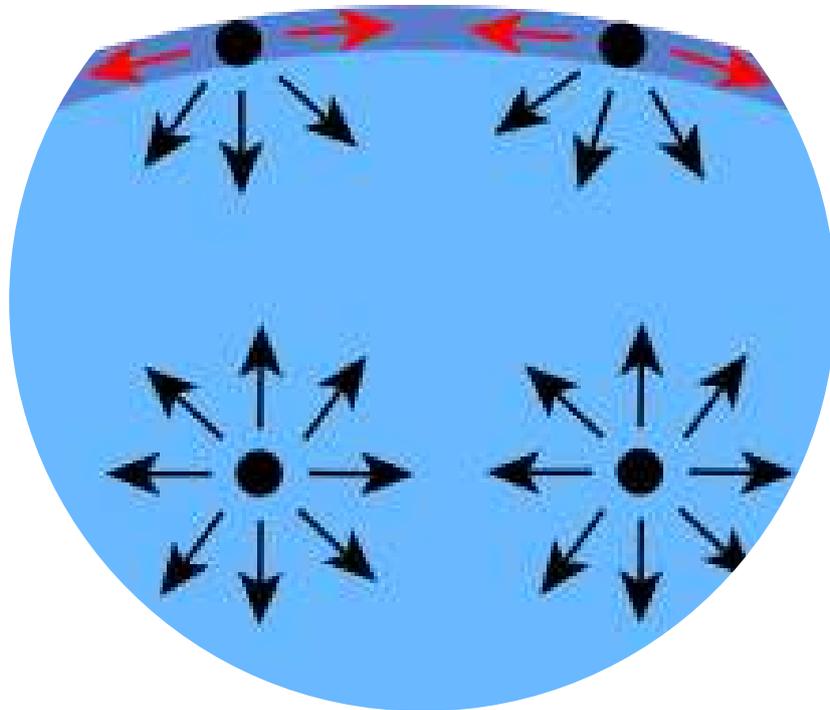


Biophysique



SCIENCES DE LA VIE



Shop



- Cahiers de Biologie + Lexique
- Accessoires de Biologie



Etudier



Visiter [Biologie Maroc](http://www.biologie-maroc.com) pour étudier et passer des QUIZ et QCM en ligne et Télécharger TD, TP et Examens résolus.

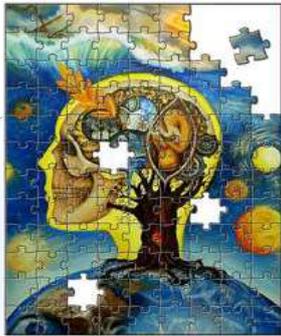


Emploi



- CV • Lettres de motivation • Demandes...
- Offres d'emploi
- Offres de stage & PFE

Cours de Biophysique



Université Abdelmalek Essaadi

Faculté des sciences de Tétouan

Département de Biologie



SV3

2021/2022

Pr. Khouzaima El Biari

Nature de module de Biophysique: **Majeur**

Pré-requis pédagogiques:

Validation des modules: M1, M2, M5 et M6

Biologie cellulaire/ Embryologie et Histologie/ Physique 1
(optique, physique nucléaire, thermodynamique)/ Chimie 1
(chimie générale)

Connaissances pré-acquises:

- Notions de physique générale et thermodynamique
- Atomistique et chimie en solution

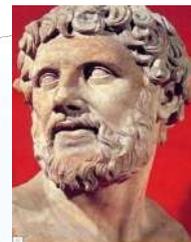
Introduction de la Biophysique

- ▶ Aperçu historique
- ▶ Définition de la notion de Biophysique
- ▶ Domaines d'applications & approches expérimentales de la Biophysique

Aperçu historique

Démocrite a développé la **théorie atomique de l'univers**

- **Les atomes** sont invisibles, homogènes, incompressible et éternels
- **Les atomes** se différencient juste en forme et en taille, mais les qualités internes restent les mêmes
- Les propriétés de la matière varient selon les regroupements des atomes



(440) A.C.

Le terme « atome » est dérivé du mot grec *atomos*, qui signifie « ce qui ne peut être divisé ».

Aperçu historique

La théorie atomique, ne s'appuie pas sur des expériences pratiques, mais elle est expliquée tout simplement par le raisonnement logique

Les érudits pythagoriciens (550 A.C) ont distingués quatre sciences: l'arithmétique, la géométrie, la musique et l'astronomie

A l'époque du philosophe grec Aristote (384-322 A.C) d'autres domaines ont été déjà reconnus ; La mécanique, l'optique, la physique, la météorologie, la zoologie et la botanique

Aperçu historique

Euclide Représente lumière par une masse de filets rectilignes (les rayons lumineux)

Après 1300 ans

Ibn Al-Haitam Comprend le fonctionnement de l'œil et affirme au contraire de l'Euclide que la lumière provient des objets, mieux en s'appuient sur des nombrables expériences, il ébauche **les lois de la réflexion et de la réfraction.**

une science basé sur le raisonnement logique



Euclide (300....) A.C.

une science nouvelle, basé sur l'observation, l'expérimentation et la mesure



Alhazem (≈ 1000)

Aperçu historique

Avec le développement de la mécanique par le physicien et astronome italien **Galileo Galilée** et le physicien britannique **Isaac Newton**, la bifurcation entre la médecine et la physique commence.

Le même individu s'engage simultanément dans des études de la mécanique, de la physique et de la médecine.

Par conséquent aujourd'hui on trouve encore dans la littérature anglaise la même racine dans le mots utilisé pour désigner les professionnels médicaux et de la physique: **physicians** et **physicists**, respectivement.



Galileo Galilei
(1564-1642)



Isaac
Newton
(1642-1727)

Aperçu historique

Exemples d'utilisation des connaissances physiques pour répondre aux problèmes dans le domaine de la médecine

Thermomètre



un thermomètre constitué d'un cylindre de verre contenant un liquide transparent et une série de bulles remplies de liquide coloré différemment dont les densités sont conçues pour qu'ils coulent un à un



Fondateur de la physique expérimentale



Galileo Galilée
(1564-1642)

Médecin-philosophe



Santorio de Padoue
(1561-1636)

Aperçu historique

Exemples des appareils inventés et qui rentrent dans le champ d'interaction entre la physique et la médecine

Le père de la microbiologie **Anton van Leeuwenhoek** un physicien néerlandais qui a développé le premier microscope optique à haute résolution avec une seule lentille.

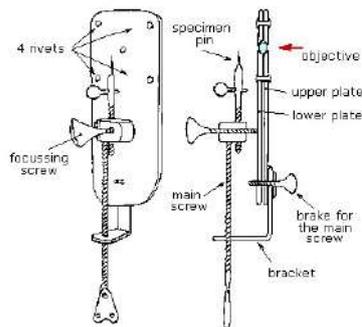


Figure 1 - Diagram of the microscope constructed by Antoni van Leeuwenhoek in the XVII century



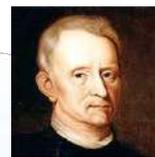
Anton van Leeuwenhoek (1653)



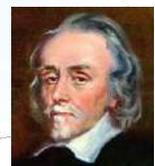
Microscope Optique

Aperçu historique

Robert Hooke (1635-1703) un scientifique anglais, introduit dans le vocabulaire biologique en 1675 le **concept de la cellule**.



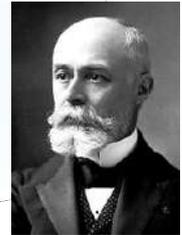
William Harvey (1578-1657) médecin anglais a mené les premières expériences **d'études de flux de sanguine**, des études qui ont été poursuivies pour le philosophe français **Jean Louis Marie Poiseuille** (1799-1869) au XIXe siècle.



Aperçu historique

Des **rayons X** par **Wilhelm Cornard Roentgen** (1845-1923) en 1895

La **radioactivité** par **Antoine Henri Becquerel** (1852-1908) en 1896



Roentgen constate alors que ces rayons, jusqu'alors inconnus et qu'il baptise pour cette raison rayons "X", capables non seulement de traverser l'air mais aussi le verre, le papier, le bois, mais il n'arrivent pas à traverser l'os.

Aperçu historique

Après, La physique a réussi l'ouverture de plusieurs portes à la science médicale par la fourniture de techniques innovantes. Appart le **diagnostic par l'imagerie**.

❖ **La médecine nucléaire** : Un domaine spécialisé de la médecine dans lequel les substances radioactives sont utilisées dans le but de diagnostiquer ou soigner un problème de santé

❖ **L'utilisation du magnétisme** : Permettant d'obtenir des vues en 2 ou en 3 dimensions de l'intérieur du corps de façon non invasive avec une résolution en contraste

**Des Prix Nobel en Médecine et en Physiologie
accordées à des professionnels non médicaux**

Prix Nobel en médecine accordées à des professionnels non médicaux

❖ **Maurice Wilkins**, un **biophysicien** britannique, il partage le prix Nobel de physiologie et de la médecine en 1962 avec **Watson et Crick**. C'est son travail, ainsi que celui de sa collègue **Rosalind Elsie Franklin** qui conduisit **James Dewey Watson** et **Francis Crick** à proposer la structure moléculaire de l'acide désoxyribonucléique (ADN) par des techniques de diffraction des rayons X en **1953**

❖ **Alan Lloyd Hodgkin**, **biophysicien** britannique qui a partagé le prix Nobel de physiologie et de médecine en **1963** avec **Andrew Fen** formulant des équations mathématiques exprimant les phénomènes électriques accompagnant la décharge d'une cellule nerveuse ou neuronale.

❖ **Max Delbruck** un **biophysicien** germano-américain, un physicien de l'Université de Göttingen, ces études, avec lequel il a remporté le prix Nobel de physiologie et de médecine en **1969**, portait sur les bactériophages.

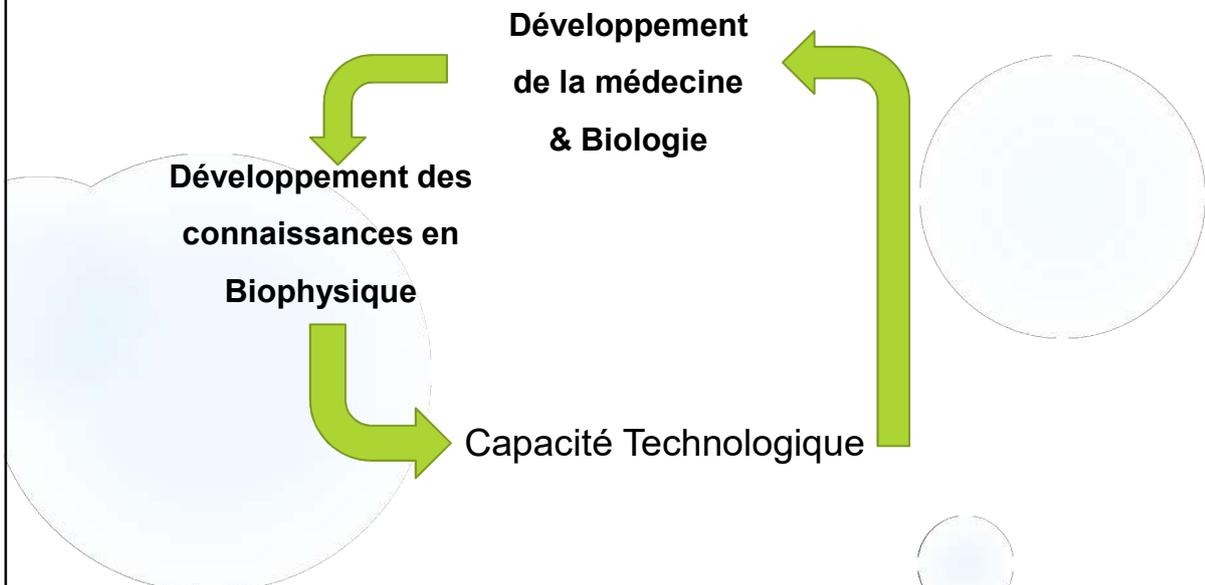
Prix Nobel en médecine accordées à des professionnels non médicaux

Allan M. Cromack de Johannesburg (Afrique du Sud). Il a étudié la **génie électronique** et la **physique**. Il a obtenu le prix Nobel de physiologie et de médecine en **1979** partagé avec **Mawbold Godfrey Hounsfield** par la découverte et le développement de la tomographie assistée par ordinateur.

Erwin Neher, de nationalité allemande. **Biophysicien** qui a partagé le prix Nobel de physiologie et de médecine en **1991** avec **Bert Sakmann** pour ses études sur les canaux ioniques dans la membrane cellulaire.

Peter Mansfield **physicien** britannique, reçoit le prix Nobel de physiologie ou médecine **2003** pour la découverte et le développement de l'imagerie par la résonance magnétique nucléaire, partagé avec **Paul Christian Lauterbur**

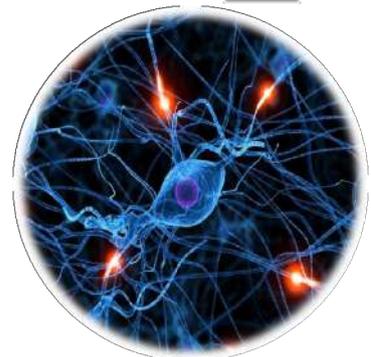
Domaines de la Biophysique



Domaines de la Biophysique

Bioélectricité

Etude des phénomènes électromagnétiques et électrochimiques qui se produisent dans les organismes vivants..



- La réception des signaux externes pour les organismes
- La transition de l'impulsion nerveuse

Domaines de la Biophysique

Bioénergétique

Etude des transformations qui se produisent dans les organismes vivants.

- Le flux d'énergie dans les systèmes vivants
- Les processus biomécaniques de l'équilibre
- Le processus de l'alimentation et la maintient énergétique de l'organisme

La production de biocombustible ou de biomasse à partir de l'utilisation de la matière organique

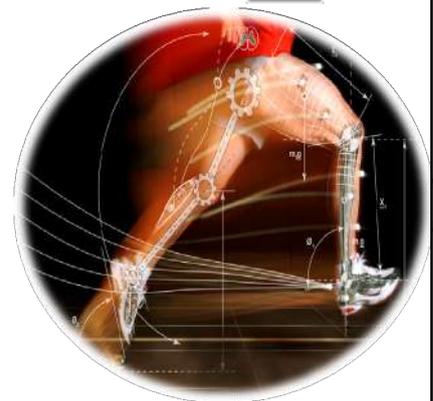


Domaines de la Biophysique

Biomécanique ou Biocinétique

Etudes des aspects de l'anatomie, de la physiologie articulaire, de la physiologie musculaire, de la mécanique et de la kinésiologie..

- Le mouvement de l'organisme humain



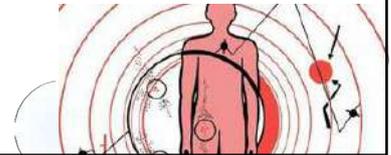
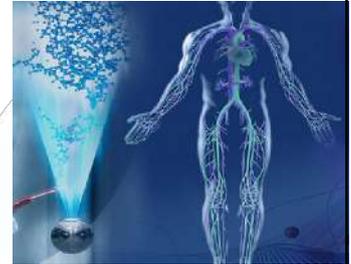
Domaines de la Biophysique

Biophotonique

La science qui porte sur l'utilisation de la lumière (photons) pour créer des images, détecter, analyser et manipuler les systèmes biologiques.

- L'optique géométrique de l'œil

la Radiobiologie la science qui fait l'étude des phénomènes qui se produisent quand un tissu vivant absorbe de l'énergie transférée par les rayonnements ionisants

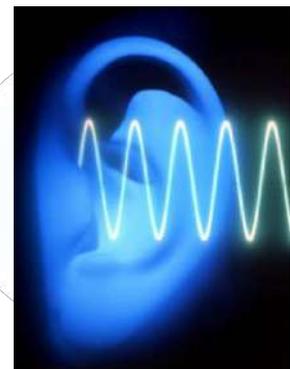


Domaines de la Biophysique

Bioacoustique

Analyse les organes de l'oreille, les processus physiologiques et neurophysiologiques par lequel les sons sont produits, reçus et traités au niveau du système nerveux central

- La transition du son jusqu'à l'oreille interne et le cerveau



Domaines de la Biophysique

Biologie structurale et d'interaction

Détermination de la conformation structurel

Localisation de site d'union

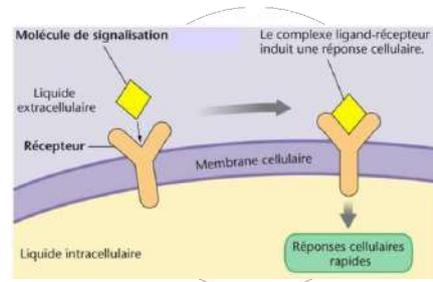
Mécanique & Dynamique moléculaire

Relations structure-fonction

Evaluation de l'affinité..

- Pharmacologie moléculaire : L'exploration de mécanismes moléculaires qui sont mis en jeu dans les réponses à certains médicaments.

- Le mécanisme d'action des molécules biologiquement fonctionnelles sur les structures cellulaire (les récepteurs protéinique, L'ADN ..etc)



Quelques approches expérimentales de la Biophysique

Quelques approches expérimentales de la Biophysique

- Spectroscopies : Absorption, émission, résonance



Spectroscopie de Résonance



Spectroscopie d'émission



Spectroscopie d'absorbance

Quelques approches expérimentales de la Biophysique

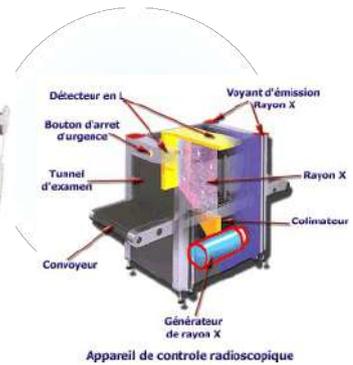
- Diffusion : X, neutrons, lumière



Appareil de La diffusion neutronique



Appareil de diffusion de Rayon X



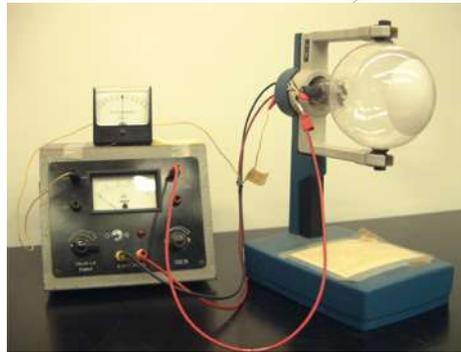
Appareil de contrôle Radiologique

Quelques approches expérimentales de la Biophysique

- Diffraction : X, électrons



Appareil de La diffraction par Rayon X

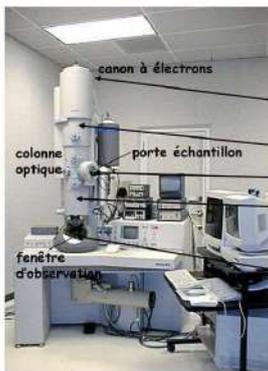


Appareil de La diffraction par électron

Quelques approches expérimentales de la Biophysique

- Microscopies : Photonique, électronique (MET), X

Microscope électronique à transmission



FEI (Philips) CM20



Microscope optique polarisant

- source de projection "lumière"
- optique focalisante
- optique agrandissante
- porte échantillon échantillon
- optique
- optique déréalisante
- optique de projection source de lumière



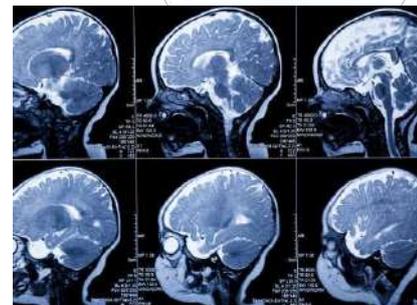
Quelques approches expérimentales de la Biophysique

•Microcalorimétrie



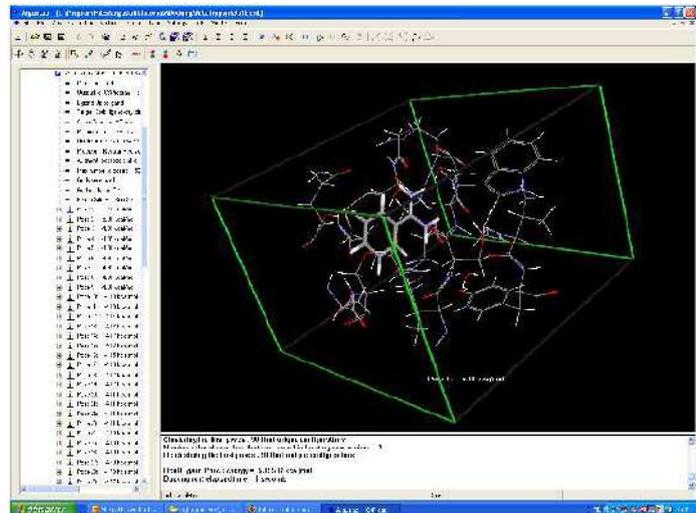
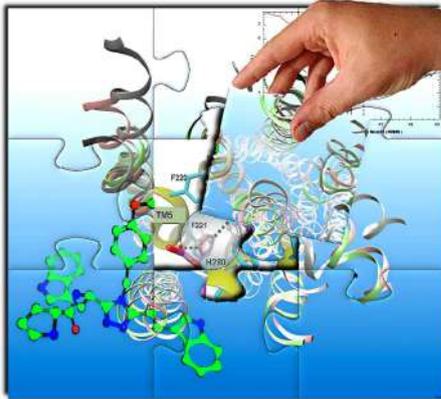
Quelques approches expérimentales de la Biophysique

•Imagerie par Résonance magnétique



Quelques approches expérimentales de la Biophysique

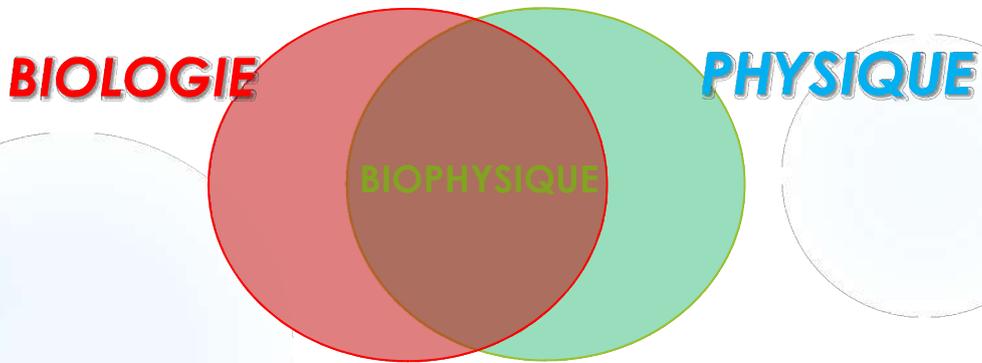
•Modélisation moléculaire



Objectif du cours

Associer les relations qui existent entre les phénomènes physiques et les phénomènes biologiques

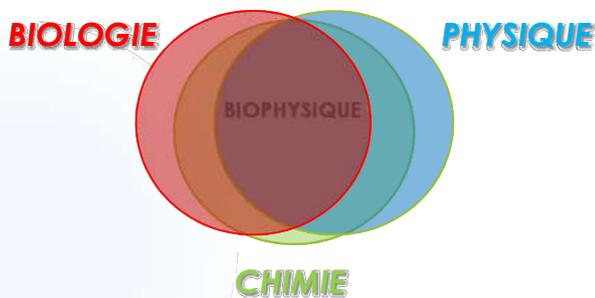
C'est quoi la Biophysique



La physique de la Biologie ou la Biologie de la physique??

C'est quoi la Biophysique

la biophysique c'est une **discipline autonome**, qui englobe même les phénomènes chimiques dans les systèmes biologique



En introduisant des processus chimiques pour comprendre intégralement les processus biologiques, cette discipline devrait être plus correctement décrite comme **Biophysicochimique**

Qu'est-ce qu'elle apporte la Biophysique

Les apports de la biophysique complètent et alimentent les;

Etudes des phénomènes macroscopiques à travers la thermodynamique, la cinétique, la photochimie et l'électrochimie.

Etudes des phénomènes microscopique à travers la détermination de la structure moléculaire, de micro et nano ensembles, la compréhension des mécanismes chimiques de transport de matière, charge et énergie.

**Rappel sur les unités de mesure dans
le système international**

Rappel sur les unités de mesure dans le système international

Les unités de base	
Longueur	Mètre (m)
Masse	Kilogramme (Kg)
Temps	Seconde (s)
Intensité électrique	Ampère (A)
Température thermodynamique	Kelvin (K)
Quantité de matière	Mole (mol)
L'intensité lumineuse	Candela (Cd)

Rappel sur les unités de mesure dans le système international

Les unités dérivées	
Superficie	Mètre carré (m ²)
Volume	Mètre cube (m ³)
Vitesse	Mètre par seconde (m.s ⁻¹)
Force	Newton (N = 1 kg.m.s ⁻¹)
Pression	Pascal (Pa = N.m ⁻²)
Energie	Joule (J = N.m) 1eV = 1.6 10 ⁻¹⁹ J
Puissance	Watt (W = J . s ⁻¹)
Charge électrique	Coulomb (C = A . s)
Potentiel électrique	Volt (V = J . C ⁻¹ = W . A ⁻¹)

Rappel sur les unités de mesure dans le système international

Facteur	Symbole	Préfixe
10^3	K	Kilo
10^6	M	Méga
10^9	G	Giga
10^{12}	T	Téra
10^{15}	P	Péta
10^{18}	E	Exa
-----	-----	-----
10^{-3}	m	Milli
10^{-6}	μ	Micro
10^{-9}	n	Nano
10^{-12}	p	Pico
10^{-15}	f	Femto
10^{-18}	a	atto

Rappel sur les unités de mesure dans le système international

Unités universelles:

- **Nombre d'Avogadro** : $N = 6,02252 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- **Vitesse de la lumière dans le vide = Célérité** : C

$$C = 2,99792 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

$$= 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

- **Constante de Planck** :

$$h = 6,6256 \cdot 10^{-34} \text{ J.s} = 4,1356 \cdot 10^{-15} \text{ eVs}$$

Radiation et Bio-spectrométrie

Objectif

- Définir un spectre EM à travers ces propriétés physiques (R. Planck, Eq. Maxwell)
- Classifier et caractériser les différents types des ondes EM
- Effets des radiations EM sur les tissus vivants et sur les biomolécules
- Principe de l'absorption des rayonnement (Loi de Beer-lambert) et ces applications dans les domaines de laboratoire de Biologie
- Principe de l'émission des rayonnement (Phénomènes de fluorescence et de phosphorescence) et ces applications dans les laboratoires de recherche et Laboratoires Cliniques

Radiations et Bio-spectrométrie

Introduction: Rappel de la structure de l'atome

Qu'est-ce que de la matière ?

La matière est constituée de quoi?

Qu'est-ce qu'un atome?

Un atome est constitué de quoi?

Introduction: Rappel de la structure de l'atome

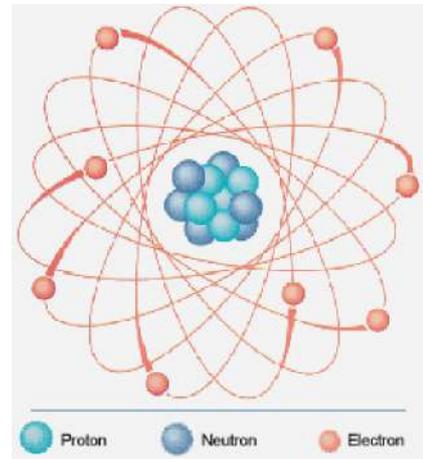
Un atome est constitué de quoi?

❑ **Noyau** : formé de neutrons (sans charge) et de protons (de charge positive), aussi appelés nucléons.

La masse globale des nucléons est quasiment celle de l'atome.

❑ **Cortège d'électrons** (de charge négative) autour du noyau et dont la charge équilibre celle du noyau.

Le noyau est de 10 000 à 100 000 fois plus petit que l'ensemble de l'atome avec son nuage d'électrons. Entre le noyau et les électrons : le vide.



Introduction: Rappel de la structure de l'atome

LE PROTON

❖ C'est une particule subatomique avec une charge électrique élémentaire positive, un signe opposé à celui de l'électron et une masse 1836 fois plus grande que celle d'un électron.

❖ Il a une demi-vie de 1035 ans, bien que les théories disent que le proton peut se désintégrer en d'autres particules.

LE NEUTRON

❖ C'est une particule subatomique sans charge nette

❖ En dehors du noyau atomique, les neutrons sont instables et ont une demi-vie de 15 minutes

❖ Sa masse est très similaire à celle du proton, bien que légèrement plus grande.

Introduction: Rappel de la structure de l'atome

L'ÉLECTRON

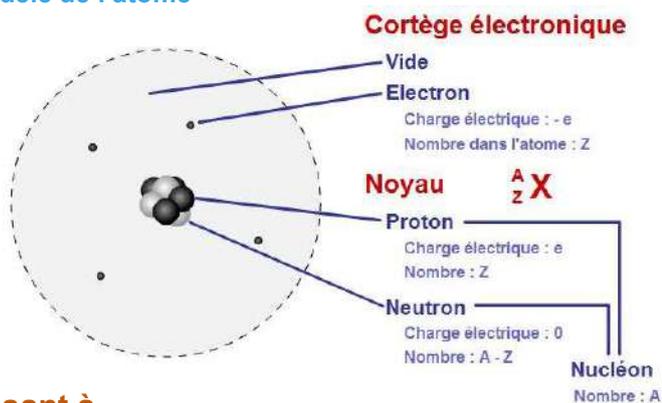
- ❖ Une particule subatomique de type fermionique. Représenté par le symbole: e^- .
- ❖ Les électrons ont une masse de $9,11 \times 10^{-31}$ kg, soit environ 1840 fois moins que celle des neutrons et des protons.
- ❖ Son mouvement génère le courant électrique, mais en fonction du type de structure moléculaire dans lequel il se trouve, il lui faudra plus ou moins d'énergie pour se déplacer.
- ❖ Ces particules jouent un rôle majeur en chimie, car elles définissent les attractions entre les atomes.

Introduction: Rappel de la structure de l'atome

Modèle de l'atome

Q: Pourquoi la matière est solide, si les atomes sont presque vides à l'intérieur?

Présence d'un champ électromagnétique très puissant à l'intérieur des atomes



Le champ électromagnétique maintient les électrons attachés à l'atome et empêche le croisement de ces derniers.

Introduction: Rappel de la structure de l'atome

Q: Nous touchons vraiment la matière ?

La réponse c'est tout simplement **Non**



Lorsqu'un objet est suffisamment proche d'un autre, les électrons des atomes des deux objets commencent à se repousser (car ils ont la même charge électromagnétique négative).

Q: Pourquoi avons-nous "le sentiment" de toucher quelque chose alors qu'en réalité nous ne le faisons pas?



C'est une **réaction en chaîne des énergies**: Les charges électromagnétiques des atomes de la matière, "poussent" les atomes de vos main générant ainsi une interaction qui va atteindre le nerf sensoriel qui va communiquer à son tour au cerveau l'impulsion nerveuse. Cette dernière sera traduite comme une « **une fausse illusion de contact** »

Introduction: Rappel de la structure de l'atome

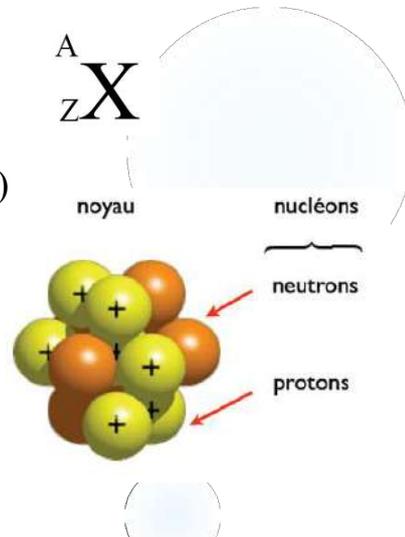
Représentation d'un atome

X est l'élément considéré

Z est le nombre de proton = Numéro atomique

A = Nombre de masse ($Z + \text{nombre de neutron } N$)

Exemple: $^{39}_{19}\text{K}$ Potasium



Introduction: Rappel de la structure de l'atome

Isotopes: Ce sont des atomes de même numéro atomique Z et de nombre de masse A différent. Un élément peut avoir un isotopes.

Exemple: ^{12}C (6 protons et 6 neutrons) abondance 98,3%

^{13}C (6 protons et 7 neutrons) abondance 1,7%

^{14}C (6 protons et 8 neutrons) abondance (Traces)

Isotones: Lorsqu'ils possèdent un nombre de neutrons identique mais un nombre de protons différent

Isobares: Lorsqu'il s'agit de différents noyaux atomiques avec le même nombre de masse (A), mais un numéro atomique différent (Z)



Introduction: Rappel de la structure de l'atome

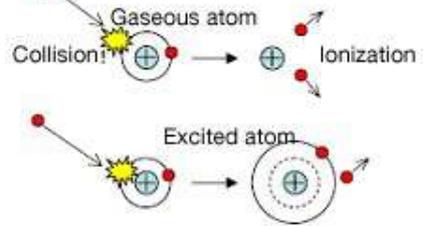
Manifestation de la réaction entre atomes-lumière

La lumière incidente transfère une partie de son énergie cinétique à l'électron atomique.

Ionisation

Excitation

Lumière

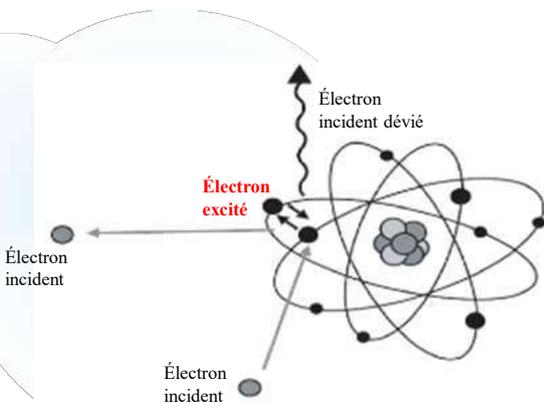


Introduction: Rappel de la structure de l'atome

Excitation: L'électron cible est porté à un niveau énergétique supérieur.

Désexcitation: L'électron retourne à son niveau énergétique

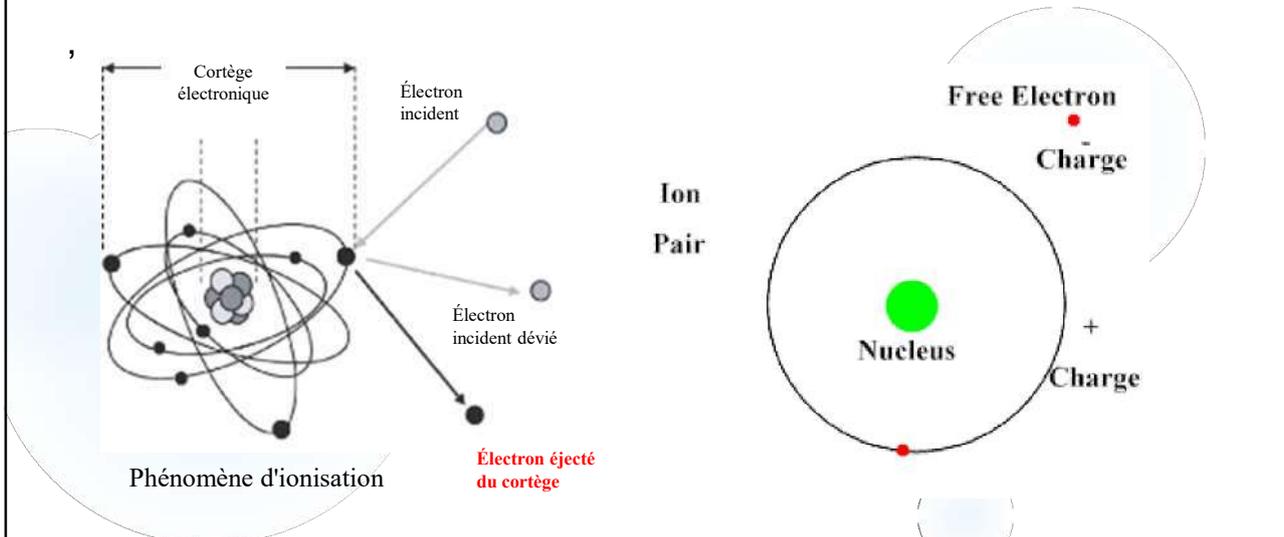
+ Libération de l'énergie thermique



Phénomène d'excitation / désexcitation

Introduction: Rappel de la structure de l'atome

Ionisation L'électron cible est éjecté en dehors de la nuage électronique

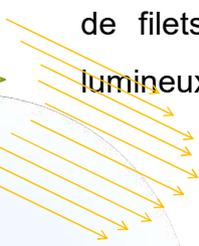


Introduction: Introduction: Radiations - généralités

Nature de la lumière??

Introduction: Introduction: Radiations - généralités

Représentation de la lumière par une masse de filets rectilignes et uniformes (rayons lumineux)

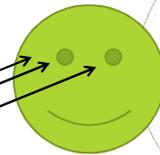
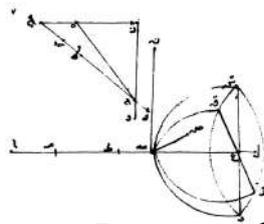


Euclide (300 a-JC)

- Affirme que la lumière se déplace en ligne droite
- Établit les lois de la réflexion

Introduction: Introduction: Radiations - généralités

لانه ان ماته عليها سطح مستوي غير فلاتن هذا السطح يتسطح سطح مرتين
 على نقطة مستوية فلا بد من ان يتسطح احد السطحين من غير ان يكون ذلك
 الخط مستوي والنصل المشدود بين هذين السطحين يمتد على قطع واحد
 خط مستوي فلاتن هذا السطحين انما يتسطحان على نقطة مستوية
 مستقيمة قطع فسطوح على نقطة مستوية وذلك خط مستوي واحد
 فلا بد ان يتسطحان على نقطة مستوية مستوية سطح مستوي من نص

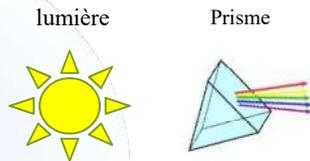


Alhazem
(Ibn al-Haytham)
1000

- Établit les lois de la réfraction
- La lumière a une vitesse de propagation

Introduction: Introduction: Radiations - généralités

Au cours de ses expériences d'optique, Newton a fait passer la lumière blanche du soleil à travers un prisme, ce dernier étant décomposé en rayons lumineux de différentes couleurs.



Issac Newton: 1666

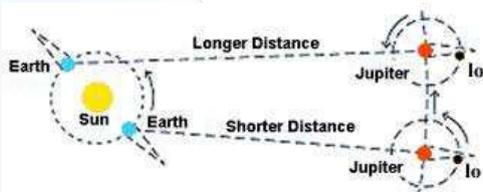


- La lumière blanche est un mélange de couleurs
- La lumière est un flux de particules

Introduction: Introduction: Radiations - généralités

Römer & Huygens: (17^{ème} siècle)

L'observation d'IO a permis de découvrir qu'il existe une variation dans la durée qui fait la lumière pour parcourir la distance entre Jupiter et la Terre.



satellite de Jupiter IO



Réplique du télescope de 6 pouces qu'Isaac Newton présenté en 1672

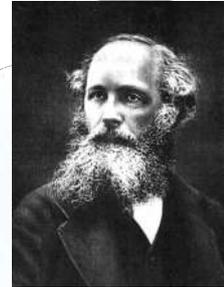


- La lumière a une vitesse qui n'est pas infinie
- La lumière est une onde, une vibration qui se propage

Introduction: Introduction: Radiations - généralités

Confirme par ses expériences que la lumière c'est le produit de l'unification de deux champs perpendiculaires (un champ de l'électricité et un champ du magnétisme).

" De même qu'un courant électrique circulant dans un fil de cuivre engendre alentour un champ magnétique capable de faire bouger l'aiguille aimantée d'une boussole, de même, inversement, un aimant en mouvement engendre un champ électrique qui se traduit par l'apparition d'un courant dans un circuit placé à proximité"



Maxwell (1877) scientifique écossais spécialisé dans le domaine de la physique mathématique

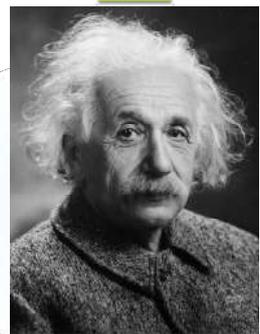
La découverte de cette relation qui relie l'électricité du magnétisme a été exploité juste après dans la fabrication les générateurs électriques

Introduction: Introduction: Radiations - généralités

Q: Théorie de la ondulatoire ou bien la Théorie corpusculaire?

Einstein en 1905 a donné la raison aux deux théories

Les deux théories sont valables



Einstein

La lumière peut être une onde ou une particule ou les deux à la fois

"Cette forme d'énergie a des propriétés d'ondes telles que la fréquence et les propriétés de particules telles que le moment quantique, et selon la nature de l'expérience que nous faisons, nous pouvons percevoir un type ou un autre"

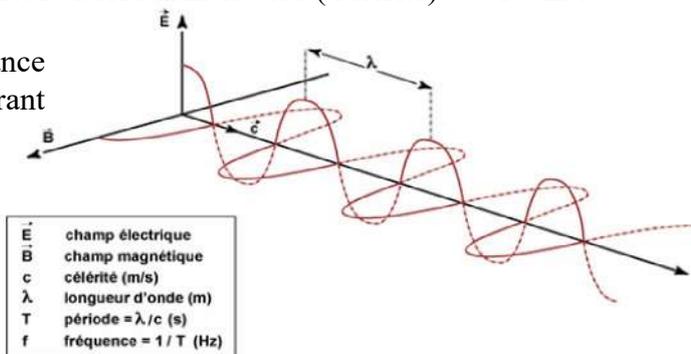
Rappels du spectre électromagnétique

Ces rayonnements sont caractérisés par leur vitesse dans le vide (Célérité) $\approx 3.10^8$ m/s

❑ La longueur d'onde (λ) (nm) = la distance d'un cycle d'une onde = la distance séparant deux crêtes successives.

❑ La période (T) (s): elle représente le temps nécessaire pour que l'onde effectue un cycle.

❑ La fréquence (ν) (Hz) = l'inverse de la période, elle traduit le nombre de cycles par unité de temps.

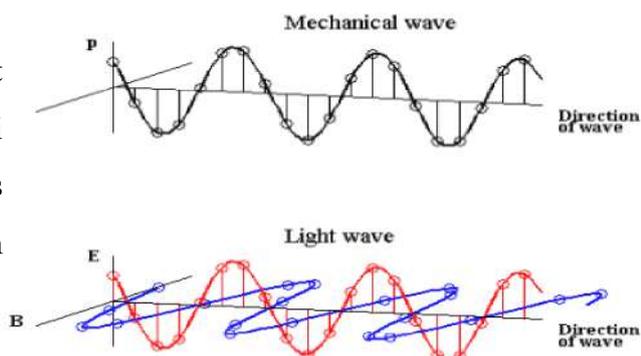


Oscillation couplée du champ électrique et du champ magnétique (l'un étant perpendiculaire à l'autre) qui se propage en ligne droite à partir d'une source.

Rappels du spectre électromagnétique

Le rayonnement électromagnétique est constitué de particules, de photons, qui correspond à des paquets élémentaires d'énergie qui se déplacent à environ 300 000 km/s dans le vide

Le déplacement de ces paquets d'énergie comporte un champ magnétique et un champ électrique qui oscillent perpendiculairement pour donner une onde électromagnétique



isvr

Rappels du spectre électromagnétique

La longueur d'onde et fréquence sont inversement proportionnelle et unies par la relation suivante:

λ : la longueur d'onde électromagnétique
 c : vitesse de la lumière (3×10^8 m/s)
 ν : la fréquence de l'onde

$$\lambda = c / \nu$$

Les échanges d'énergie portée par le rayonnement électromagnétique se font sous forme de paquets d'énergie, véhiculés par des corpuscules élémentaires immatériels, **les photons**.

Relation de Planck: Elle exprime la quantité d'énergie associée à un photon en fonction de la fréquence de l'onde.

E = Énergie de l'onde électromagnétique
 ν = Fréquence de l'onde
 h = Constante de Planck ($6.625 \cdot 10^{-34}$ J.s)

$$E = h \nu$$

Bon courage



LIENS UTILES 🙌

Visiter :

1. <https://biologie-maroc.com>

- Télécharger des cours, TD, TP et examens résolus (PDF Gratuit)

2. <https://biologie-maroc.com/shop/>

- Acheter des cahiers personnalisés + Lexiques et notions.
- Trouver des cadeaux et accessoires pour biologistes et géologues.
- Trouver des bourses et des écoles privées

3. <https://biologie-maroc.com/emploi/>

- Télécharger des exemples des CV, lettres de motivation, demandes de ...
- Trouver des offres d'emploi et de stage

