

## Rapport SECOND CONCOURS 2015 - Interrogation de physique

Cette épreuve orale se déroule sur une heure et demie et bénéficie d'une heure de préparation en salle pour le candidat. L'oral en lui-même est scindé en deux parties : une partie théorique d'une heure durant laquelle le candidat est amené à exposer sa résolution d'un problème posé 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.

Le nouveau format de l'épreuve ne permet pas d'évaluer la mise en œuvre d'un protocole expérimental. Par conséquent, la question expérimentale porte essentiellement sur le matériel, les protocoles et les techniques de traitement et d'analyse des données. Le jury est particulièrement sensible à une analyse statistique (vocabulaire, présentation des résultats, interprétation) sans pour autant exclure l'analyse graphique. Cette année, les thèmes ont porté sur l'astronomie, les ondes, la mécanique et l'optique. Même si le poids de cette partie ne représente qu'un tiers de la note, le jury de saurait trop conseiller aux candidats de la préparer sérieusement en y consacrant un temps proportionnel lors de la préparation (environ 20 min) et, au cours de l'année, en relisant leurs Travaux Pratiques de Licence.

La partie théorique a pour but de vérifier non seulement les notions de physique enseignées (dans toute leur diversité) mais également la capacité du candidat à mener un raisonnement correct pour lequel les calculs aboutissent à un résultat juste. Les problèmes théoriques sont adaptés au niveau du candidat (L3 ou M1) et ont des thèmes variés. L'importance de la mécanique quantique dans un cursus de physique fondamentale étant incontournable, les candidats de L3 ont été systématiquement interrogés sur des sujets y faisant référence. Les questions n'étaient pas toujours d'ordre très technique. Le jury a été très surpris par exemple de l'absence d'idée nette sur la dualité onde-corpuscule ou sur le calcul et l'interprétation d'une longueur d'onde de de Broglie. Par ailleurs le problème posé avait toujours pour contexte une expérience qui était décrite. Sa compréhension nécessitait des connaissances de physique classique robustes. Le jury a été désagréablement surpris de constater que des notions de base d'optique ondulatoire (définition d'un réseau ou d'interférences constructives) ou d'électromagnétisme (lien entre une intensité et un vecteur densité de courant) étaient particulièrement mal maîtrisées chez certains candidats.

Les candidats de M1 ont généralement été confrontés à des questions plus diverses ayant pour cadre la physique statistique. Avec un an de plus que leurs homologues de L3, on attend de ces candidats une plus grande aisance tant d'un point de vue technique que dans la maîtrise de notions avancées. Le jury a assisté à des prestations extrêmement contrastées. Des lacunes importantes en mécanique du point, en thermodynamique et en électromagnétisme ont été relevées nuisant très fortement à l'oral du candidat. Il est également troublant de constater le manque de recul de certains candidats sur des notions basiques de relativité.

Ainsi il apparaît que la préparation à ce concours (indéniablement entreprise par la grande majorité des candidats) doit impérativement incorporer une révision approfondie de la physique vue en L1 et L2. Des lacunes de physique classique ne sont pas compatibles avec le profil des candidats recherchés. Le jury insiste par ailleurs sur le fait que les meilleures prestations ont toujours débutées par une introduction synthétique du problème posé (théorique ou expérimental) en le replaçant si possible dans un cadre plus général. Prendre le temps d'une introduction force à une prise de recul sur le sujet et amène en général une meilleure compréhension de la problématique abordée. La démarche trop scolaire observée chez de nombreux candidats est à bannir. De même la discussion de résultats obtenus en cours d'exercice (homogénéité, pertinence, ordre de grandeur,...) est appréciée et devrait être proposées plus spontanément par les candidats.

Le jury invite les futurs candidats à partitionner raisonnablement le temps de préparation entre les deux épreuves (un ratio de 3 pour 1 en faveur de la partie théorique paraît cohérent). Il attire l'attention des candidats sur le fait que le nombre de questions est souvent trop important pour que tout soit traité dans le temps imparti de la préparation. Le candidat doit garder en tête qu'il aura une heure et demie pour poursuivre ses investigations et/ou ses raisonnements.

De plus au-delà de la résolution d'une question au sens propre, ce sont surtout les qualités du raisonnement et l'aisance des explications orales qui seront examinées par le jury. Ainsi le manque de rigueur dans la démarche ou dans les calculs mathématiques a toujours été très sanctionné par le jury. Par ailleurs, au fil de la discussion avec le jury, le candidat peut être amené à discuter un point (ou plusieurs) non abordé(s) dans l'énoncé fourni.

Au-delà de ces erreurs ou lacunes, le jury se félicite d'avoir pu assister à d'excellentes prestations où la précision des raisonnements et la maîtrise de techniques et d'ordre de grandeur expérimentaux étaient particulièrement remarquables.

Le jury est conscient que cet exercice oral d'une heure et demie est loin d'être naturel pour de nombreux étudiants et invite les futurs candidats à se préparer activement à cette épreuve. Cette préparation doit non seulement porter sur un apprentissage solide des connaissances scientifiques au niveau requis mais aussi en un questionnement approfondi sur la manière d'exposer oralement certaines notions.

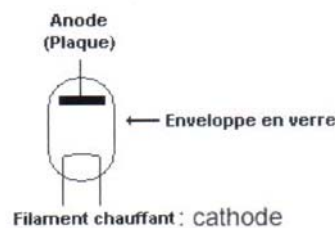
## **Exemples de sujets :**

### **Etude simplifiée de l'effet thermoélectronique.**

*Remarque typographique : les vecteurs sont notés en gras.*

On appelle effet thermoionique (ou thermoélectronique) l'émission d'électrons par un métal chauffé. La mise en évidence et la compréhension du phénomène est due en grande partie à Richardson (qui obtint le prix Nobel de physique en 1928 pour ses travaux sur la question). C'est sur cet effet que repose les diodes à vide (ou tube cathodiques) très utilisées avant les années 1950, date après laquelle elles furent supplantées par des composants semi-conducteurs moins encombrants et plus performants. On continue néanmoins à les utiliser comme source d'électrons dans les microscopes électroniques.

On cherche à établir la formule de Dushman-Richardson donnant la densité volumique de courant maximale possible en fonction de la température pour un métal donné.



#### **A. Modèle de Sommerfeld pour les électrons.**

On simplifie tout d'abord le problème en considérant que les électrons de conduction du métal forment un gaz parfait de  $N$  particules dans un morceau métallique cubique macroscopique de volume  $V = L^3$  correspondant à un potentiel infranchissable. On raisonnera avec des conditions aux limites périodiques. La masse d'un électron sera notée  $m$  et leur potentiel chimique  $\mu$ .

1. Préciser les états quantiques électroniques stationnaires possibles ainsi que les niveaux d'énergie  $\varepsilon$  associés.
2. Ecrire la distribution de Fermi-Dirac notée  $f_{FD}$ . Quelle est son interprétation physique ?
3. Définir le niveau de Fermi  $\varepsilon_F$  et l'exprimer en fonction de constantes fondamentales et de la densité électronique  $n = N/V$ . Donner un ordre de grandeur numérique dans une unité adaptée.
4. Tracer l'allure  $f_{FD}(\varepsilon)$  pour une température de 1000K et commenter. Comment varie (qualitativement) le potentiel chimique avec la température  $T$  ? Quelle approximation peut-on faire sur  $\mu$  à une telle température ?

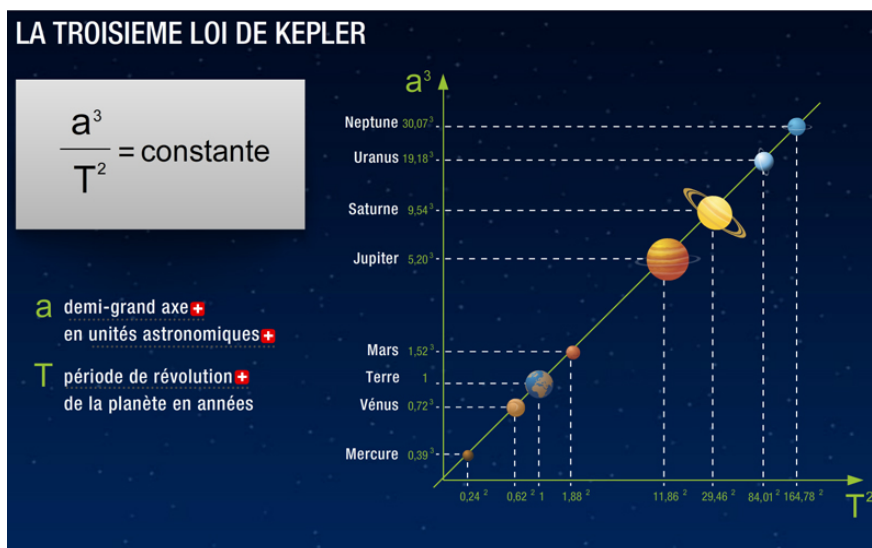
#### **B. Formule de Dushman-Richardson.**

On modélise à présent le métal par un potentiel plat mais de profondeur finie  $V_0$ . Cette valeur est supposée suffisamment grande pour que les états stationnaires et niveaux d'énergie électroniques précédents restent valables. On note  $W$  le travail de sortie du métal défini par  $W = V_0 - \varepsilon_F$ . Sa valeur varie typiquement entre 2 et 5 eV. Pour simplifier on suppose que le métal occupe le demi-espace  $z < 0$ , le demi-espace  $z > 0$  étant supposé vide. On s'intéresse aux électrons pouvant être émis dans le vide.

1. Montrer que les électrons susceptibles de pouvoir quitter le métal sont ceux pour lesquels la composante suivant  $z$  de la quantité de mouvement  $p_z$  vérifie  $p_z > p_0$  où  $p_0$  est à exprimer en fonction des données.

2. Expliquer pourquoi ces électrons peuvent être traités classiquement en raisonnant sur  $f_{FD}(\epsilon)$  dont on donnera une forme approchée  $f(\epsilon)$  que l'on conservera par la suite.
3. Exprimer le nombre d'électrons par unité de volume  $\delta n$  ayant une quantité de mouvement  $\mathbf{p}$  dans l'intervalle  $[\mathbf{p}, \mathbf{p} + d^3\mathbf{p}]$ .
4. En raisonnant sur une surface  $dS$  située en  $z=0$ , exprimer le nombre moyen d'électrons susceptibles de quitter le métal pendant une durée  $dt$ .
5. En déduire l'expression de la densité volumique de courant maximale observable (formule de Dushman-Richardson) :  $J_{SAT} = \frac{4\pi e m}{h^3} (kT)^2 e^{-\frac{W}{kT}}$ .
6. Dans le cas du tungstène  $W = 4,5$  eV. Quelle est la valeur numérique attendue pour l'intensité maximale si on opère à une température de 1000K avec des électrodes présentant des surfaces en regard de  $1,0 \text{ cm}^2$  ? Commenter sachant que des puissances de l'ordre du kW sont courantes et que la différence de potentiel entre les électrodes est de l'ordre du kV.
7. Comparer avec le résultat obtenu à 2000K. Une telle température vous paraît-elle tenable sur un plan technologique ?

## Comment peser le Soleil ?



1. Rappeler les 3 lois de Kepler.
2. En pratique, comment a-t-on mesuré  $T$  ?
3. Comment a été déterminée l'unité astronomique ? ( $1 \text{ u.a.} = 149\,597\,871 \text{ km}$ )
4. Avant de peser le Soleil, il faut peser la Terre. Pourquoi ? Comment a-t-on procédé historiquement ?
5. Déduire de la courbe la masse du Soleil. Précision ? (Pour 8 mesures,  $t_{99\%} = 3,5$ )