



BIENVENUE A BORD

An abstract visualization of quantum mechanics, featuring a complex network of glowing blue and yellow lines that form a spherical, web-like structure against a dark background. The lines intersect and curve, creating a sense of dynamic movement and interconnectedness.

**BIENVENUE DANS LE MONDE QUANTIQUE**



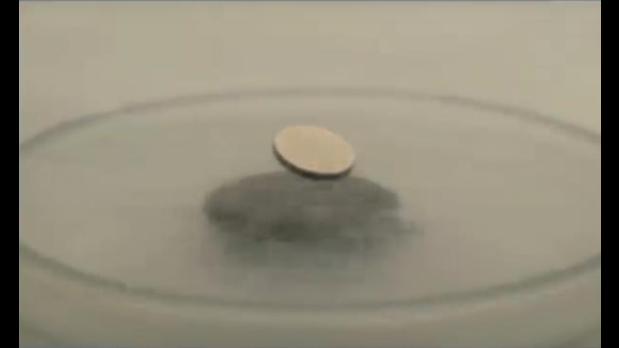
# SOMMAIRE

## I. HISTORIQUE DE LA PHYSIQUE QUANTIQUE

- a. Rayonnement du corps noir
- b. Effet photo-électrique
- c. Stabilité et spectre des atomes
- d. Dualité onde-corpuscule

## II. APPORT DE LA PHYSIQUE QUANTIQUE A LA MECANIQUE MODERNE

- a. L'équation de Schrodinger
- b. Interprétation probabiliste
- c. Relation d'incertitude d'Heisenberg
- d. Microscopie à effet tunnel



# I/ L'HISTOIRE DE LA PHYSIQUE QUANTIQUE





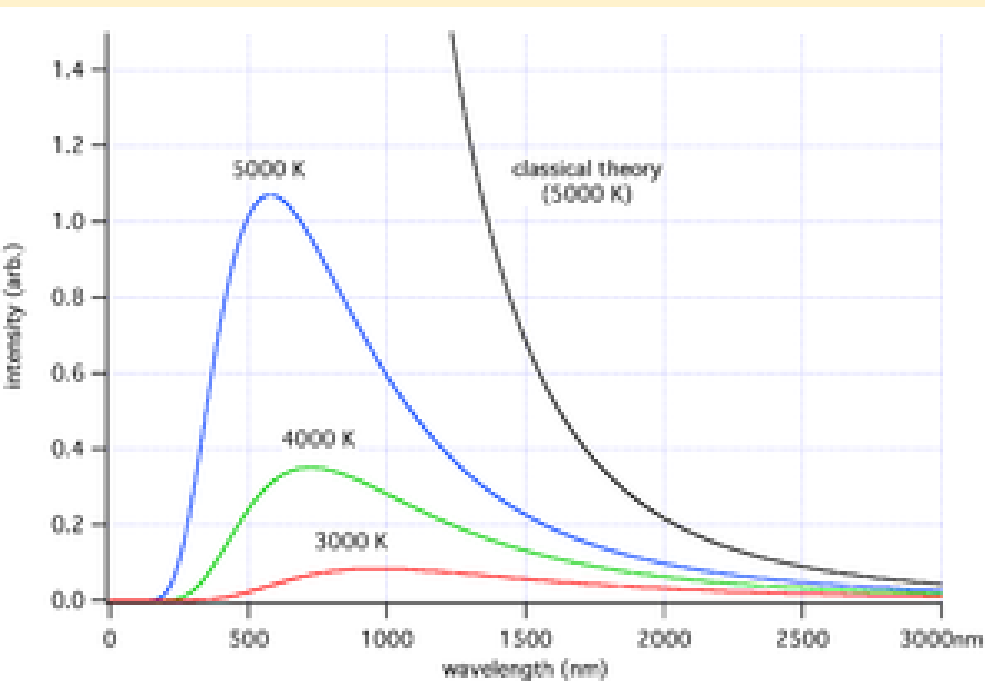
- a. Rayonnement du corps noir
- b. Effet photo-électrique
- c. Stabilité et spectre des atomes
- d. Dualité onde-corpuscule

# A. Le rayonnement du corps noir

Un corps noir échange de l'énergie avec lui-même, et possède une température fixée : on parle d'équilibre thermique

Au final, nous retombons sur nos pattes avec la **loi de Wien** :

$$\lambda_{max} \cdot T = 0,29 \text{ cm} \cdot \text{K} = \text{cste}$$

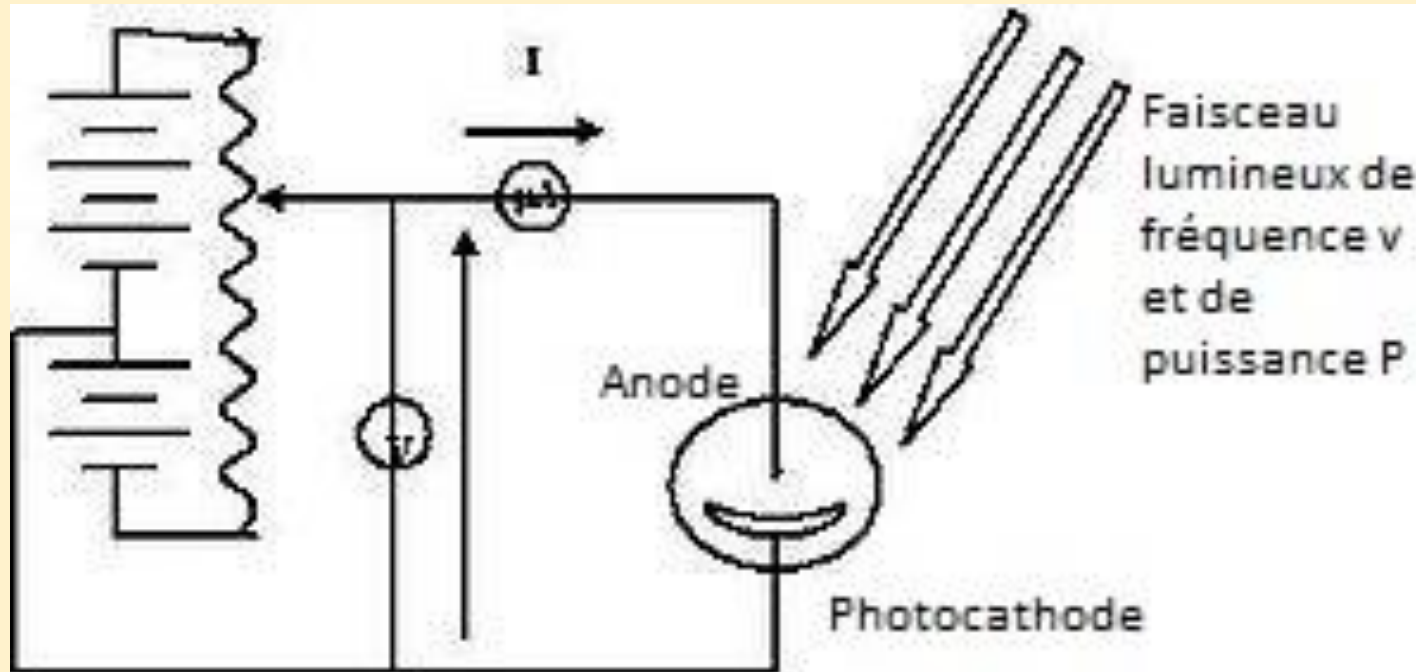


L'énergie d'un photon est donné par différentes formules :

$$E = h \cdot \nu = h \frac{c}{\lambda} = \hbar \cdot \omega$$

Avec  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$

## B. L'effet photo-électrique



NB : La puissance de la lampe peut se calculer via la formule suivante :

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

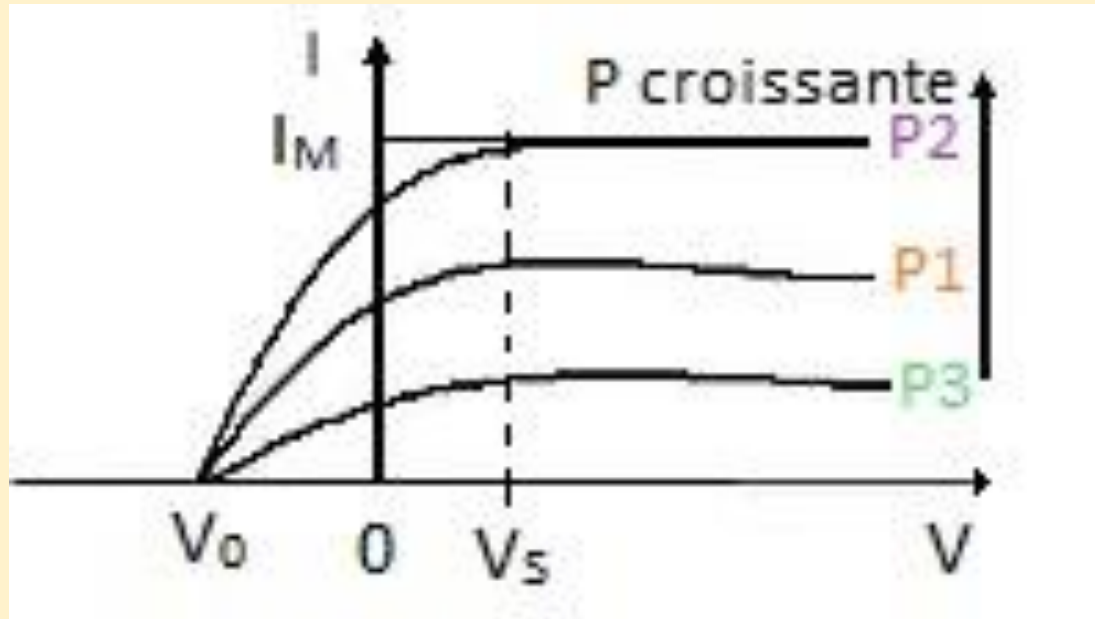
L'électron quand il est arraché à la cathode



- a. Rayonnement du corps noir
- b. Effet photo-électrique
- c. Stabilité et spectre des atomes
- d. Dualité onde-corpuscule

## B. L'effet photo-électrique

L'intensité varie avec la tension,  
l'intensité maximale varie avec  
la puissance

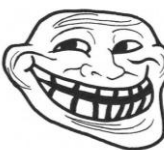


Le point  $V_0$  permet de calculer l'énergie cinétique des électrons :

$$E_c = e \cdot |V_0|$$

- $V_0 \rightarrow$  seuil au-delà duquel il n'y a pas de courant
- Augmentation de l'intensité avec la tension
- Présence d'un plateau
- L'intensité maximale varie avec la puissance

Gros c'est la  
puissance

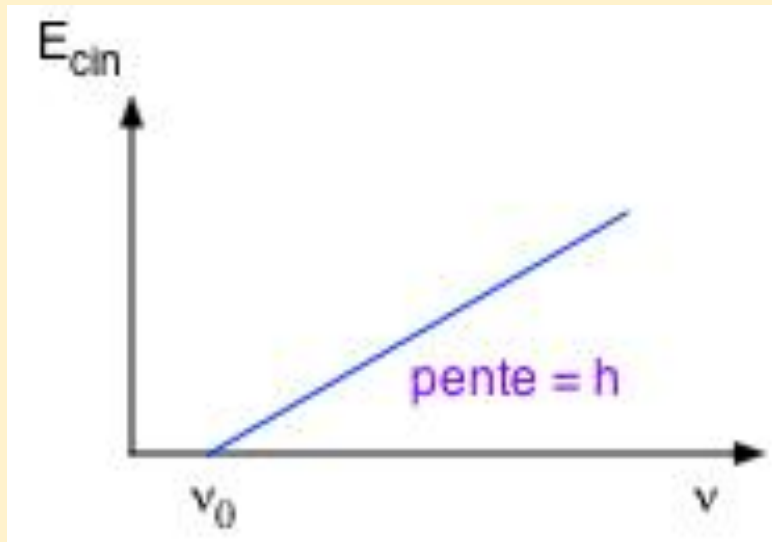




- a. Rayonnement du corps noir
- b. Effet photo-électrique
- c. Stabilité et spectre des atomes
- d. Dualité onde-corpuscule

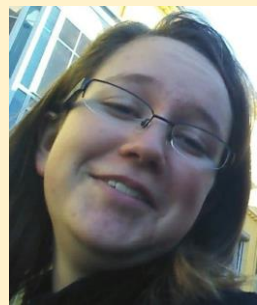
## B. L'effet photo-électrique

La fréquence seuil  $\nu_0$  s'explique par le travail d'extraction : le photon doit fournir une certaine énergie pour arracher l'électron à la cathode avant d'espérer pouvoir lui fournir une énergie cinétique



$$E_c = E_{\text{photon}} - W = h\nu - h\nu_0 = h(\nu - \nu_0)$$

C'est l'histoire d'un photon qui a un rhume. Quand il éternue, il fait « AchNU »







$$E_c = E_{\text{photon}} - W = h\nu - h\nu_0 = h(\nu - \nu_0)$$

$$E_c = e \cdot |V_0|$$

♪♪♪ QCM TIIIME ♪♪♪

Quand j'entends « QCM »

QCM : Une photocathode de césium est éclairée par un faisceau de photons de longueur d'onde 600 nm. La contre-tension maximale est égale à - 0.4 V. La puissance de la lampe est de 50 W.

Données :  $h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$

$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Aides au calcul :  $2,66 / 1,6 \sim 1,7$     $50/3,3 \sim 15$

- A. Le travail d'extraction du métal vaut environ  $2,66 \times 10^{-19} \text{ eV}$
- B. La lampe émet environ  $15 \cdot 10^{19}$  photons par seconde
- C. Le travail d'extraction du métal vaut environ 1,7 eV
- D. La lampe émet environ 30 photons par seconde
- E. Les réponses A, B, C et D sont fausses





# 🎵 CORRECCIÓN 🎵



- 1<sup>ère</sup> étape : extraire les données de l'énoncé

$$\lambda = 600 \text{ nm}$$

$$V_0 = -0.4 \text{ V}$$

$$P = 50 \text{ W}$$

- 2<sup>ème</sup> étape : jongler avec les formules

Maintenant regardons les items. On me demande d'une part le travail d'extraction et d'autre part le nombre de photons émis par la lampe.

Commençons par la valeur du travail d'extraction.

$$E_c = E_{\text{photon}} - W \Leftrightarrow W = h\nu - E_c \text{ et } E_c = e|V_0| \text{ donc } W = h\nu - e|V_0|$$

- 3<sup>ème</sup> étape : calcuuuuul !

On commence par calculer le travail d'extraction :

$$W = 6,6 \cdot 10^{-34} * \frac{3 \cdot 10^8}{600 \cdot 10^{-9}} - 0.4 * 1,6 \cdot 10^{-19} = 2,66 \cdot 10^{-19} \text{ J} = \frac{2,66 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} \approx 1,7 \text{ eV}$$

- Maintenant retour à l'étape 2 :

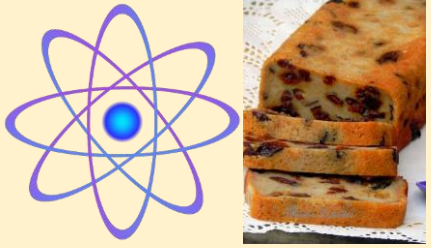
$$P = n * E \Leftrightarrow n = \frac{P}{E}$$

Et on peut calculer, ici c'était relativement simple niveau formules, maintenant atención à utiliser la bonne énergie !!! Il faut utiliser  $E_{\text{photon}} = 3,3 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$$\Leftrightarrow n = \frac{50}{3.3 \cdot 10^{-19}} \approx 15 \cdot 10^{19} \text{ photons/s}$$

Les bonnes réponses étaient donc B et C !



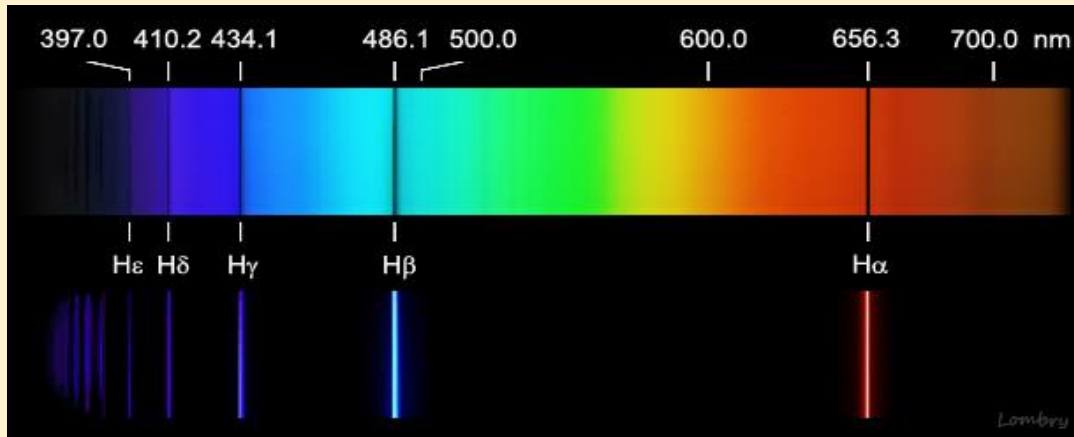


## I. HISTORIQUE DE LA PHYSIQUE QUANTIQUE

- a. Rayonnement du corps noir
- b. Effet photo-électrique
- c. Stabilité et spectre des atomes
- d. Dualité onde-corpuscule

# C. Stabilité et spectre des atomes

*Spectre de raie de l'atome d'hydrogène*



Chaque raie observée respecte l'équation suivante pour des couples de valeur bien précis :

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

$R_H$  = cste de Rydberg

Les différentes raies ont des petits noms :

UV -> raies de LYMAN

Visible -> raies de BALMER

IR -> raies de PASCHEN



- a. Rayonnement du corps noir
- b. Effet photo-électrique
- c. Stabilité et spectre des atomes
- d. Dualité onde-corpuscule

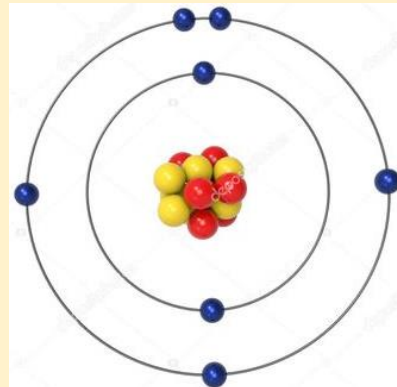
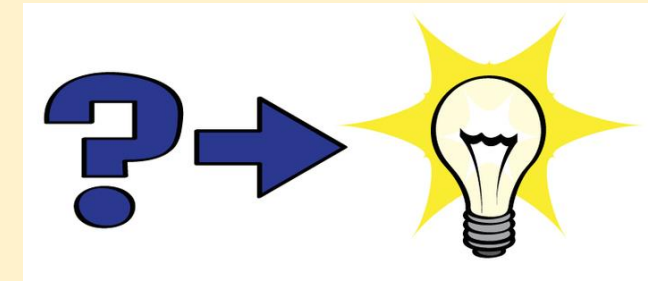
## C. Stabilité et spectre des atomes

Bohr pose l'hypothèse que si l'énergie des photons est quantifiée, alors celle des électrons l'est également et il propose l'équation permettant cette quantification :

$$E_n = -\kappa^2 \frac{me^4}{2\hbar^2 n^2}$$

$$E_n = -E_H \frac{1}{n^2}$$

Avec  $E_H = -13.6 \text{ eV}$



De cette hypothèse découle une conséquence importante : seuls certains rayons sont permis ! Et on peut les trouver grâce à une formule :

$$r_n = a_0 n^2$$

Avec  $a_0$  le rayon de Bohr



## D. Dualité onde corpuscule





- I. HISTORIQUE DE LA PHYSIQUE QUANTIQUE
- a. Rayonnement du corps noir
  - b. Effet photo-électrique
  - c. Stabilité et spectre des atomes
  - d. Dualité onde-corpuscule

## D. Dualité onde corpuscule

Nous la connaissions pour le photon il l'a généralisée à l'ensemble des particules

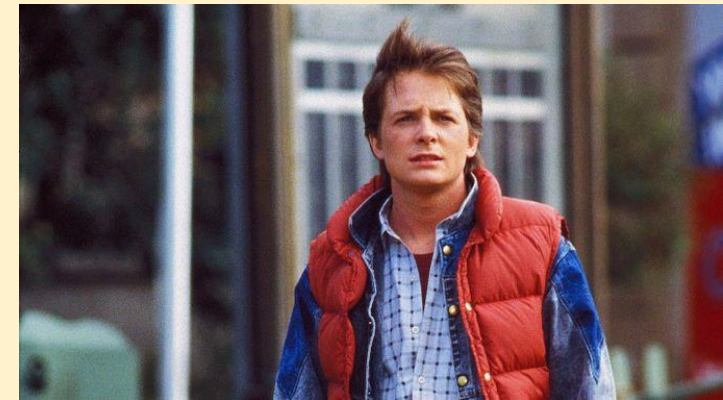
$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = eV \Leftrightarrow mv = \sqrt{2eVm}$$

*Louis de Broglie*



$$\lambda = \frac{h}{mv} \Leftrightarrow \lambda = \frac{h}{\sqrt{2eVm}}$$





# 🎵 APLICACIÓN 🎵

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

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2eVm}}$$

$$\lambda = \frac{6,6 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 * 1,6 \cdot 10^{-19} * 100 * 9,1 \cdot 10^{-31}}}$$

$$\lambda \approx 1,2 \cdot 10^{-10} \text{ m} \approx 1,2 \text{ \AA}$$



## ♪♪♪ TIPS TIME ♪♪♪

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2eVm}}$$

Pour un électron,  $h$ ,  $e$ , et  $m$  sont constants. Donc nous pouvons écrire :

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2em}} * \frac{1}{\sqrt{V}}$$

Ainsi, nous avons regroupé toutes les constantes entre elles et nous avons isolé la seule variable. Il faut donc connaître la valeur de l'ensemble des constantes, et ensuite on peut faire varier en fonction de  $V$  :

$$\frac{h}{\sqrt{2em}} = \frac{6,6.10^{-34}}{2 * 1,6.10^{-19} * 9,1.10^{-31}} \approx 1,2.10^{-9}$$

Il reste donc :  $\lambda = \frac{1,2.10^{-9}}{\sqrt{V}}$

Donc  $\lambda$  est inversement proportionnel à  $\sqrt{V}$  ce qui signifie que si  $V$  diminue d'un facteur 4,  $\lambda$  augmente d'un facteur  $\sqrt{4}$



# ♪♪♪ TIPS TIME ♪♪♪

Pour résumer :

Si dans l'énoncé on vous demande de calculer la **longueur d'onde** d'un ELECTRON et qu'on vous donne une **différence de potentiel** ne vous embêtez pas à utiliser la grosse formule. Utilisez plutôt :

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

C'est-y pas  
beau ça ?

Et même que ça vous donne le résultat en nm !

Mais si on vous parle de  
**protons** ou **neutrons**, ce  
n'est plus  $1,2 \cdot 10^{-9}$  qu'il  
faut utiliser, mais  
 **$2,9 \cdot 10^{-11}$**  !



## II/ L'APPORT DE LA PHYSIQUE QUANTIQUE A LA MECANIQUE MODERNE

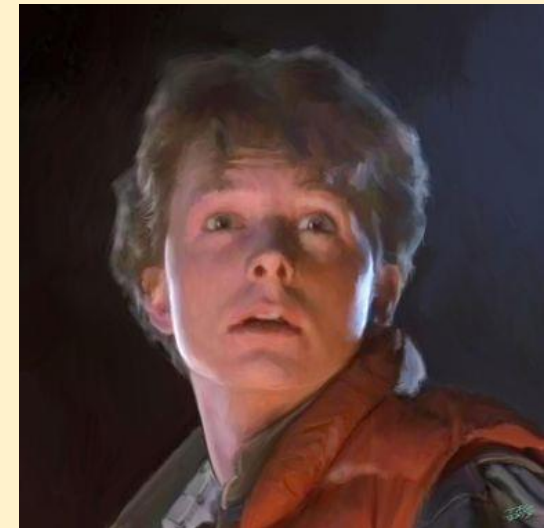




# A. L'équation de Schrödinger

Elle permet de décrire mathématiquement la forme de l'onde que décrit une **PARTICULE**

$$\frac{\partial^2 \psi(x)}{d(x)^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U(\vec{r})) \psi(x) = 0$$





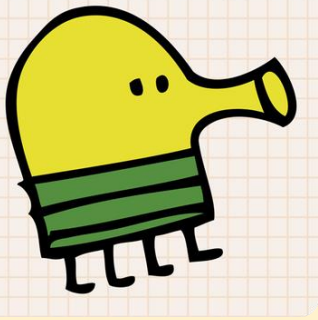


**PRANK**





En vrai, elle sert juste à appliquer le puits plat infiniment profond



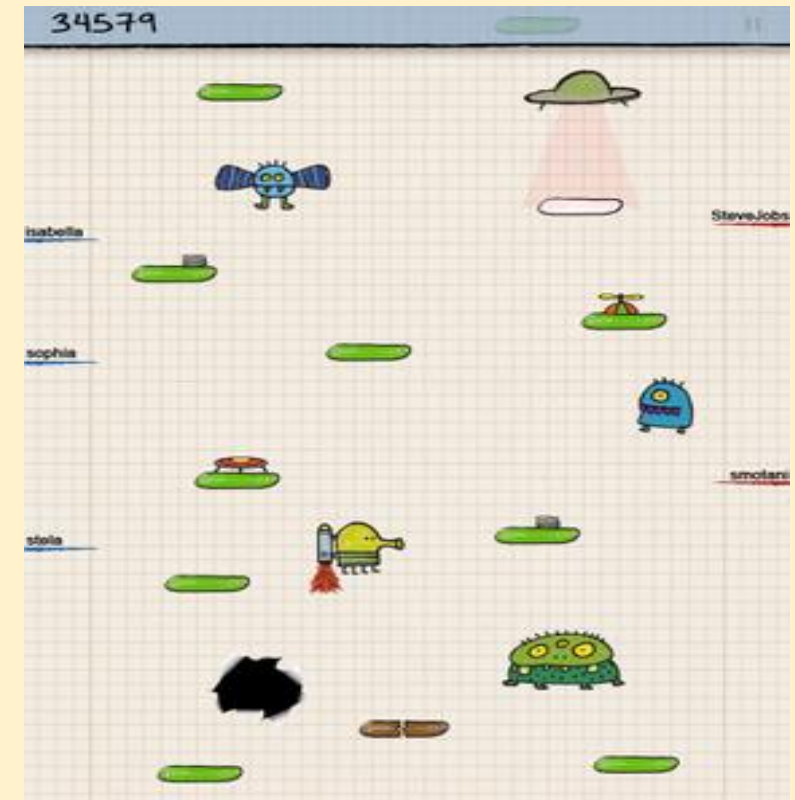
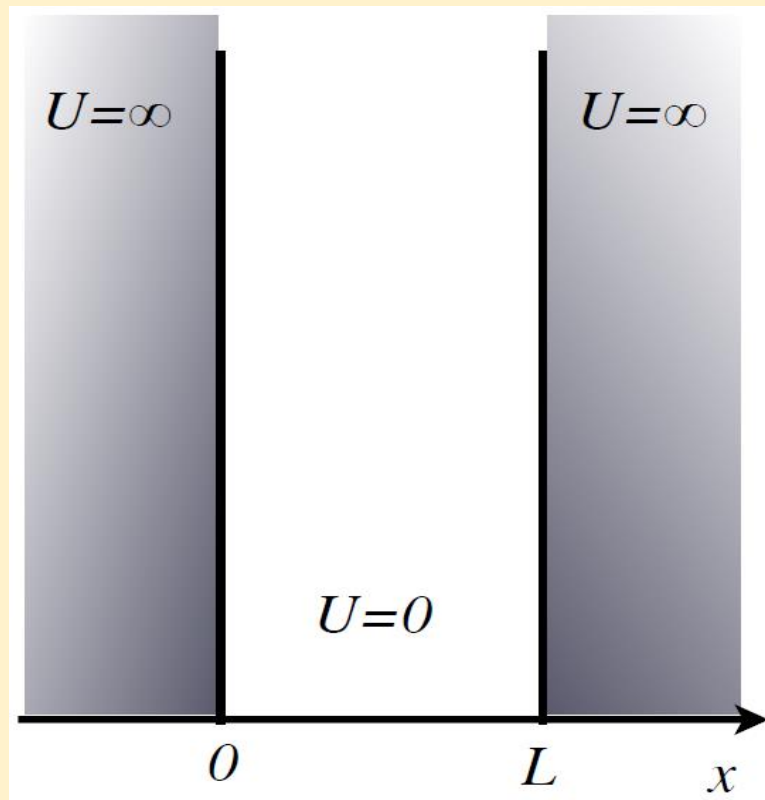
# A. L'équation de Schrödinger

## Application : le puits plat infiniment profond

Une particule est enfermée dans une boîte de profondeur infinie

Energie potentielle dans la boîte :  $U = cste = 0$

Energie potentielle hors de la boîte :  $U = \infty$





# Le puits plat infiniment profond

En utilisant la formule de Schrödinger, on tombe sur :

$$\psi(x) = C \sin(kx)$$

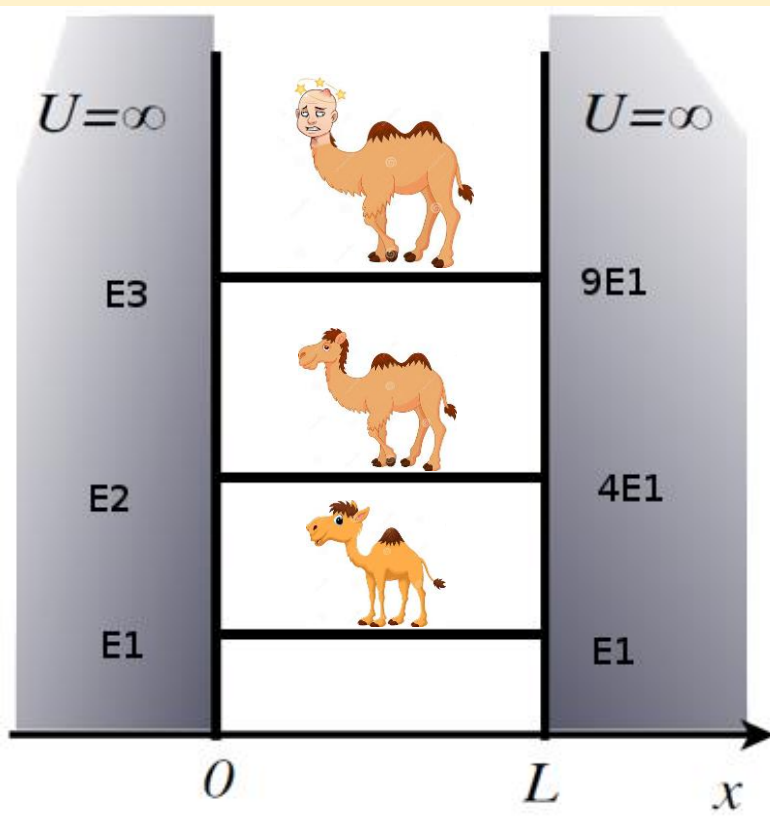
Et à cause de la barrière d'énergie potentielle, sur les bords de notre boîte, on obtient l'équation suivante :

$$\psi(x) = C \sin(kx) = 0$$

Il faut donc que l'équation vérifie :

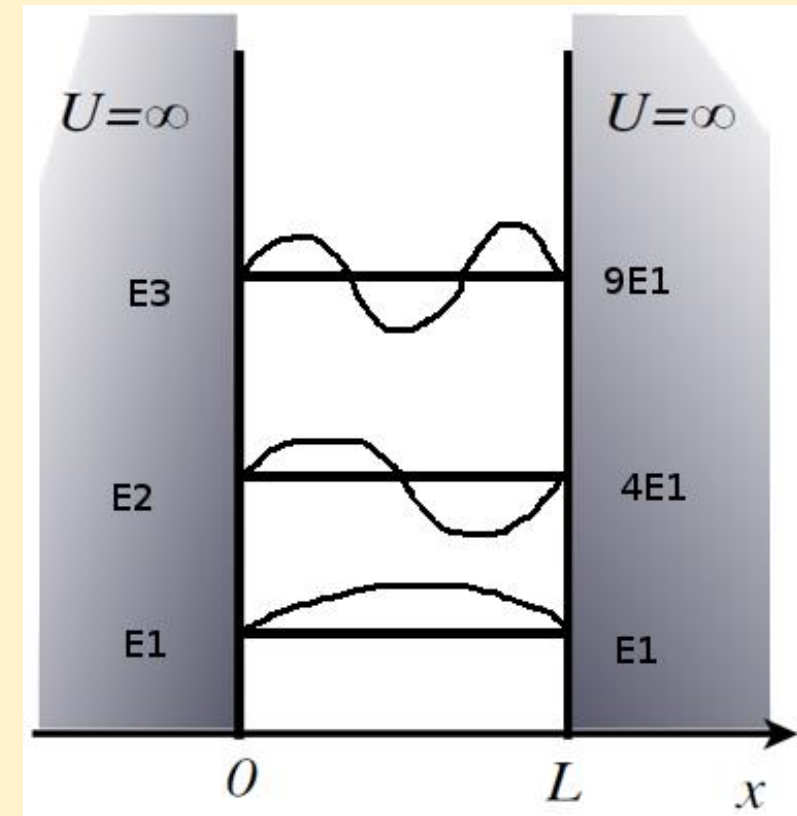
$$\psi(0) = 0 \text{ et } \psi(L) = 0 \Leftrightarrow \sin(kL) = 0 \Leftrightarrow kL = n\pi$$

$$\text{Or on sait que } k = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ d'où } L = n \frac{\lambda}{2}$$



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

$$E_n = n^2 \frac{h^2}{8mL^2} = n^2 E_1$$





## B. La microscopie à effet tunnel



From this...



... to that





## B. La microscopie à effet tunnel

Une particule avec une certaine énergie cinétique est face à une barrière d'énergie potentielle telle que :

$$E_c < U$$

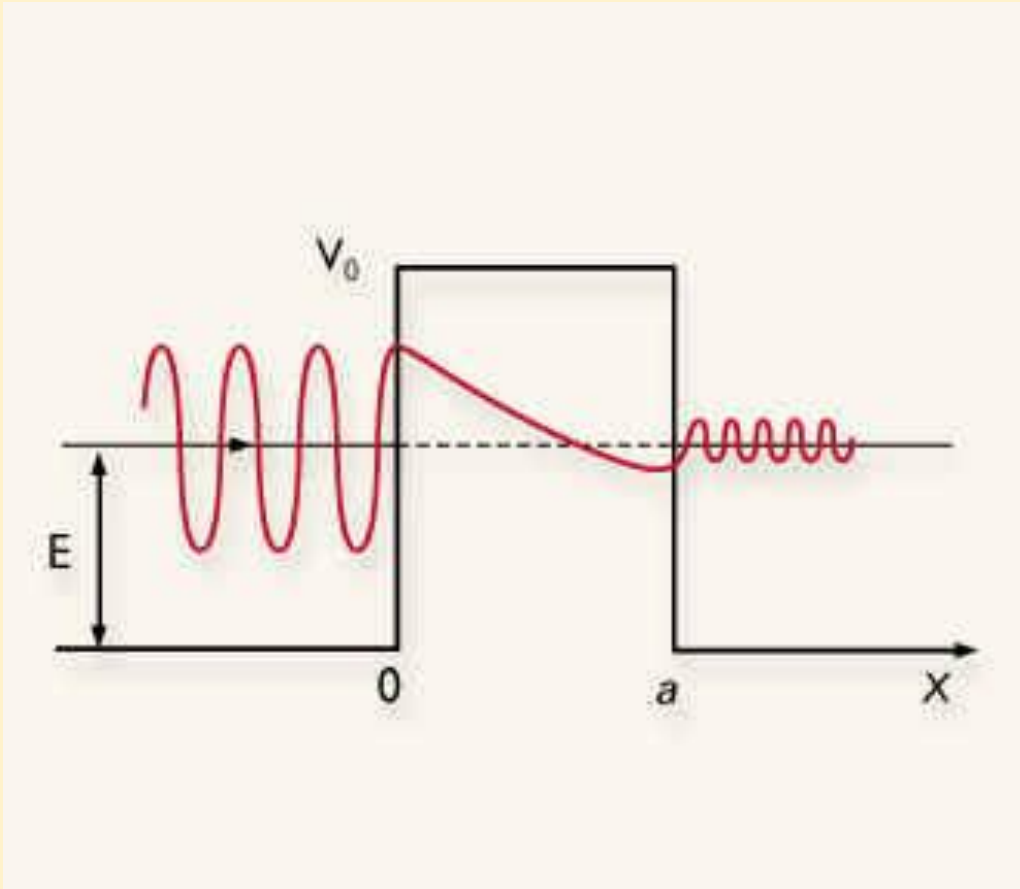
→ En physique classique, la probabilité que cette particule passe la barrière est nulle.

→ En physique quantique, cette probabilité, bien qu'infime, existe :

$$P \propto e^{\frac{-2\delta}{\lambda_0}}$$

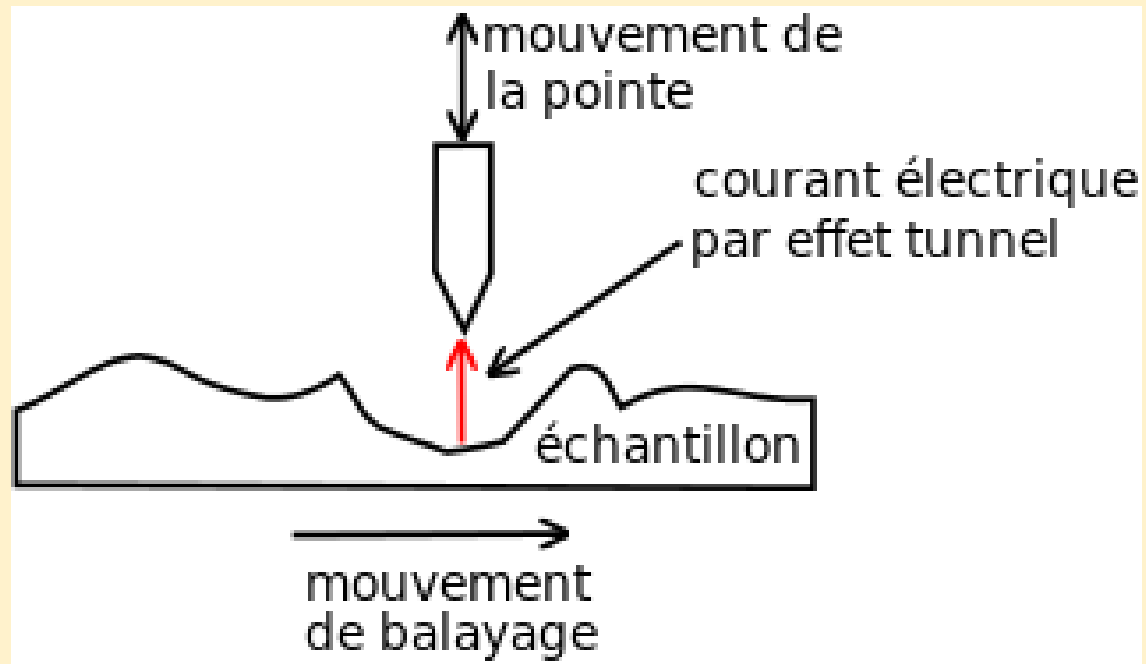
Pour un électron,  $P \approx 10^{-6}$  mais il faut se souvenir qu'on bombarde de milliards d'électrons !

NB : l'amplitude de l'onde diminue de façon exponentielle donc elle ne subsiste pas longtemps si l'obstacle est trop épais !

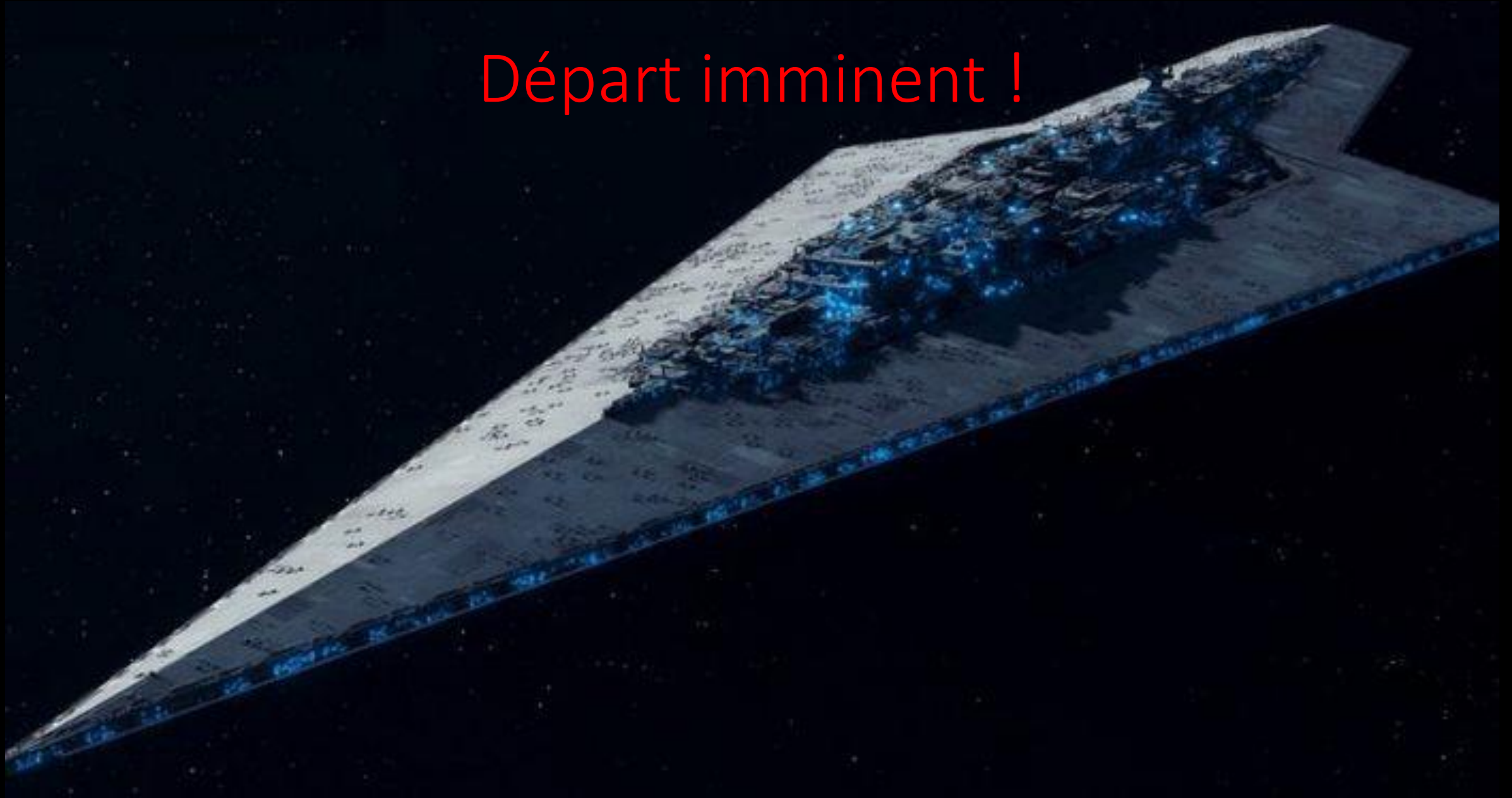




## B. La microscopie à effet tunnel



Départ imminent !





Bon retour dans le monde classique !

