d'offrir de nouvelles possibilités pour la recherche en physique.

quelques perspectives d'avenir pour la spectroscopie en physique :

Spectroscopie haute, Spectroscopie non-invasive, Spectroscopie en temps réel

Spectroscopie dans le domaine temporel

Utilisation de la spectroscopie pour la caractérisation de matériaux avancés

En somme, la spectroscopie continue d'être un domaine de recherche en constante évolution qui offre des perspectives prometteuses pour la compréhension et la caractérisation des matériaux et des systèmes physiques.

Les avancées technologiques récentes permettent des mesures toujours plus précises et de nouveaux domaines d'application, offrant de nombreuses opportunités pour la recherche en physique.

Merci De Votre Attention