

## SECOND CONCOURS PHYSIQUE 2019

### Rapport – Interrogation de physique

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 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 cette session, le concours est ouvert exclusivement aux étudiants de niveau L3. En conséquence les sujets ont été adaptés et, en particulier, la partie théorique fait intervenir au plus des notions de physique enseignées en L3 (mécanique quantique, relativité, physique statistique classique ...).

Néanmoins les sujets proposés reposent aussi pour une large part sur la physique enseignée en L1 ou L2. Le jury constate trop souvent une mauvaise assimilation des notions de physique de base (électromagnétisme, thermodynamique, mécanique classique, optique ...) ce qui pénalise lourdement les candidats lors de leur présentation. Plus précisément pour cette session des problèmes récurrents sont apparus sur les dipôles (électriques ou magnétiques), le mouvement d'un point matériel dans un champ de force newtonien, la notion de transformation quasistatique et/ou réversible, les identités thermodynamiques ... A contrario la mécanique quantique semblait mieux assimilée, sans doute parce que les candidats avaient pris soin, et l'on peut les en féliciter, de lire attentivement les rapports des années précédentes.

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.

En ce qui concerne la partie expérimentale de l'épreuve, le jury constate également que certaines notions de physique de base sont, là aussi, mal, voir pas du tout, maîtrisées : obtention du spectre de la lumière blanche, méthodes de mesure du champ magnétique terrestre, pour ne citer que ces deux exemples. Nous ne saurions trop conseiller aux candidats préparant le concours de travailler tout au long de l'année les compétences expérimentales des programmes de classes préparatoires, en reprenant leurs TP de Licence a minima par une relecture, voir, dans la mesure du possible, par un entraînement pratique en laboratoire. Le jury attend des candidats un savoir-faire dans la mise en œuvre du matériel classique d'un laboratoire d'enseignement, la connaissance de protocoles simples de mesures dans différents domaines de la physique, les ordres de grandeur des valeurs mesurées et la maîtrise des étapes de la confrontation d'une mesure avec un modèle. Il se félicite, par ailleurs, de la prise en compte par les candidats des remarques mentionnées dans les rapports précédents, notamment, sur la notion de mesure et le calcul de l'incertitude. A quelques exceptions près, les candidats ont montré une maîtrise du vocabulaire de la métrologie et une démarche cohérente dans l'analyse de la variabilité des résultats obtenus lors d'un processus de mesure.

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 confère des atouts indéniables (qui peuvent être en partie travaillés par les candidats en amont du concours). 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. 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.

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 félicite les étudiants pour ce travail remarquable.

### Exemple de sujet théorique (partiel):

#### Dynamique de neutrons froids dans le champ de pesanteur.

Les vecteurs sont notés en gras. Toutes les données numériques utiles sont regroupées en fin de problème. Certaines sont supposées connues.

La prise en compte de la gravitation dans les phénomènes quantiques est un champ actif de recherche important. Au début des années 2000, une série d'expériences mettant en évidence la quantification dans le champ de pesanteur avec des neutrons ultrafroids ont été menées et continuent à être développées. On se propose ici de dégager les enjeux théoriques et expérimentaux essentiels de ce type d'expérience. Le principe de l'expérience est le suivant : on étudie la propagation de neutrons dans un guide horizontal constitué de deux plaques (voir figure 1) : l'une totalement réfléchissante (en bas) et l'autre absorbante.

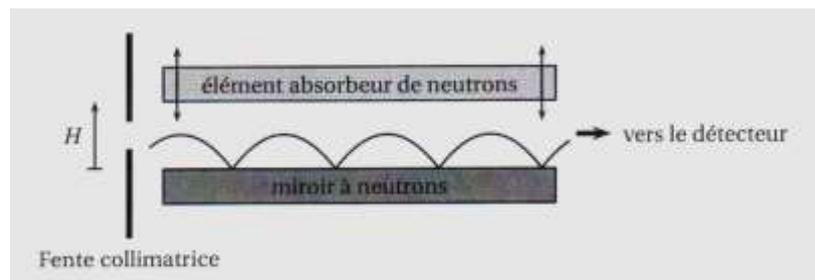


Figure 1

On s'intéresse dans un premier temps à un neutron opérant un mouvement unidimensionnel dans le champ de pesanteur  $\mathbf{g} = -g \mathbf{u}_z$  (l'axe (Oz) étant ascendant). En  $z = 0$  la surface est impénétrable (et les rebonds se font donc sans perte d'énergie mécanique).

1. Donner l'expression de l'énergie potentielle  $V(z)$  correspondant à cette situation. On choisira  $V(0^+) = 0$ . Représenter  $V(z)$  pour  $z$  réel.
2. On cherche les états stationnaires possibles. Ecrire l'équation de Schrödinger stationnaire vérifiée par un neutron de masse  $m$  et d'énergie  $E$  dans ce modèle. On notera  $\varphi(z)$  son amplitude de probabilité de présence. Expliquer pourquoi on parle d'état stationnaire. Quelles sont les conditions aux limites vérifiées par  $\varphi$  ?
3. Par analyse dimensionnelle, établir l'expression d'une énergie caractéristique  $E_g$  en fonction des grandeurs caractéristiques du problème. On travaillera par la suite avec l'énergie  $\varepsilon_g = \frac{E_g}{2^{1/3}}$ . Faire l'AN et commenter.
4. En déduire l'ordre de grandeur  $L_g$  (littéral puis numérique) de la hauteur de rebond possible pour un neutron dans  $\mathbf{g}$  ayant l'énergie  $\varepsilon_g$ .

On se propose d'établir une expression approchée des niveaux d'énergie du neutron dans ce potentiel. On utilise une approche semi-classique reposant sur la notion d'interférences d'onde de de Broglie et basée sur l'expression classique de l'énergie.

5. Rappeler l'expression de la longueur de de Broglie  $\lambda$  d'une particule de vitesse  $v$  et de masse  $m$ .

6. On lâche sans vitesse initiale la particule d'une hauteur H. Exprimer la phase élémentaire acquise sur un parcours d'amplitude dz. En déduire la phase acquise par l'onde de de Broglie dans un mouvement d'un aller et retour de la particule en fonction H, g, m et  $\hbar$ .
7. Exprimer la condition à laquelle la superposition de l'onde incidente (neutron descendant) et de l'onde réfléchie (neutron remontant) donne lieu à des interférences constructives.
8. En déduire l'expression approchée des niveaux d'énergie  $E_n$  :  $E_n = \left(\frac{3\pi}{2}\right)^{2/3} \varepsilon_g n^{2/3}$  où n désigne un entier naturel non nul.

9. Justifier brièvement le principe de la démarche exposée et discuter ses limites.

On souhaite comparer ces résultats aux résultats exacts. On travaille avec les variables adimensionnées

$\varepsilon = \frac{E}{\varepsilon_g}$  et  $\zeta = \frac{z}{L_g}$ . L'équation de Schrödinger stationnaire s'écrit alors :  $-\frac{d^2\varphi}{d\zeta^2} + \zeta\varphi(\zeta) = \varepsilon\varphi(\zeta)$ . La solution de

cette équation vérifiant les conditions aux limites de la question 2 est une fonction d'Airy notée Ai (voir données en fin de problème) :  $\varphi(\zeta) = N\text{Ai}(\zeta - \varepsilon)$  où N est un facteur de normalisation que l'on ne cherchera pas à calculer.

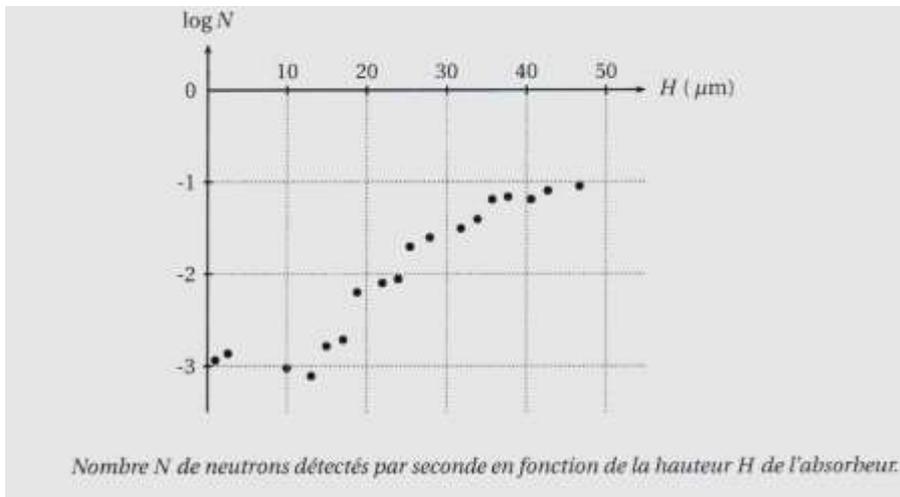
10. Donner les valeurs des deux premiers niveaux d'énergie. Comparer aux résultats de la question 7.

11. Représenter l'allure de la densité de probabilité de présence du neutron en fonction de z pour ces deux niveaux.

L'expérience réalisée en 2002 par V. Nesvizhevski et ses collaborateurs avait pour but de mettre en évidence la quantification de l'énergie d'un neutron rebondissant sur une surface horizontale. Les neutrons, produits dans un réacteur nucléaire, sont refroidis par passages successifs dans des matériaux à basse température puis à travers des systèmes de fentes de sorte que l'on obtient un jet neutronique dont la vitesse horizontale  $v_x$  est de l'ordre de  $10 \text{ m.s}^{-1}$  et une vitesse verticale inférieure à  $5 \text{ cm.s}^{-1}$ .

12. Justifier le qualificatif de « neutrons ultrafroids ».

Les neutrons sont injectés dans le guide représenté sur la figure 1 dont on fait varier la hauteur H séparant le miroir à neutrons et l'absorbeur. On mesure le nombre de neutrons détectés en sortie en fonction de H. Les résultats obtenus sont les suivants :



13. Commenter ces résultats en comparant avec ce qui aurait obtenu par un raisonnement classique.

Données numériques et mathématiques :

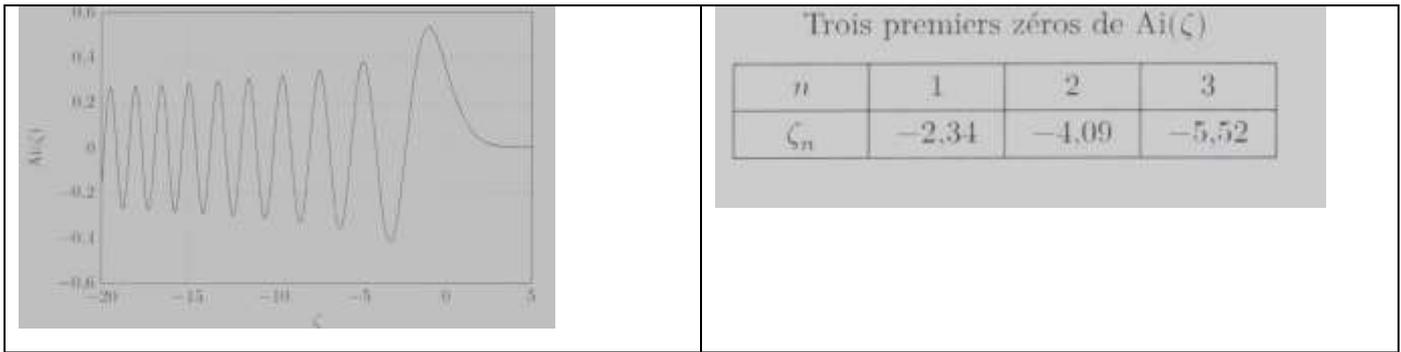
Masse du neutron :  $m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Constante de Boltzmann :  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$

Constante de Planck réduite :  $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$ .

Accélération de la pesanteur  $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$

## Fonction d'Airy



## Exemple de sujet expérimental :



1. L'image ci-dessus représente un glaçon flottant dans un verre d'eau. Quelle sera l'évolution du niveau d'eau lorsque le glaçon fonde ?
2. Proposer un protocole expérimental permettant la mesure des forces s'exerçant sur le glaçon.
3. Expliquer le principe du thermomètre de Galilée. Voir image ci-contre.
4. Pour un modèle commercial courant, on trouve six boules indiquant des températures comprises entre  $17\text{ }^\circ\text{C}$  et  $27\text{ }^\circ\text{C}$ . Quelle est la température affichée par ce thermomètre ?
5. Quelle est la précision de cette mesure ?

