

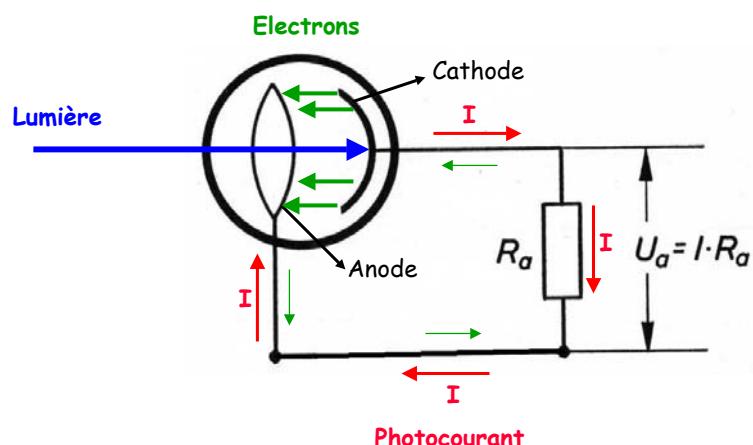
# APE 0 : Illustration expérimentale de la dualité onde-matière

- ✓ Effet photoélectrique
- ✓ Diffraction des électrons



## Effet photoélectrique

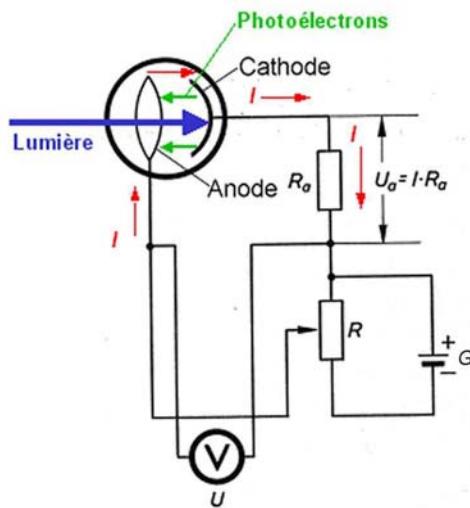
- ✓ Principes de base:



# Effet photoélectrique

## ✓ Montage expérimental:

- Application d'un potentiel d'arrêt négatif à l'anode permettant d'annuler le photocourant



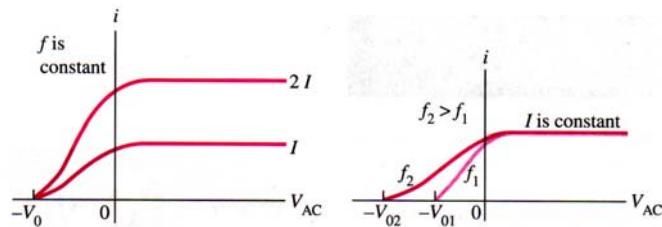
# Effet photoélectrique

## ✓ Mesures expérimentales:

Filtre	Longueur d'onde (nm)	Potentiel d'arrêt (mV)
Jaune	578	
Vert	546	
Bleu	436	

## Effet photoélectrique

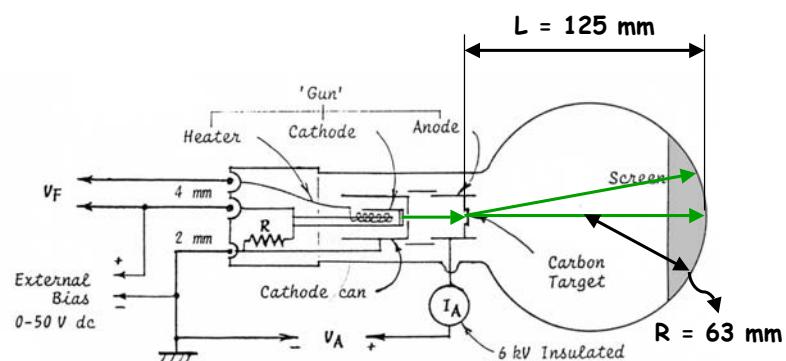
### ✓ Observations:



- Fréquence "seuil" en dessous de laquelle aucun photocourant n'est observé
- Pour  $V \geq 0$ , intensité du courant proportionnelle à l'intensité du rayonnement
- Potentiel d'arrêt:
  - indépendant de l'intensité du rayonnement
  - fonction de la fréquence du rayonnement

## Diffraction des électrons

### ✓ Dispositif expérimental:



# Diffraction des électrons

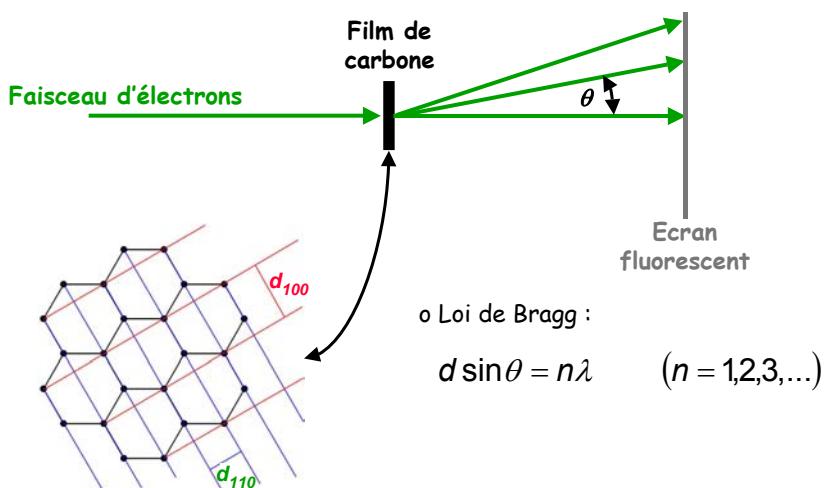
## ✓ Mesures expérimentales:

L (mm) = **125**

Tension (kV)	Diamètre int. (mm)	Diamètre ext. (mm)

# Diffraction des électrons

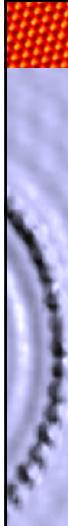
## ✓ Observations: anneaux de diffraction





## Cours 5: Limites de la physique « classique » et dualité « onde-matière »

- ✓ Limitations de la physique « classique »
- ✓ Quantification dans le rayonnement et dans la matière
- ✓ Dualité « onde-particule »



## Théories « classiques »

- ✓ Deux catégories d'objets:
  - matière et rayonnement
- ✓ Théorie corpusculaire de la matière
  - mécanique newtonienne (Newton, 1700)
    - corps célestes
    - solides macroscopiques
    - théorie cinétique des gaz
    - thermodynamique statistique
  - mécanique relativiste (Einstein, 1905)
    - méca newtonienne = approximation pour  $v \ll c$



## Théories « classiques »

### ✓ Théorie ondulatoire du rayonnement

- équations de Maxwell (1855)
  - lois de l'électromagnétisme
  - synthèse optique - électricité
- rayons X
  - découverte (Röntgen, 1895)
  - diffraction par cristaux (von Laue, 1912)
    - ⇒ caractère ondulatoire

### ✓ Insuffisances pour expliquer certains résultats expérimentaux

## "Quanta" de rayonnement

### ✓ Rayonnement du "corps noir"

- distribution spectrale inexplicable par théorie classique
- Planck (1900):
  - échange d'énergie matière-rayonnement par "quanta" d'énergie

$$E = h\nu$$

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.sec}$$

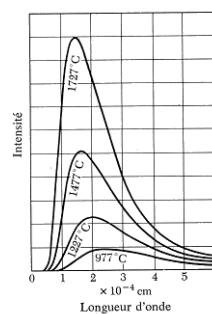


Fig. 1.35 A Courbes montrant, pour quatre températures différentes, la puissance émise par un corps noir, par unité de surface et dans un intervalle unité de longueur d'onde. La puissance totale émise est proportionnelle aux surfaces figurant sous les courbes : elle est proportionnelle à la quatrième puissance de la température absolue. Remarquez comment la position du maximum varie avec la température : la dépendance exacte constitue la loi de Wien.

## "Quanta" de rayonnement

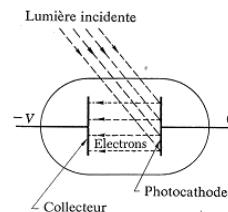
### ✓ Effet photoélectrique

□ expériences:

- ~~$E_{cin} \propto \text{intensité lumineuse}$~~
- ~~$E_{cin} \propto \text{fréquence } ???$~~

□ Einstein (1905):

- rayonnement lumineux composé de photons



**Fig. 1.44 A** Figure très schématique représentant le principe de l'expérience de Millikan. Des électrons sont émis avec une énergie  $E_{cin} = h\nu - W$ , où  $W$  est la puissance extraite caractéristique du matériau constituant la cathode, lorsque passe la lumière de fréquence  $\nu$  tombe sur la photocathode. La courant d'électrons vers le collecteur s'arrête lorsque le potentiel de freinage  $V > (h\nu - W)/e$ . La mesure du potentiel d'arrêt  $V_0 = (h\nu - W)/e$  en fonction de  $\nu$  permet de mesurer la constante  $h/e$  (voir fig. 1.44 B).

### ✓ Aspect corpusculaire du rayonnement

$$E = h\nu$$

## "Quanta" dans la matière

### ✓ Chaleur spécifique des solides

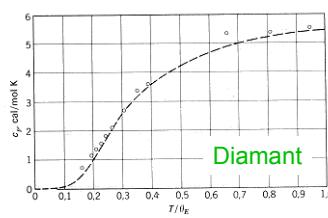
□  $\div 3R = 3N_0k_B$  à haute  $t^\circ$

□ décroissance en  $T^3$  à basse  $t^\circ$

□ Einstein (1907):

- quantification des modes propres de vibration du réseau cristallin (**phonons**)

$$U_n = \hbar\omega_n$$



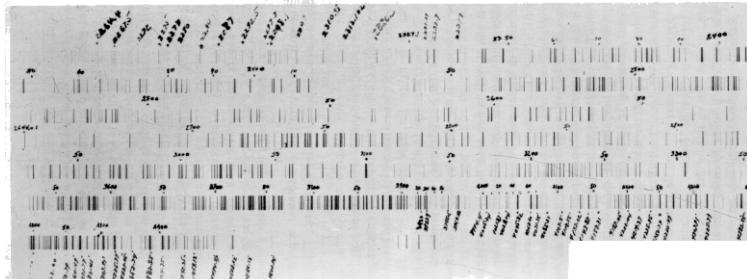
**Figure 3** Comparaison des valeurs expérimentales de la capacité calorifique du diamant avec les valeurs calculées par le modèle d'Einstein en utilisant la température caractéristique  $\theta_E = \hbar\omega/k_B = 1\,320\text{ K}$ . Pour convertir en  $J/\text{mol.deg.}$  multiplier par 4,186 [d'après A. EINSTEIN, *Ann. Physik* **22**, 180 (1907)].

## "Quanta" dans la matière

### ✓ Spectre d'émission du fer:

- ❑ spectre discret ???

Plusieurs portions du spectre du fer, photographiées sur la même plaque de verre. Les longueurs d'onde écrites sur la plaque sont données en Angström. Cette photographie n'a pas été prise en vue de mesurer les longueurs d'onde mais au contraire en vue d'utiliser ces longueurs d'onde bien connues pour calibrer un spectrographe à prisme de quartz. (Photographie du Professeur S. P. Davis, Berkeley.)



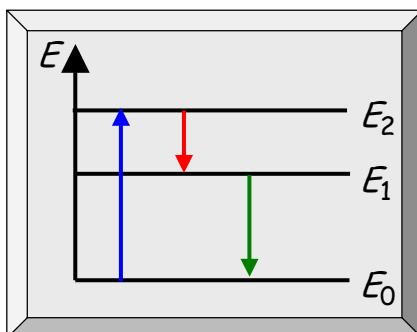
## "Quanta" dans la matière

### ✓ Spectres d'émission et d'absorption

- ❑ Rutherford (1911)
  - modèle atomique "planétaire"
- ↔ résultats expérimentaux
- ❑ Bohr (1913)
  - quantification des niveaux d'énergie atomique



$$h\nu_{ij} = E_j - E_i$$



## "Quanta" dans la matière

### ✓ Dualité onde - particule

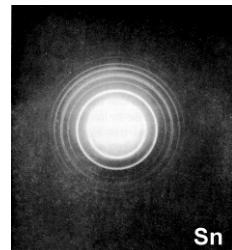
❑ de Broglie (1924)

- attribution caractère ondulatoire à la matière

$$\lambda = \frac{h}{|\vec{p}|}$$

❑ Davisson-Germer (1927)

- diffraction électrons par cristaux



**UCL**  
Université  
catholique  
de Louvain

### ✓ Energie quantifiée et aspect ondulatoire de la matière

17

## Conclusions

### ✓ Dualité onde - corpuscule

### ✓ Quantification de l'énergie

### ✓ Nécessité d'une théorie plus générale

## Mécanique quantique

### ✓ Remarques:

❑ validité M.Q. établie par concordance avec résultats expérimentaux

❑  $\hbar$  négligeable  $\Rightarrow$  physique classique applicable



**UCL**  
Université  
catholique  
de Louvain

18