



DEVOIR MAISON 2 – PHYSIQUE-CHIMIE

D.Malka – MPSI 2020-2021 – Lycée Jeanne d’Albret

24-12-2020



Effet Aharonov-Bohm

Dans ce problème, on s’intéresse aux interférences entre électrons (dualité onde corpuscule) et à leur modulation par application d’un champ magnétique.

Dans un premier temps, nous considérons le système d’interférences optiques dit des fentes d’Young. Nous donnons une interprétation géométrique de la figure d’interférences en termes différence de marche entre les deux trajectoires issues de chacune des fentes d’Young et nous l’appliquons à des particules chargées en présence d’un champ magnétique. Enfin, nous opérons par analogie avec les fentes d’Young pour interpréter l’effet Aharonov-Bohm dans un semi-conducteur en forme d’anneau.

On considère donc le système des fentes d’Young. Sous l’effet d’une onde lumineuse incidente, les points A_1 et A_2 émettent en phase deux ondes harmoniques, de longueur d’onde λ , d’expressions respectives $s_1(M, t) = s_0 \cos(\omega t)$ et $s_2(M, t) = s_0 \cos(\omega t + \delta\phi)$ au point M (fig.1).

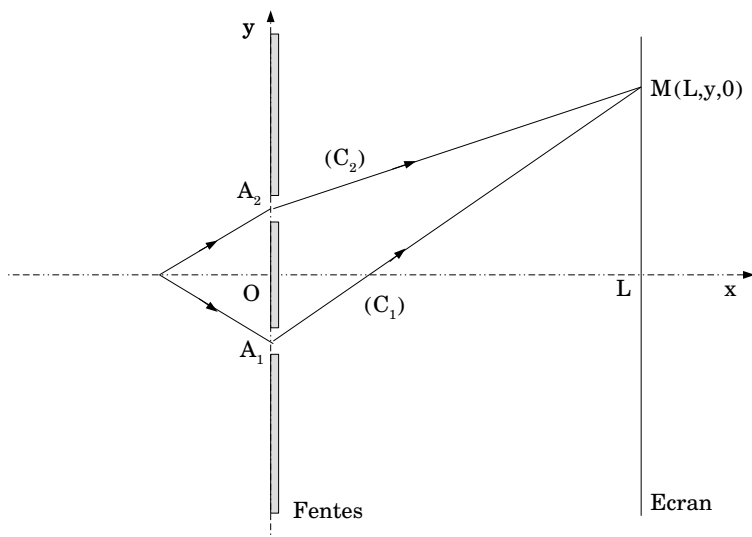


FIGURE 1 – Le dispositif des fentes d’Young. Coordonnées de $A_1 : (0, d/2, 0)$, coordonnées de $A_2 : (0, -d/2, 0)$. Dans les conditions d’utilisation, $y \ll L$ et $d \ll L$.

1. L’écran n’est sensible qu’à l’intensité lumineuse $I = \alpha \langle s(M, t)^2 \rangle$ où $\langle s(M, t) \rangle$ est la moyenne temporelle de la vibration lumineuse $s(M, t)$ en M et α une constante positive. Exprimer I en fonction de $I_0 = \alpha s_0^2$ et de $\delta\phi$.
2. A l’aide d’un développement limité à l’ordre 2 en y/L et d/L , montrer que la différence de marche δ en M entre les deux ondes empruntant les chemins (C_2) et (C_1) s’écrit :

$$\delta = \frac{d \cdot y}{L}$$



En déduire l’expression du déphasage $\delta\phi$ au point M en fonction de d , y , L et λ .

- Donner l’expression de l’intensité $I(y)$. En quelles ordonnées y_p , les interférences sont-elles constructives ? Représenter graphiquement $I(y)$.
- Les ondes considérées précédemment sont en fait la manifestation ondulatoire de particules de charges q . On ajoute un solénoïde de rayon R en aval des fentes d’Young (fig.2). Le champ magnétique \vec{B} engendré par le solénoïde ajoute un déphasage supplémentaire entre les deux ondes interférant en M :

$$\delta\phi_B = -\frac{q}{\hbar} B \pi R^2$$

Cependant, ce champ magnétique ne modifie pas les trajectoires (C_1) et (C_2) des particules.

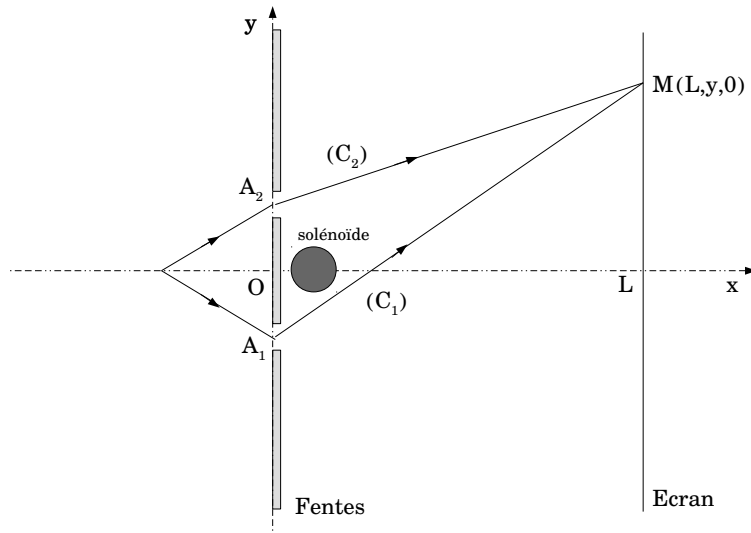


FIGURE 2 – Un solénoïde de rayon R est ajouté en aval des fentes d’Young

Expliquer précisément comment l’intensité $I(y)$ sur l’écran est modifiée par la présence du champ magnétique B .

- La figure fig.3 représente un échantillon semi-conducteur en forme d’anneau. Un courant électronique est induit par une tension électrique appliquée U entre les bornes 1 et 2. L’existence de deux chemins de conduction conduit à un phénomène d’interférences affectant la valeur de l’impédance Z du circuit. Un champ magnétique B appliqué perpendiculairement au circuit induit une modification de cette impédance.

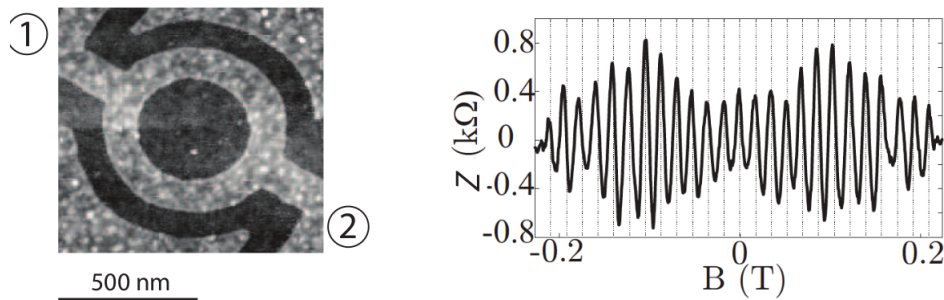


FIGURE 3 – Fluctuation de la impédance Z d’un semi-conducteur en forme d’anneau de rayon $R = 270$ nm en fonction du champ magnétique B

Par analogie avec le système précédent expliquer au mieux les fluctuations de la impédance Z du dispositif avec la valeur du champ magnétique appliqué. Une évaluation numérique de la pseudo-période ΔB de ces variations est notamment attendue.