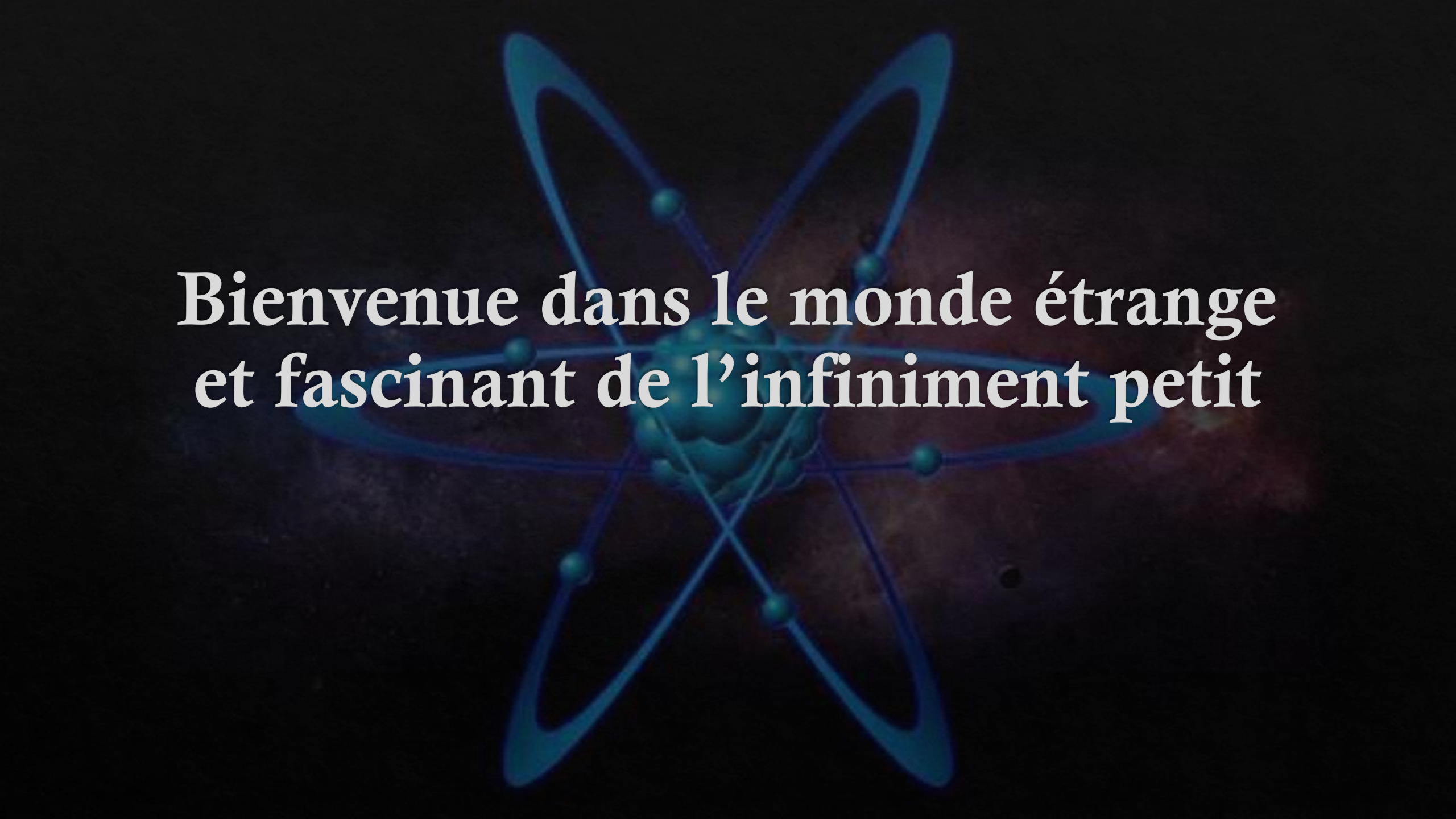


**VOUS ALLEZ ENTRER DANS UNE
NOUVELLE DIMENSION SPATIO-
TEMPORELLE OU LES REGLES QUE
VOUS CONNAISSEZ N'EXISTENT PLUS**





**Bienvenue dans le monde étrange
et fascinant de l'infiniment petit**

LA PHYSIQUE QUANTIQUE



SOMMAIRE



1. LES GRANDES ÉTAPES HISTORIQUES

- a. Corps noir
- b. L'effet photo-électrique
- c. Stabilité et spectre des atomes
- d. Dualité onde-corpuscule : au-delà du photon



2. APPORTS PHYSIQUE QUANTIQUE

- a. Equation de Schrödinger
- b. Interprétation probabiliste
- c. Incertitude d'Heisenberg
- d. Effet tunnel et microscopie

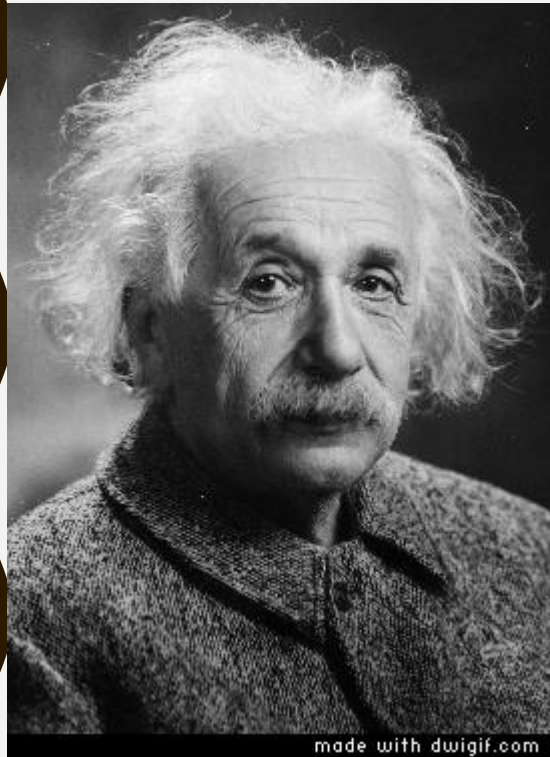
LES GRANDES ETAPES HISTORIQUES



1. LES GRANDES ÉTAPES HISTORIQUES

- a. Corps noir
- b. L'effet photo-électrique
- c. Stabilité et spectre des atomes
- d. Dualité onde-corpuscule : au-delà du photon

Introduction :



À la fin du 19^{ème} siècle, deux théories dominent en physique :

- Mécanique Newtonienne
- Electromagnétisme

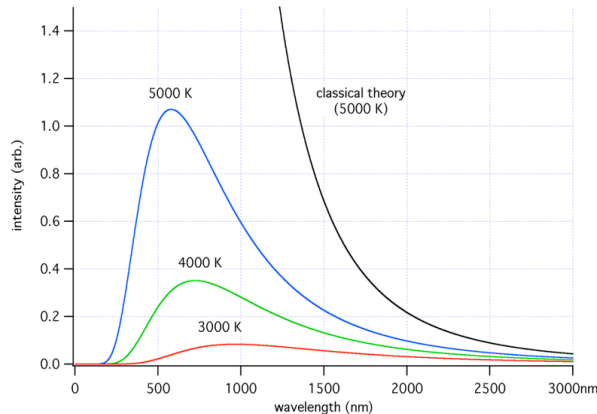
Cependant ces théories ne permettent pas d'expliquer certains phénomènes :

- Le rayonnement du corps noir
- L'effet photoélectrique
- Le spectre de raie atomique

Rayonnement du corps noir

Un corps noir échange des rayons électromagnétiques avec l'extérieur (absorption et émission).

Selon la température à laquelle il est chauffé un corps noir change de couleur.



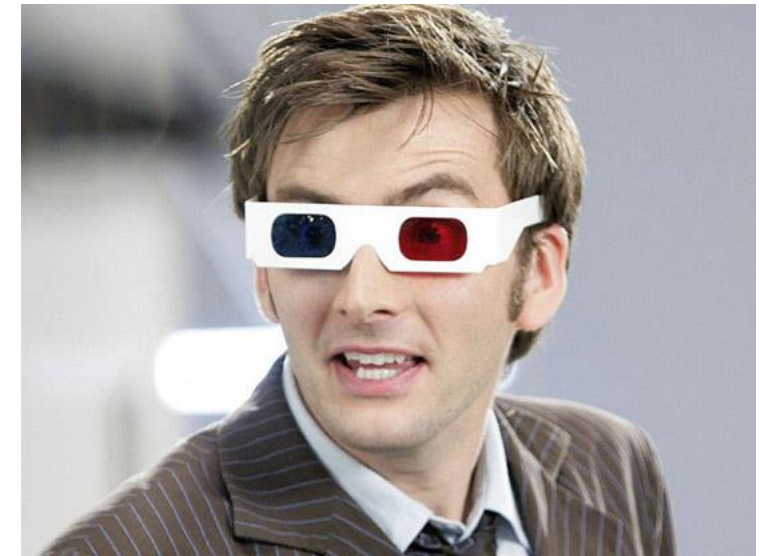
Intensité \uparrow quand la température \uparrow
 λ_{\max} \downarrow quand la température \uparrow

En étudiant les variations de température et de longueur d'onde on a obtenu **la loi de déplacement de Wien :**

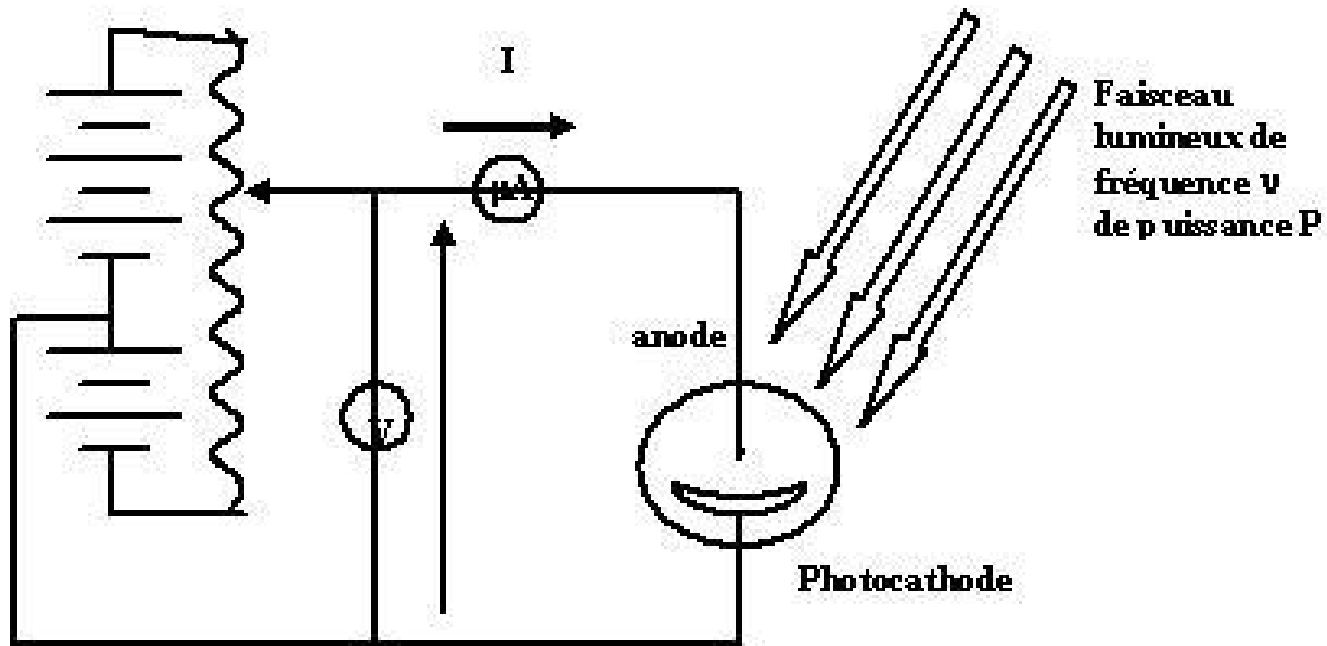
$$\lambda_{\max} \times T = \text{constante} = 0,29 \text{ cm. K}$$

1. LES GRANDES ÉTAPES HISTORIQUES

- Corps noir
- L'effet photo-électrique
- Stabilité et spectre des atomes
- Dualité onde-corpuscule : au-delà du photon



L'effet photo-électrique



Cellule Photoélectrique



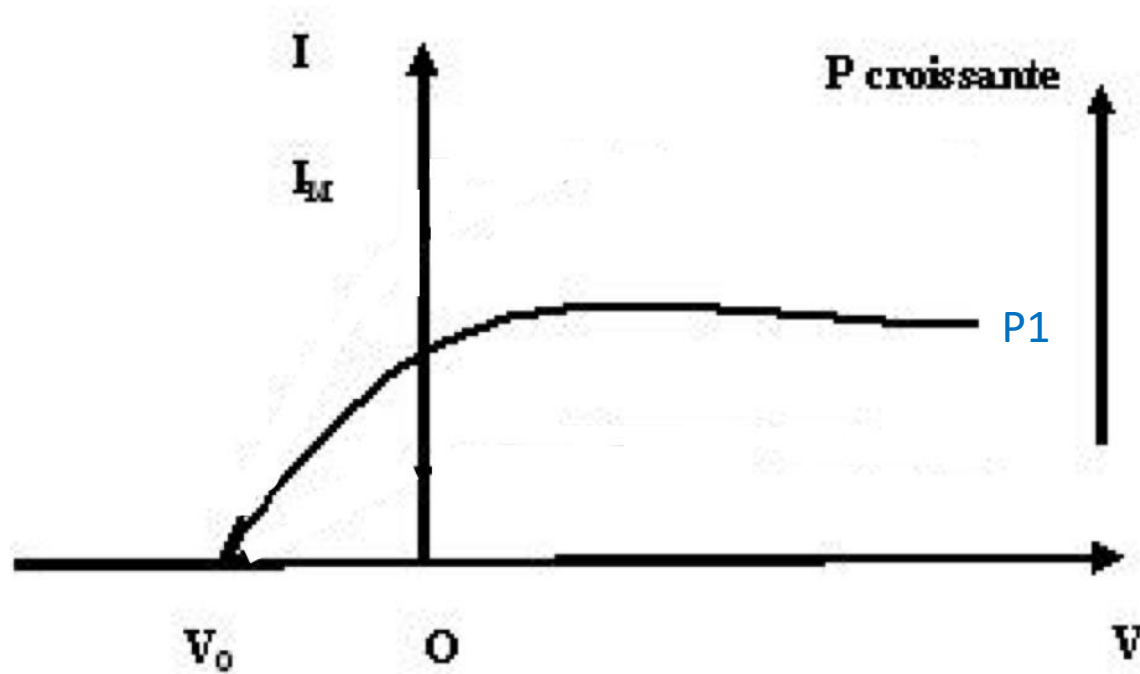
1. LES GRANDES ÉTAPES HISTORIQUES

- Corps noir
- L'effet photo-électrique
- Stabilité et spectre des atomes
- Dualité onde-corpuscule : au-delà du photon



1. LES GRANDES ÉTAPES HISTORIQUES

- a. Corps noir
- b. L'effet photo-électrique
- c. Stabilité et spectre des atomes
- d. Dualité onde-corpuscule : au-delà du photon

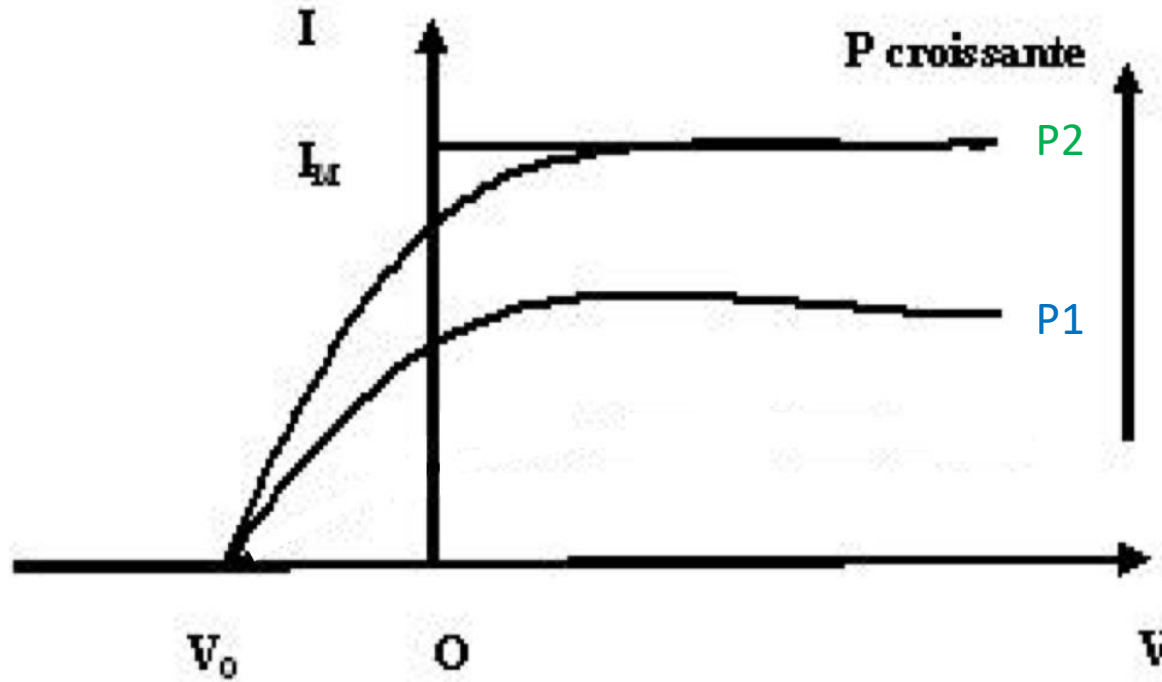


- Un seuil V_0 pour avoir du courant.
- Une augmentation du courant en augmentant la tension.
- Un seuil maximum pour le courant atteint à V_s .

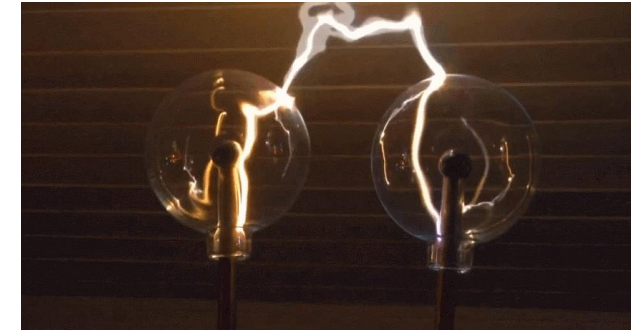


1. LES GRANDES ÉTAPES HISTORIQUES

- a. Corps noir
- b. L'effet photo-électrique
- c. Stabilité et spectre des atomes
- d. Dualité onde-corpuscule : au-delà du photon

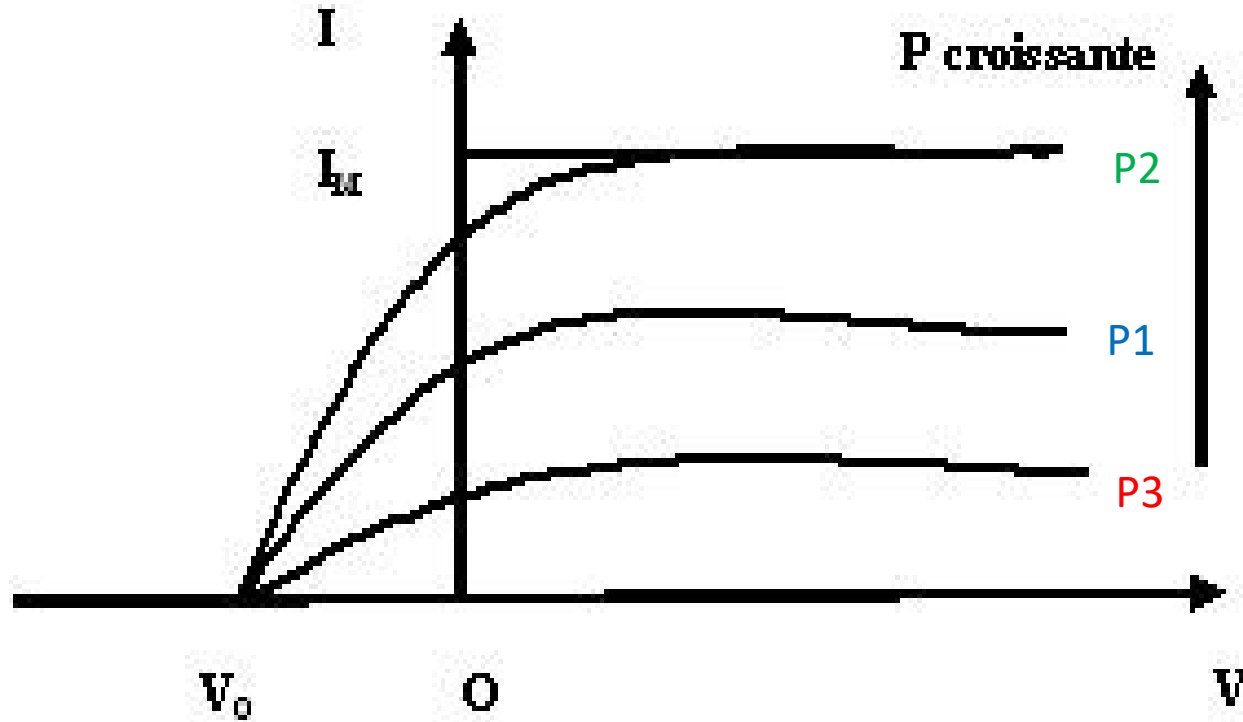


- On remarque que V_0 ainsi que V_s sont les mêmes.
- Le seuil a augmenté.



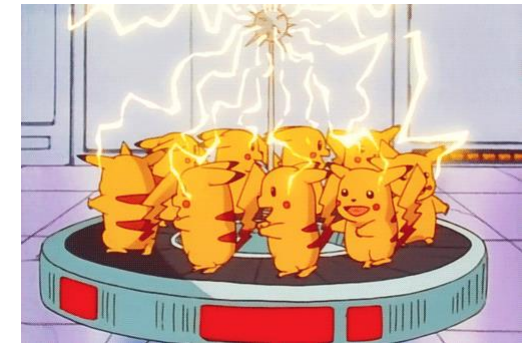
1. LES GRANDES ÉTAPES HISTORIQUES

- a. Corps noir
- b. L'effet photo-électrique
- c. Stabilité et spectre des atomes
- d. Dualité onde-corpuscule : au-delà du photon



3 courbes : puissances différentes, même fréquence.

- V_0 est toujours la même.
- On a toujours un plateau mais il est différent.



- Phase de plateau = courant de saturation.
- La puissance définit donc le maximum d'électrons pouvant arriver sur l'anode.
- Quand la tension diminue, les électrons sont moins accélérés, voire ralentis (lorsque $V < 0$) ou arrêtés quand $V = V_0$.
- Ce V_0 s'appelle la contre tension maximale.

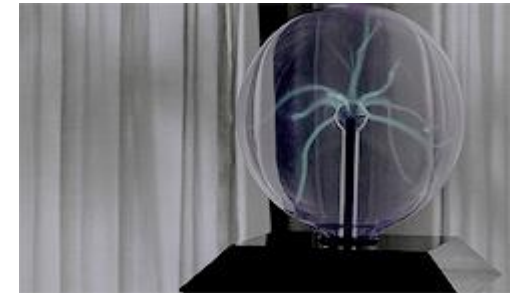
La puissance d'une lampe à incandescence est définie par la formule suivante :

$$P = n_{\text{photon}} \cdot E_{\text{photon}}$$

Avec la puissance en **Watt** ($= 1 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$) et l'énergie en **joule**

1. LES GRANDES ÉTAPES HISTORIQUES

- a. Corps noir
- b. L'effet photo-électrique
- c. Stabilité et spectre des atomes
- d. Dualité onde-corpuscule : au-delà du photon

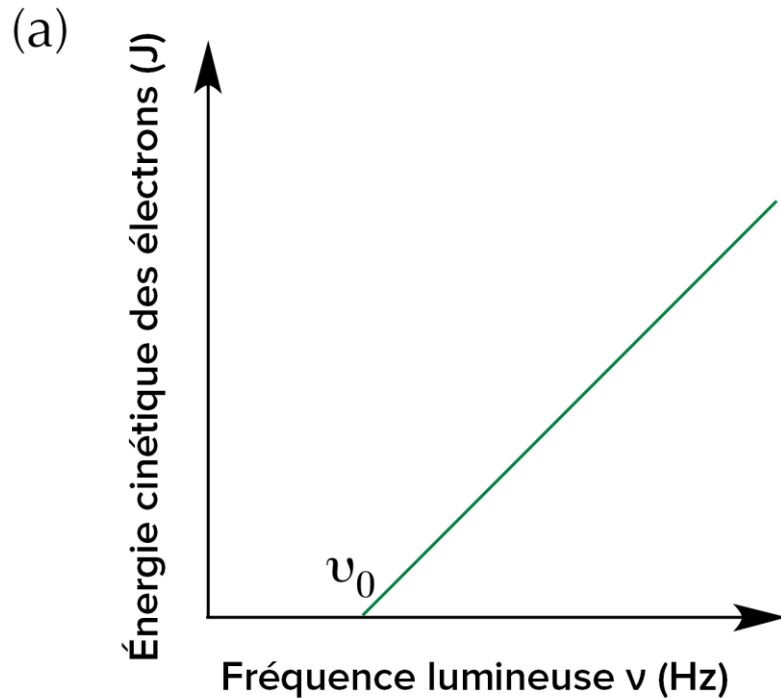


$$E_c = e |V_0| = h \nu - W$$

L'énergie cinétique représente la vitesse des électrons.
Elle est indépendante dans la puissance du rayonnement!

1. LES GRANDES ÉTAPES HISTORIQUES

- a. Corps noir
- b. L'effet photo-électrique
- c. Stabilité et spectre des atomes
- d. Dualité onde-corpuscule : au-delà du photon



L'énergie cinétique augmente linéairement avec la fréquence à partir d'une fréquence seuil ν_0 .

Cela est dû au travail d'extraction :

$$W = h \nu_0$$



DIAPO FAILLE SPATIO-TEMPORELLE REPROGRAMMEZ VOTRE MACHINE MAINTENANT ...

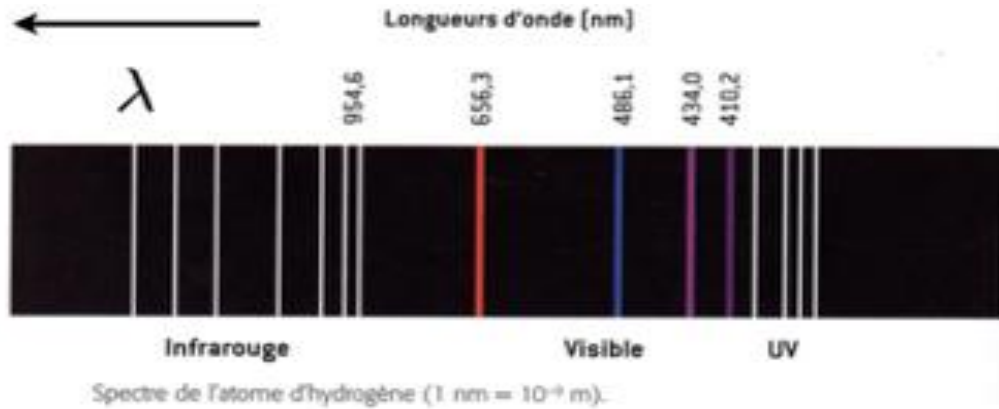


Stabilité et spectre des atomes

Pour *Rutherford* : des électrons gravitent autour d'un noyau.

→ On devrait donc observer un spectre continu cependant c'est un spectre de raies qu'on observe.

Spectre de raie d'un atome d'H :



1. LES GRANDES ÉTAPES HISTORIQUES

- a. Corps noir
- b. L'effet photo-électrique
- c. Stabilité et spectre des atomes
- d. Dualité onde-corpuscule : au-delà du photon

Toutes les raies observées vérifient l'équation suivante :

$$\frac{1}{\lambda_{nm}} = R_H \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Avec R_H la constante de Rydberg

1. LES GRANDES ÉTAPES HISTORIQUES

- a. Corps noir
- b. L'effet photo-électrique
- c. Stabilité et spectre des atomes
- d. Dualité onde-corpuscule : au-delà du photon

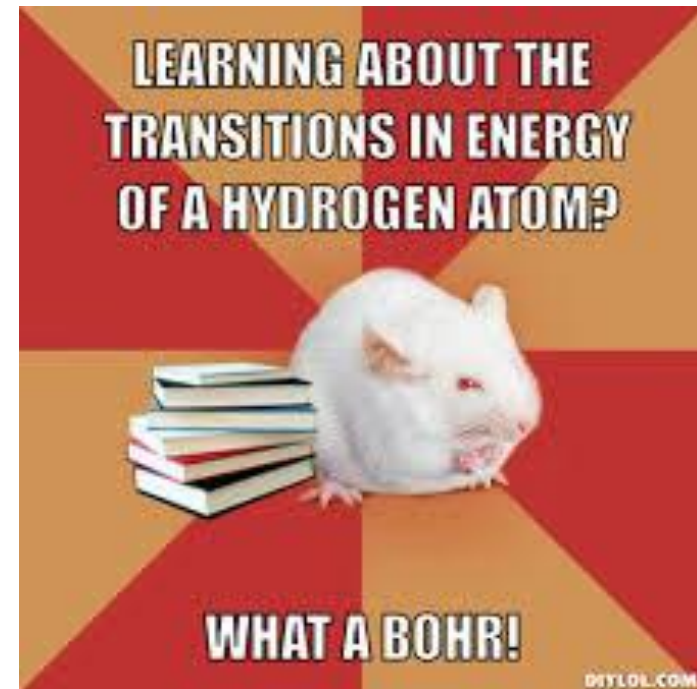
Par la suite Bohr va reprendre le modèle de Rutherford en quantifiant les niveaux d'énergie :

$$E_n = -E_H \cdot \frac{1}{n^2} = -\frac{13,6}{n^2}$$

Ainsi que les rayons des orbitales atomiques :

$$r_n = a_0 \cdot n^2$$

avec $a_0 = 0,53 \text{ \AA} = 0,53 \times 10^{-10} \text{ m}$.



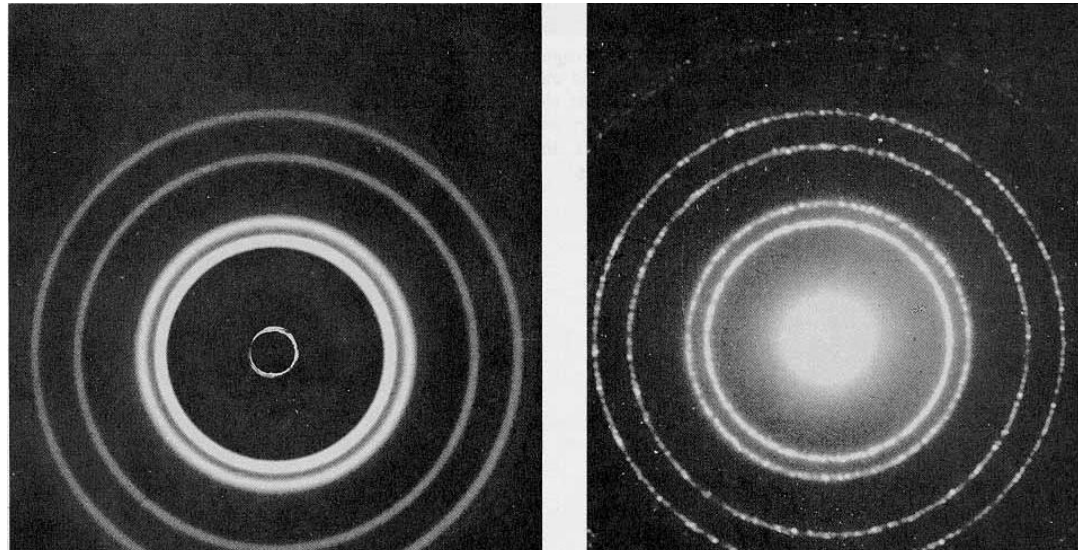
DUALITE ONDE-PARTICULE



DUALITE ONDE-PARTICULE : au-delà du photon



$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v}$$



Diffraction de rayons X (à gauche) et d'un faisceau d'électrons (à droite)

1. LES GRANDES ÉTAPES HISTORIQUES

- a. Corps noir
- b. L'effet photo-électrique
- c. Stabilité et spectre des atomes
- d. Dualité onde-corpuscule : au-delà du photon

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

$$\Leftrightarrow v = \sqrt{2 \cdot \frac{Ec}{m}} = \sqrt{2 \cdot \frac{eV}{m}}$$

1. LES GRANDES ÉTAPES HISTORIQUES

- a. Corps noir
- b. L'effet photo-électrique
- c. Stabilité et spectre des atomes
- d. Dualité onde-corpuscule : au-delà du photon



$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{m \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{eV}{m}}}$$

$$= \frac{h}{m \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{eV \cdot m}{m}}} = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot eV \cdot m}}$$

1. LES GRANDES ÉTAPES HISTORIQUES

- a. Corps noir
- b. L'effet photo-électrique
- c. Stabilité et spectre des atomes
- d. Dualité onde-corpuscule : au-delà du photon

$e=1,6 \cdot 10^{-19}$
coulombs

V = différence
de potentiel en
volts

m = masse de la
particule en kg

Pour un électron accéléré sous
une différence de potentiel de 100V :

1. LES GRANDES ÉTAPES HISTORIQUES

- a. Corps noir
- b. L'effet photo-électrique
- c. Stabilité et spectre des atomes
- d. Dualité onde-corpuscule :
au-delà du photon

$$\begin{aligned}\lambda &\simeq \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2eV m}} \\ &= \frac{6,6 \times 10^{-34}}{\sqrt{2 \times 1,6 \times 10^{-19} \times 100 \times 9,1 \times 10^{-31}}} \\ &= 1,2 \times 10^{-10} \text{ m}\end{aligned}$$





ASTUCE

Pour un électron :

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot eVm.}} \cdot \frac{1}{\sqrt{V}}$$
$$= 1,2 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{1}{\sqrt{V}}$$

$$h = 6,6 \cdot 10^{-34}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19}$$

$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

1. LES GRANDES ÉTAPES HISTORIQUES

- Corps noir
- L'effet photo-électrique
- Stabilité et spectre des atomes
- Dualité onde-corpuscule : au-delà du photon

Pour un électron accéléré sous
une différence de potentiel de 100V :

1. LES GRANDES ÉTAPES HISTORIQUES

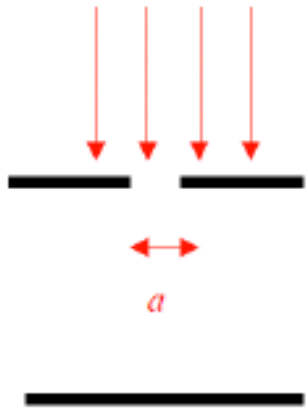
- a. Corps noir
- b. L'effet photo-électrique
- c. Stabilité et spectre des atomes
- d. Dualité onde-corpuscule :
au-delà du photon

$$\begin{aligned}\lambda &\simeq \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2eV m}} \\ &= \frac{6,6 \times 10^{-34}}{\sqrt{2 \times 1,6 \times 10^{-19} \times 100 \times 9,1 \times 10^{-31}}} \\ &= 1,2 \times 10^{-10} \text{ m}\end{aligned}$$

Diffraction d'un jet de particules par une ouverture de taille a :

Les phénomènes quantiques (diffraction, interférences) seront

dominants si :
Particules d'impulsion p



$$\lambda \geq a \quad \text{ou si} \quad pa \leq h$$

Ordres de grandeur

Système considéré	Masse (kg)	Vitesse (m/s)	Taille de l'ouverture (m)	$\frac{pa}{h}$
Homme passant une porte	70	1	1	10^{35}
Globule rouge dans un capillaire	10^{-16}	10^{-1}	10^{-4}	10^{12}
Electrons à travers une fente	9×10^{-31}	700	10^{-6}	1

1. LES GRANDES ÉTAPES HISTORIQUES

- Corps noir
- L'effet photo-électrique
- Stabilité et spectre des atomes
- Dualité onde-corpuscule : au-delà du photon

Changement de chapitre...



APPORTS DE LA PHYSIQUE QUANTIQUE A LA PHYSIQUE MODERNE



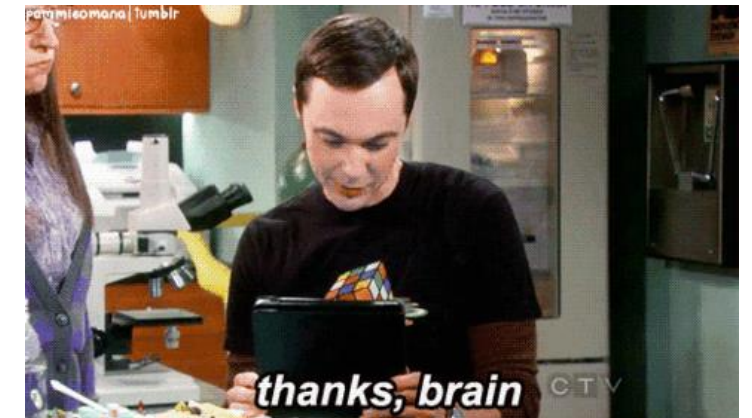
EQUATION DE SCHRÖDINGER

2. APPORTS PHYSIQUE QUANTIQUE

- a. Equation de Schrödinger
- b. Effet tunnel

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} [E - U(x)]\psi(x) = 0$$

Fonction d'onde => décrit la forme de l'onde que décrit une particule





PRANK

La chèvre des neiges !



Libérahhhhhhaiaaaaaaaaaaaaaa !



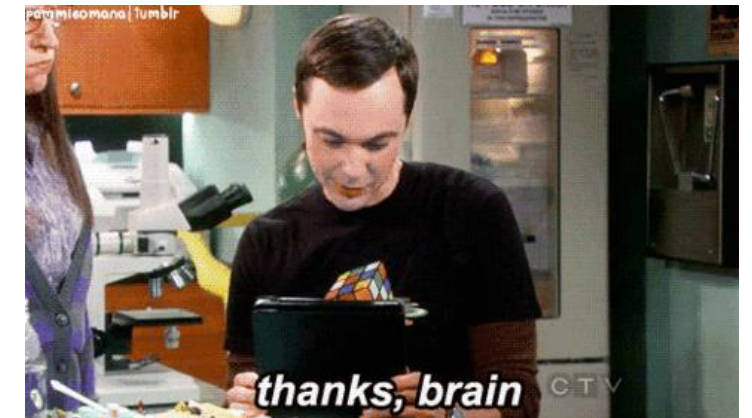
EQUATION DE SCHRÖDINGER

2. APPORTS PHYSIQUE QUANTIQUE

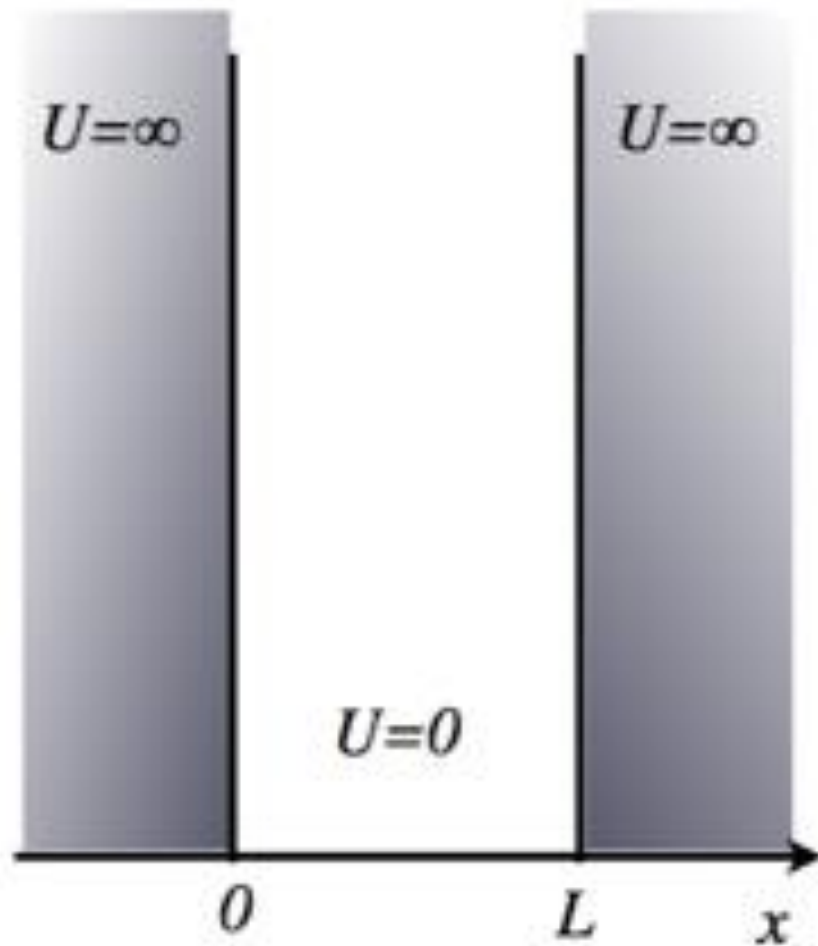
- a. Equation de Schrödinger
- b. Effet tunnel

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} [E - U(x)]\psi(x) = 0$$

Fonction d'onde => décrit la forme de l'onde que décrit une particule



Puits plat infiniment profond



Energie potentielle :

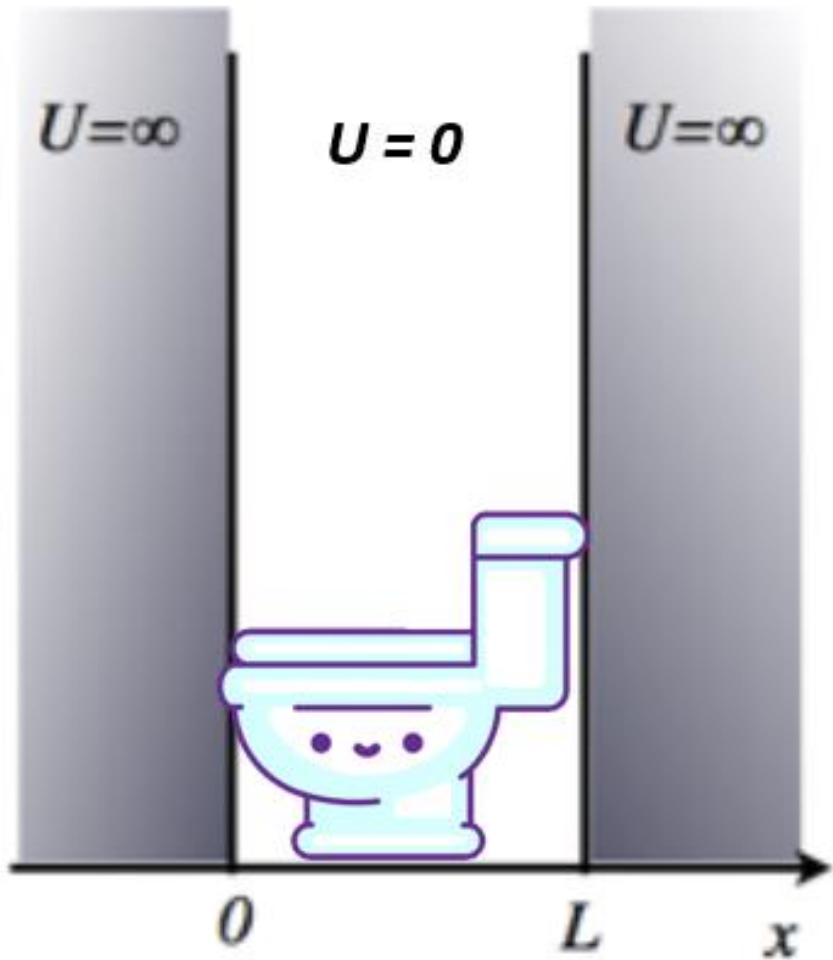
- Nulle entre la zone de confinement
- Infinie en dehors

Solution de l'équation:

- Nulle en dehors de la zone de confinement



Puits plat infiniment profond



Energie potentielle :

- Nulle entre la zone de confinement
- Infinie en dehors

Solution de l'équation:

- Nulle en dehors de la zone de confinement



Les solutions de l'équation : $\psi(x) = C \sin(kx)$ doivent vérifier deux conditions :

$$\Rightarrow \psi(0)=0$$

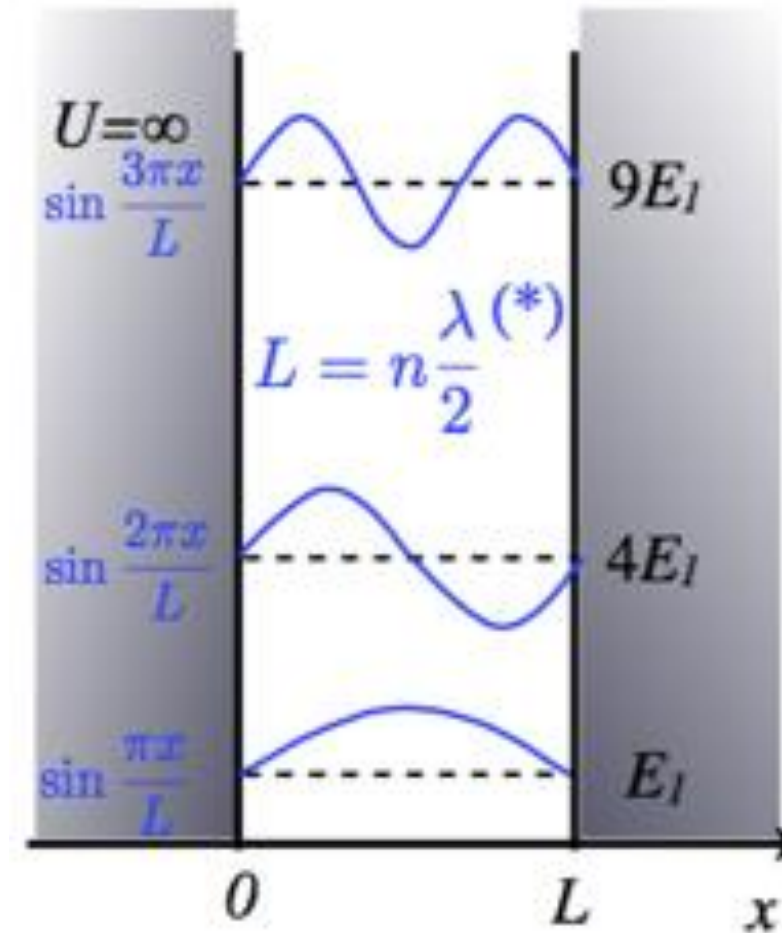
$$\Rightarrow \psi(L)=0 \Leftrightarrow \sin(kL)=0 \Leftrightarrow kL=n\pi \text{ avec } n=1,2,3.$$

$$\text{On sait que } k = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ donc } \frac{2\pi}{\lambda} \cdot L = n\pi$$

Donc :

$$L = n \frac{\lambda}{2}$$

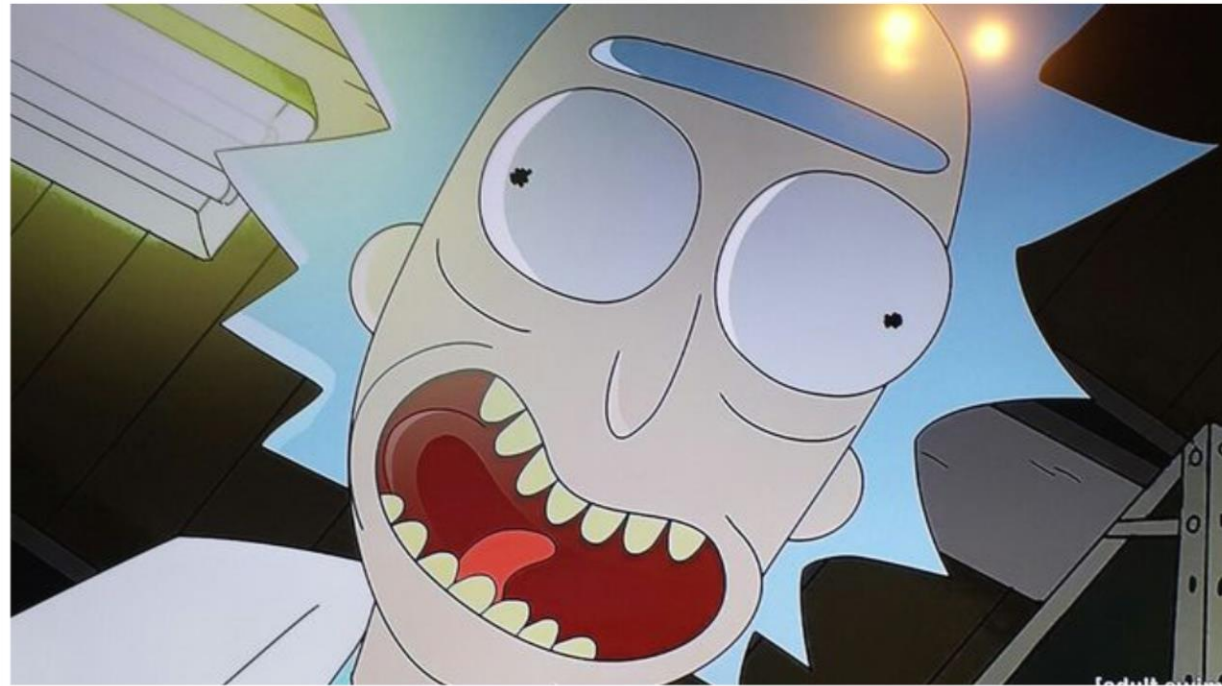
(Analogie formelle avec les modes de vibration d'une corde de longueur L)



2. APPORTS PHYSIQUE QUANTIQUE

- a. Equation de Schrödinger
- b. Effet tunnel

$$E_n = n^2 \cdot \frac{\pi^2 \cdot \hbar^2}{2mL^2} = n^2 \cdot E_1$$



EFFET TUNNEL

BARRIERE
D'ENERGIE



ELECTRON

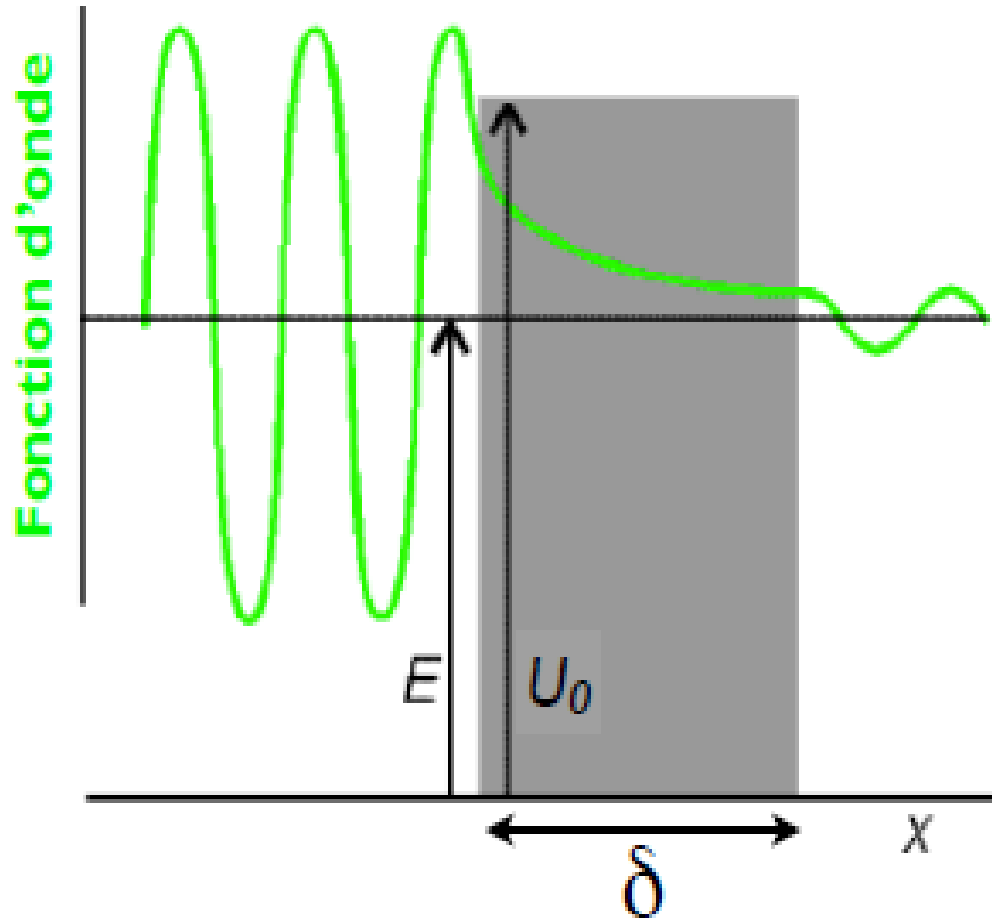


EFFET TUNNEL

2. APPORTS PHYSIQUE QUANTIQUE

- a. Equation de Schrödinger
- b. Effet tunnel

$$\delta \gg \lambda_0$$



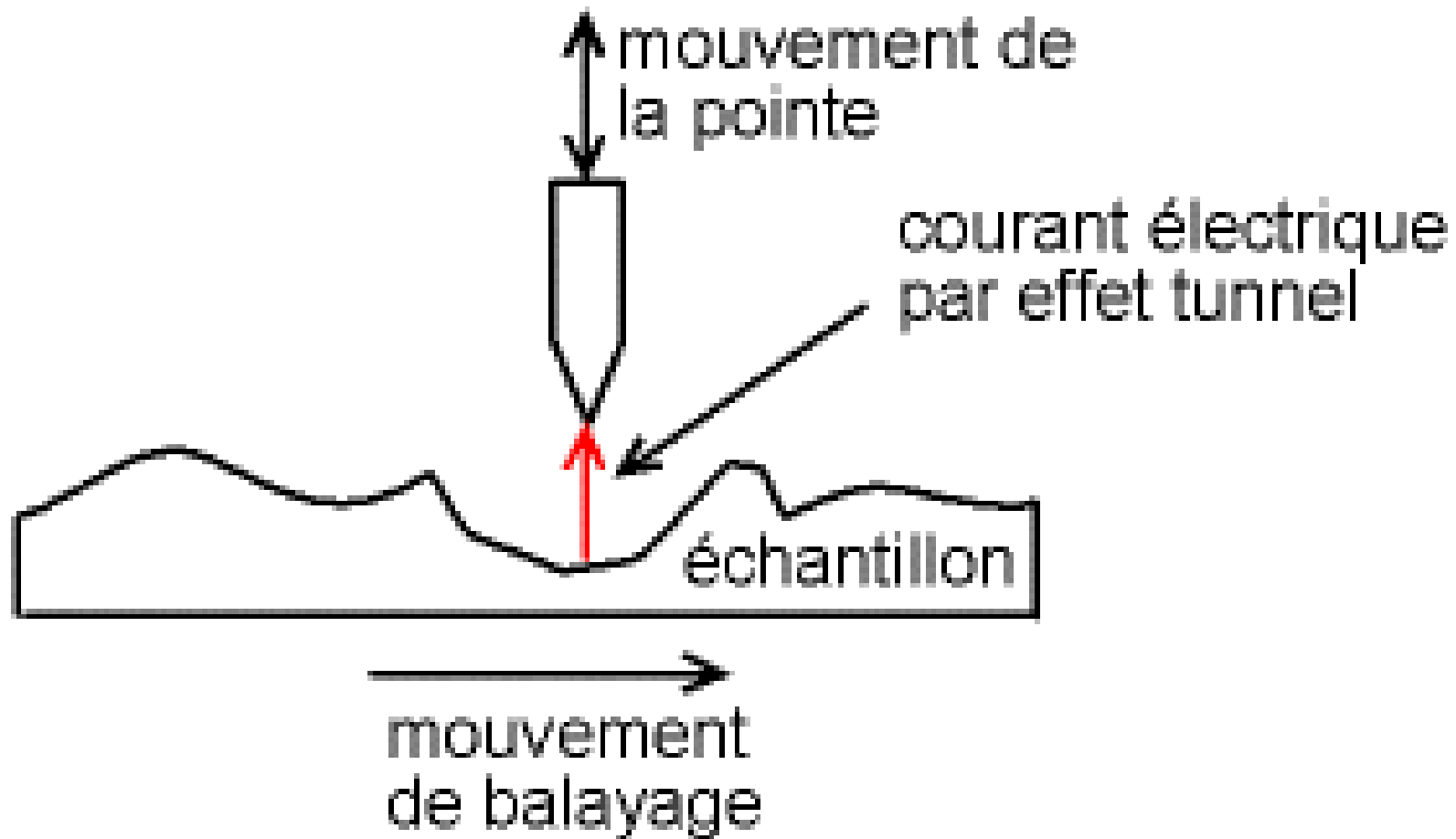
$$P \propto \exp\left(-\frac{2\delta}{\lambda}\right)$$

$$\frac{\Delta p}{p} = 2 \frac{\Delta \delta}{\lambda}$$

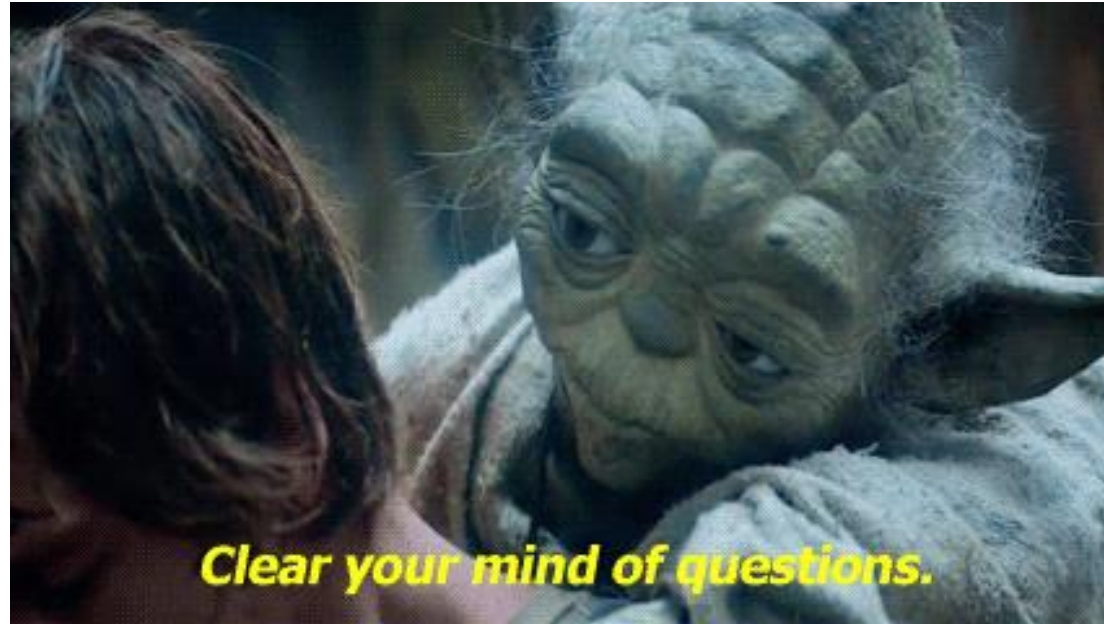
Microscope à effet tunnel :

2. APPORTS PHYSIQUE QUANTIQUE

- a. Equation de Schrödinger
- b. Effet tunnel



QUESTION TIME!!





**VOUS ALLEZ RETOURNER DANS
VOTRE MONDE DANS :**

3... 2... 1...



**Vous êtes arrivé(e)s à destination
BRAVO**

