
ÉPREUVE ÉCRITE DE PHYSIQUE 2

ENS : LYON CACHAN

Coefficients : LYON 4,5 CACHAN 6 (op. physique) / 3 (op. chimie)

MEMBRES DE JURYS : Anne-Emmanuelle Badel, Dominique Chauvat, Nicolas Choimet, Emmanuelle Deleporte, Hervé Gayvallet, Jean-Sébastien Lauret, Marc Ménétrier, Timothée Toury, Loïc Vanel.

Rédaction du rapport : Marc Ménétrier

L'épreuve de Physique avait pour but d'amener les candidats à étudier deux méthodes récentes de microscopie optique visant à dépasser la limite de résolution due au phénomène de diffraction. Elle était constituée de quatre parties très largement indépendantes et de poids sensiblement égaux.

La première partie reprenait l'étude de la limitation de résolution imposée par la diffraction en microscopie optique classique. La seconde partie traitait de l'interaction entre le rayonnement électromagnétique et la matière. Une première approche classique reposant sur le modèle de l'électron élastiquement lié tentait de présenter les phénomènes d'absorption, d'émission stimulée et d'émission spontanée ; une seconde approche semi-classique, utilisant un modèle quantique de la molécule et un modèle voisin de celui d'Einstein pour les interactions entre matière et rayonnement permettait de décrire le phénomène de *déplétion par émission stimulée* utilisé par la suite.

Les troisième et quatrième parties présentaient deux méthodes permettant d'atteindre une hyper-résolution spatiale : la microscopie STED et la microscopie PALM, qui contournent la limite de diffraction en limitant, sur l'objet, la surface émettrice à une zone de dimensions de l'ordre de celles de la molécule.

Notons que, les calculatrices étant interdites, les calculs numériques étaient tous très simples (essentiellement des ordres de grandeur) ; de ce fait, également, les candidats ne disposaient pas de formulaire.

Certains candidats ont pu traiter pratiquement toutes les questions, et toutes les questions ont reçu au moins quelques réponses exactes.

On peut distinguer plusieurs types de questions qui permettent de mettre en évidence certaines des qualités que l'on peut attendre d'un futur scientifique de haut niveau. Sans prétendre établir une classification définitive, citons : • Des questions très proches du cours (diffraction par une ouverture, action d'un champ sur un atome représenté par le modèle de l'électron élastiquement lié). Il est clair qu'une démarche scientifique sérieuse nécessite une bonne assimilation des concepts fondamentaux. • Des questions plus délicates, mais dans le prolongement direct du cours (optique géométrique hors conditions de Gauss, diffraction par un déphaseur). On attend d'un bon candidat qu'il sache utiliser les résultats fondamentaux pour aller plus loin. • Des questions qui reprennent des méthodes utilisées dans d'autres domaines. Ainsi l'étude de l'évolution des populations des niveaux d'énergie d'une molécule (partie C) est assez voisine des raisonnements de cinétique chimique. Un scientifique doit pouvoir mobiliser l'ensemble de sa culture sur un problème donné, sans s'arrêter à des cloisonnements arbitraires.

• D'autres questions, enfin, utilisent les résultats précédemment établis pour analyser un phénomène ou un dispositif jusque là inconnu. Pour y répondre il faut de l'intuition, un bon esprit d'analyse, un doigt de bon sens, et une certaine culture scientifique. C'était le cas de la fin de la partie C et de la partie D. De plus, quel que soit le type de question, le candidat doit faire preuve de rigueur dans ses raisonnements et doit pouvoir communiquer de façon claire et précise. Le Jury est conscient de la difficulté, après seulement deux années d'études scientifiques, de faire preuve de toutes ces qualités lors d'une épreuve en temps limité et, de surcroît, en situation de stress. Aussi, le fait qu'une bonne moitié des candidats ait montré une bonne acquisition des

connaissances de base et traité à peu près correctement plusieurs parties du problème est, en soi, relativement satisfaisant. Cette note d'optimisme doit toutefois être tempérée par des remarques récurrentes qui portent sur la rigueur des raisonnements, la capacité à analyser le résultat d'un calcul et l'aptitude à communiquer.

- Un résultat, même exact, doit être justifié par un raisonnement rigoureux. Ainsi, dans la (difficile) question A 1 2 a, le résultat, suggéré par le libellé de la question et le reste du problème, a été trouvé par la plupart de ceux qui ont abordé la question ; mais dans la plupart des cas, il a été établi avec des utilisations fantaisistes du théorème de Malus. Un candidat qui annonce clairement qu'il admet un résultat intermédiaire sera mieux noté que celui qui a recours au « bluff » ou qui l'obtient par des raisonnements faux.

- Une courbe a en général deux fonctions : elle sert de support à un raisonnement ultérieur et c'est un moyen de communication très efficace. Pour être utilisable, elle doit être tracée soigneusement, les axes doivent être référencés, et ses caractéristiques essentielles doivent apparaître : largeur et hauteur d'un pic, points d'annulation, maxima. Quand on demande, à la question C12d, de comparer deux modèles d'un phénomène, il ne suffit pas de répondre que les courbes ont même allure; il faut aller plus loin en comparant les différentes valeurs caractéristiques.

- Les termes scientifiques ont une signification précise : un hyperboloïde de révolution n'est pas une hyperbole (encore moins une parabole !), intensité et amplitude ne sont pas synonymes, ni non plus rayon et diamètre...

- Trop de candidats ne semblent pas conscients de la nécessité de soigner la rédaction. S'il est clair que l'on ne peut attendre de tous une calligraphie parfaite, il faut au moins soigner la mise en page : une idée et une seule par ligne, sauter une ligne entre deux étapes du raisonnement, relier ces étapes par une phrase courte et précise, illustrer éventuellement ces raisonnements par un schéma ou une courbe même si ce n'est pas explicitement demandé par l'énoncé, et, bien entendu, mettre en évidence les résultats. De plus, ces résultats doivent avoir la forme la plus concise et la plus explicite possible : nombre de résultats comportent des expressions aisément simplifiables ($1,22/2$ par exemple !) Apporter du soin à sa copie n'est jamais une perte de temps : le correcteur est plus enclin à l'indulgence dans les cas limites et le candidat retrouve plus facilement un résultat antérieur. Un point positif cependant : l'orthographe est rarement catastrophique.

- Laisser subsister un résultat numérique aberrant est, en soi, un manque de rigueur. Dans la plupart des cas, il suffisait de reprendre le calcul sans erreur sur les puissances de 10.

- Même dans les copies honorables, on a pu constater que certains résultats fondamentaux de l'optique n'avaient pas été toujours bien assimilés : constructions fantaisistes de l'image d'un point par deux lentilles, ignorance du lien entre centre de la figure de diffraction et image géométrique, influence de la translation de la pupille dans le cas d'une diffraction à l'infini.. Quant au modèle de l'électron élastiquement lié, si les calculs sont en général bien menés, la signification des différents termes est souvent mal perçue; beaucoup de candidats semblent persuadés que l'électron subit une force de frottement...

Ces quelques remarques concernent les copies situées dans la moyenne. Nous avons vu un certain nombre de copies qui révélaient des lacunes bien plus importantes, mais aussi quelques unes qui manifestaient une excellente maturité scientifique de la part de leur auteur.