

Rapport SECOND CONCOURS 2022 - Interrogation de physique

Après deux années d'interrogation à distance et avec un format nécessairement différent, cette épreuve est revenue à son format d'avant la crise COVID. Le déroulement de cette épreuve se fait en deux temps : le candidat bénéficie d'une heure de préparation en salle puis passe devant le jury. L'oral à proprement parler est constitué d'une partie théorique d'une heure durant laquelle le candidat est amené à exposer sa résolution d'un problème donné et d'une autre partie de 30 minutes portant sur des questions s'appuyant essentiellement sur les compétences expérimentales requises dans les programmes des classes préparatoires aux grandes écoles.

Depuis la session 2019, le concours est ouvert exclusivement aux étudiants de niveau L3. En conséquence les sujets sont calibrés pour ce niveau d'étude. La partie théorique en particulier fait appel au plus des notions de physique enseignées en L3 (mécanique quantique, relativité, physique statistique classique...). Les notions relatives à ces sujets sont apparues plutôt bien assimilées par la plupart des candidats cette année. On peut néanmoins signaler que l'origine du théorème d'équipartition en physique statique n'est pas connue. En mécanique quantique si les niveaux d'énergie de l'oscillateur harmonique quantique ne posent pas de problème, ce n'est pas le cas de la fonction d'onde de l'état fondamental. Le jury est également étonné des hésitations sur les relations de commutation entre opérateur position et impulsion, tout comme sur la représentation position de ce dernier.

Nous tenons à faire remarquer que les sujets proposés reposent aussi pour une large part sur la physique enseignée en L1 ou L2. Les questions ayant trait aux notions enseignées à ce niveau sont généralement celles qui posent le plus de problème aux candidats. Citons pour cette année : la définition d'un moment magnétique, l'expression et l'utilisation des amplitudes complexes en optique, l'effet Hall classique ou encore l'utilisation d'une photodiode pour n'en citer que quelques-uns. Le jury ne saurait que trop insister sur la nécessité de consolider fortement ces aspects de la physique classique qui, au-delà de leur intérêt propre, permet de mieux comprendre et assimiler les parties de la « physique moderne » enseignée en L3.

Sur un plan plus général, le jury fait remarquer que maîtriser l'analyse dimensionnelle est indispensable, mais qu'elle seule ne peut suffire pour répondre aux exigences de l'épreuve proposée qui repose sur une modélisation mathématique d'un problème réel : une mise en équations rigoureuse et une résolution commentée sont des attendus pour cette première partie de l'épreuve.

De même, lors de la partie consacrée à l'évaluation des compétences expérimentales, le jury attend des candidats qu'ils soient capables de proposer des protocoles de mesures simples sur l'ensemble des domaines abordés en classes prépas (électricité, électronique, électrotechnique, électromagnétisme, optique, onde, mécanique, thermodynamique). Il attend également qu'ils aient une bonne connaissance des instruments de base de la métrologie présents dans les laboratoires d'enseignement et qu'ils sachent confronter les résultats d'une mesure avec une valeur de référence. Le jury a notamment apprécié la maîtrise de certains candidats dans l'évaluation d'une mesure et de son incertitude. Il ne saurait trop conseiller aux futurs candidats de se référer aux travaux de l'IREM de Paris sur la mesure en physique (<https://irem.u-paris.fr/mesurer-en-physique-chimie>) et notamment aux documents d'accompagnement des programmes de lycée auxquels ils ont participé (<https://eduscol.education.fr/document/7067/download>).

Au-delà du jugement académique de la maîtrise des connaissances acquises par les candidats, le jury se permet de rappeler qu'un oral, quel qu'il soit, est avant tout une épreuve de communication. Le format de l'épreuve (exposé d'une heure et demie pour l'étudiant) n'est pas quelque chose de simple à gérer. A ce titre faire preuve d'une aisance orale et d'une gestion intelligente du tableau confèrent des atouts indéniables. Au-delà du concours, savoir communiquer clairement est un incontournable dans tout travail de recherche ou d'enseignement auquel le candidat sera amené à se livrer dans le futur. Le jury invite fortement les futurs candidats à prendre pleinement conscience de l'importance de cet aspect et à le travailler si possible. Nous rappelons par ailleurs que l'oral reste interactif et que ne pas avoir une réponse immédiate à une question posée n'est pas synonyme systématiquement d'un échec. Une discussion avec le jury est toujours possible et même fortement conseillée.

Au-delà des lacunes de fond ou de forme rencontrées lors de diverses prestations, le jury a pu assister à des exposés de très grande qualité tant sur le plan oratoire que du point de vue des connaissances scientifiques utilisées et nous félicitons les étudiants pour ce travail remarquable.

Exemple de sujet théorique (partiel): Introduction à l'effet Hall quantique entier.

Les vecteurs sont notés en gras.

Les opérateurs sont désignés par des lettres surmontés d'un chapeau $\hat{}$.

On étudie dans ce problème l'effet Hall. On cherche en particulier à dégager certaines propriétés liées à l'effet Hall quantique entier.

La géométrie envisagée est celle décrite par le schéma ci-dessous :

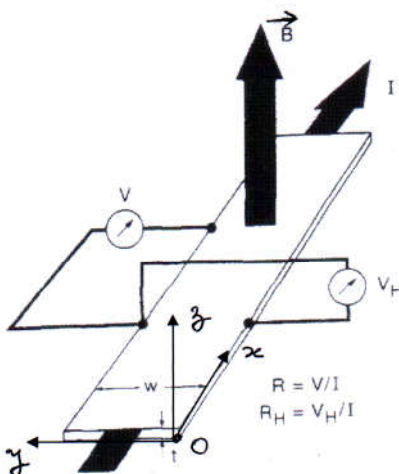


FIGURE 1. Montage expérimental.

Une bande d'un matériau conducteur disposée parallèlement au plan (xOy), de largeur w et d'épaisseur t, est soumise à une différence de potentiel V dans la direction (Ox) ce qui engendre un courant d'intensité I. On place l'échantillon dans un champ magnétique perpendiculaire $\mathbf{B} = B \mathbf{u}_z$. On observe alors une différence de potentiel V_H dans la direction perpendiculaire au courant et au champ magnétique. C'est l'effet Hall.

On appelle résistance Hall le rapport $R_H = V_H / I$.

1. En procédant à un raisonnement purement classique montrer que $R_H = \frac{B}{N_s e}$ où e est la charge élémentaire et N_s la densité surfacique d'électron dans le plan (xOy).

L'expression précédente amène une relation de proportionnalité entre R_H et B.

Pourtant en 1980, Von Klitzing et al., découvrirent expérimentalement que la résistance Hall présentait des propriétés de quantification pour des systèmes bidimensionnels et variait selon :

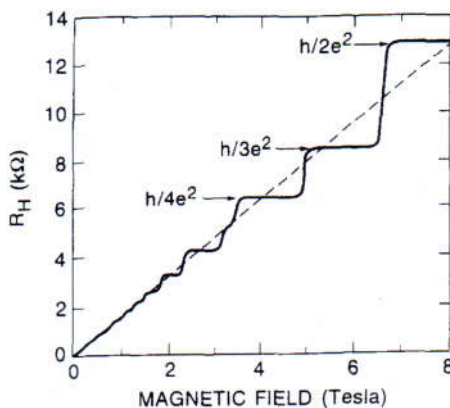


Figure 2. Résultats expérimentaux pour la résistance Hall

On parle d'effet Hall quantique entier car R_H ne prend que des valeurs par palier données par la relation :

$$R_H(j) = \frac{1}{j} \frac{h}{e^2} \text{ où } h \text{ est la constante de Planck et } j \text{ un entier naturel non-nul.}$$

2. Vérifier l'homogénéité de la relation précédente. Connaissez-vous une application de ce résultat ?

L'obtention d'un système d'électrons bidimensionnel se fait expérimentalement en envisageant des électrons de conduction à l'interface d'un semi-conducteur et d'un oxyde par exemple. Sans se préoccuper des conditions de validité de cette description, on admettra que les électrons concernés par l'étude sont astreints à se déplacer uniquement dans le plan (xOy) dans une zone de surface $S = L_x \cdot L_y$ avec $L_x = 1,0 \text{ cm}$ et $L_y = 1,0 \text{ mm}$. L'origine O est celle représentée sur la figure 1.

On opère maintenant un traitement quantique de la dynamique des électrons dans les conditions décrites précédemment. On néglige les interactions entre électrons de conduction et on se ramène alors à la dynamique d'un seul électron de masse m . Sauf mention contraire en fin d'énoncé on ne tient pas compte dans la suite du spin de l'électron.

On rappelle que le Hamiltonien d'une particule chargée sans spin, de masse m et de charge q en présence d'un champ magnétique s'écrit :

$$H = \frac{1}{2m}(\mathbf{p} - q\mathbf{A})^2$$

où \mathbf{A} est le potentiel vecteur dont dérive le champ magnétique et \mathbf{p} désigne l'impulsion de la particule.

3. Pour un champ magnétique uniforme $\mathbf{B} = B\mathbf{u}_z$, vérifier que le potentiel vecteur $\mathbf{A} = -yB\mathbf{u}_x$ convient.
4. En déduire l'expression de l'opérateur hamiltonien \hat{H} d'un électron dans le champ magnétique proposé.
5. Calculer la valeur du commutateur $[\hat{p}_x, \hat{H}]$ où \hat{p}_x désigne la composante suivante (Ox) de l'opérateur impulsion de l'électron.

On cherche les états propres de l'opérateur hamiltonien.

6. Justifier qu'il est intéressant de chercher les fonctions d'onde stationnaires sous la forme : $\psi(x, y) = f(x) \varphi(y)$ où $f(x)$ est une fonction que l'on précisera.
7. Etablir alors que φ satisfait l'équation différentielle : $\left[-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dy^2} + \frac{m\omega_c^2}{2} (y - y_0)^2 \right] \varphi(y) = E\varphi(y)$ où E désigne l'énergie de l'état propre correspondant et ω_c et y_0 sont des constantes à préciser.
8. Quelles sont les valeurs possibles de E ?
9. Préciser la fonction $\varphi(y)$ pour l'état fondamental à une constante multiplicative près. On notera $l_0 = \sqrt{\frac{\hbar}{eB}}$ une grandeur dont on donnera la signification physique et la valeur numérique pour un champ magnétique de 5,0 T.
10.

Exemple de sujet expérimental : le câble coaxial

1. De quoi est constitué un câble coaxial ? Intérêt par rapport à un fil simple ?
2. Proposer un schéma électrique équivalent.
3. On dispose de 100 m de câble. Proposer un protocole expérimental permettant de mesurer la célérité c d'une onde électromagnétique se propageant dans le câble. On explicitera précisément les réglages des appareils utilisés.
4. En alimentant le câble avec un signal sinusoïdal, on s'aperçoit que pour certaines fréquences (voir tableau ci-dessous) l'amplitude passe par un maximum. Expliquer. En déduire une mesure de c .

f (MHz)	0,95	1,94	2,86	3,85	4,96	6,02
---------	------	------	------	------	------	------

On rappelle les coefficients de Student

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{95\%}$	12,7	4,3	3,18	2,78	2,57	2,45	2,37	2,31	2,26
$t_{99\%}$	63,7	9,93	5,84	4,6	4,03	3,71	3,5	3,36	3,25