

Physique 2

Présentation du sujet

L'intitulé de ce sujet illustre parfaitement l'étendue du domaine abordé : « De l'atome d'hydrogène aux galaxies », soit la physique de l'infiniment grand à l'infiniment petit. L'étude proposée est centrée sur le rayonnement électromagnétique de longueur d'onde 21 cm émis par l'atome d'hydrogène dans son état fondamental. Après une étude sur l'origine de ce rayonnement, le sujet se poursuit par l'analyse de sa production par un nuage interstellaire et son utilisation pour l'étude des galaxies lointaines.

L'étude complète de cette radiation exige le recours à la mécanique quantique relativiste. Certains aspects ont été simplifiés afin d'aborder ce phénomène dans le cadre du programme des classes préparatoires. Le sujet fait ainsi appel principalement aux volets mécanique, mécanique quantique, physique du laser et thermodynamique du programme.

Analyse globale des résultats

Une lecture approfondie du sujet permet d'apporter des éléments de réponse non négligeables dès lors que l'on est attentif à ce qui était écrit. De toute évidence, certains candidats n'ont pas su tirer parti de cette lecture, sans doute trop superficielle.

Globalement, beaucoup de calculs sont guidés et de nombreux résultats intermédiaires sont fournis, afin qu'aucun candidat ne soit bloqué. Cette volonté d'amener le candidat avec soi est appréciable, mais exige en retour, de sa part, une attitude irréprochable. Il doit, d'une part, savoir utiliser à bon escient ce qui lui est donné en étant particulièrement clair sur la démarche entreprise, d'autre part savoir faire preuve d'humilité et d'honnêteté s'il n'a pas abouti, afin que le correcteur ne se sente pas trompé ! La mansuétude avec laquelle il aborde la copie se convertit alors en une méfiance intransigeante.

Le jury a eu la joie de corriger des copies de très belle facture. Malheureusement certaines autres témoignent d'une impolitesse notoire vis-à-vis du correcteur : comment se présenter à un concours sans chercher à rendre sa copie lisible ? Sans chercher à mettre en valeur ses résultats ? Une telle attitude est forcément sanctionnée !

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

I La raie HI à 21 cm

I.A – Étude classique de l'atome d'hydrogène

Les mouvements à force centrale sont abordés en première année. Pour certains ceci semble très très loin ! Pourtant, l'étudiant qui avait appris et compris son cours avait ici le moyen d'engranger bon nombre de points faciles. Il nous semble nécessaire, dans cette première partie, de rappeler qu'il n'est pas possible d'égaliser un vecteur et un scalaire, tout simplement parce que cette égalité n'a pas de sens. Sans doute que le stress n'y est pas étranger, mais il nous est arrivé de voir des confusions entre indice et exposant (r_2 et non r^2 comme attendu) : il est important que les candidats qui se savent sujets à ce genre d'erreur soient vigilants !

À la question **Q2.**, des faiblesses techniques trop fréquentes conduisent déjà à de multiples erreurs de signe. Une présentation claire du travail de la force d'interaction, et sa relation avec la variation d'énergie potentielle, ont été récompensées.

Notons également que lorsqu'une constante est nulle, il est important de préciser à quel moment elle s'annule, plutôt que de ne pas la faire apparaître.

Trop de candidats dévoilent des lacunes considérables. Est-il concevable qu'un futur ingénieur ignore que l'interaction coulombienne varie en $1/r^2$? Qu'un électron et un proton s'attirent mutuellement?

Nous avons relevé de fréquentes confusions entre coordonnées sphériques et coordonnées cylindriques à la question **Q3.**. Cette question étant par ailleurs, parfois, l'occasion d'évoquer le principe de Curie de façon très mystérieuse! Des candidats utilisent d'emblée les coordonnées polaires et croient découvrir que le mouvement est plan. De nombreuses bonnes copies savent heureusement traiter clairement et succinctement ce sujet en lien direct avec le cours.

Si, à la question **Q5.**, la courbe est parfaitement restituée par de nombreux candidats, dans d'autres cas son apparition est magique, et il arrive qu'elle soit en parfaite contradiction avec le résultat de la question précédente. Un nombre non négligeable de copies discute sur E_{eff} et non sur E , pour savoir si l'état était lié ou correspondait à un état de diffusion. Là encore, une petite réflexion physique permet de rapidement sentir de quoi l'on parle!

Il était logique que le cas $\vec{L} = \vec{0}$ soit oublié dans un premier temps, la question **Q7.** permet de réparer cet oubli. Certains candidats ont su alors reprendre la question 7 dans ce cas, nous aurions aimé qu'ils soient plus nombreux!

I.B – Modèle de Bohr de l'atome d'hydrogène

Pour cette partie encore, le raisonnement demandé est particulièrement proche du cours. Si beaucoup de candidats ont heureusement su en profiter, nous sommes surpris qu'une partie non négligeable ne comprenne pas que la question « déterminer la valeur » appelle à une application numérique! Évidemment, ces deuxièmes parties de **Q8.** et **Q9.** sont précédées d'un versant théorique. Aussi n'est-il pas acceptable de fournir une valeur numérique sans la justifier par un calcul au préalable : nous rappelons combien il est nécessaire d'écrire la relation littérale avant d'effectuer l'application numérique.

La question **Q10.** appelle à un ordre de grandeur : ce qui importe est de voir apparaître kT et non le préfacteur, en sachant que pour une telle question, comme pour toutes les questions où l'on attend plus des ordres de grandeur que des valeurs précises, il est important de ne pas abuser du nombre de chiffres significatifs qui n'ont alors plus de « significatif » que le nom! Ajoutons qu'il est très surprenant que plusieurs candidats aient abouti à des valeurs négatives de la température absolue sans réagir!

Enfin, à la question **Q11.** il faut comparer ce qui est comparable! En effet, l'émission ou l'absorption d'un rayonnement correspond à l'écart énergétique entre deux niveaux et non à l'énergie d'un niveau.

I.C – La structure hyperfine de l'atome d'hydrogène

Notons que l'introduction à cette partie donne en partie la réponse de la question précédente.

Les questions **Q12.** et **Q13.** sont des questions de cours et ce sont certainement celles qui ont fait le plus sourire les correcteurs! En effet, le rapport gyromagnétique a donné lieu à beaucoup de

poésie et a pu s'appeler, selon les copies, rapport « gyromnastique », « gyrostatique », « spiromagnétique », « gyroscopique » ou même « gyrogénétique » ! Quand il n'a pas été confondu avec le moment dipolaire, le coefficient de polarisabilité ou la conductivité.

Les questions suivantes, un peu calculatoires mais très guidées, peuvent être résolues sans trop de difficultés et le jury apprécie qu'un candidat reconnaisse que la valeur de la longueur d'onde à laquelle il aboutissait est bien celle étudiée !

II Étude de l'émission et de l'absorption entre les deux niveaux hyperfins

II.A – Bilan radiatif de la raie HI

Là encore, une lecture attentive de l'introduction permet de répondre à bien des questions !

La question **Q20.** est sans aucun doute la question la mieux réussie. Ceci étant, la diversité des traitements nous amène à rappeler qu'un bon schéma est de façon très générale beaucoup plus efficace qu'un long discours. Dans lequel certains, d'ailleurs, ont confondu parfois « proton » et « photon » : espérons qu'il ne s'agissait que d'une faute de frappe !

Si nous n'avons pas tenu rigueur à ceux qui n'ont pas perçu la contradiction possible entre la question **Q21.** et la question **Q22.**, nous avons en revanche été plus inquiets des interprétations particulièrement scabreuses du long temps de vie de l'état excité E_u .

Les questions suivantes présentent quelques aspects calculatoires, mais le sujet permet à tout étudiant sérieux de continuer le problème sans trop de dommage dès lors qu'il suit correctement l'énoncé. Il est donc clair que le correcteur s'attache, dans de pareilles circonstances, à un argumentaire fourni, ce qui n'a particulièrement pas été le cas à la question **Q26.** Il nous est apparu de façon très distincte que bon nombre de candidats partaient de cette question pour revenir à la **Q24.**, sans toutefois maîtriser toutes les étapes attendues.

II.B – Intensité spécifique de la raie HI émise par un nuage d'hydrogène atomique

Voilà une nouvelle partie où le candidat a encore une fois la possibilité de se relancer, avec une difficulté croissante au fil des questions. Si la **Q29.**, qui n'appelle qu'une définition du vecteur de Poynting, a été bien réussie, sans toutefois faire l'unanimité, la question suivante a été beaucoup plus acrobatique, avec le désir pour beaucoup de parvenir coûte que coûte au résultat. Les candidats auraient eu intérêt à proposer une forme d'OPPH afin de justifier correctement la valeur de la moyenne de l'énergie électromagnétique.

La question **Q33.** a révélé chez certains des lacunes mathématiques importantes : pour ceux-là, la résolution d'une équation différentielle du premier ordre à coefficients constants est hors de portée. Nous engageons vivement les étudiants à dépasser ces limites calculatoires par la répétition des résolutions : il serait dommage qu'ils soient bloqués par de telles insuffisances.

Par la suite, la difficulté croissante s'accompagne là encore d'une aide adaptée. Il est évident, à la lecture de l'énoncé de la question **Q35.** par exemple, que l'accumulation de données chiffrées appelle à une résolution chiffrée (un ordre de grandeur suffit), mais nombreux sont ceux qui se sont contentés de justifications ne dépassant pas le « très petit », « négligeable », sans la moindre forme de justification, d'évaluation, de comparaison : on attend d'un scientifique un argumentaire plus solide !

II.C – Quelles informations nous apporte la raie H α émise par une galaxie ?

Si le candidat a pu se perdre quelque peu dans les méandres des calculs proposés précédemment, il a là matière à retrouver le contexte du problème et à prendre un peu de hauteur, beaucoup même ! Malheureusement, la majorité des candidats n'a pu y consacrer suffisamment de temps.

À la question **Q40.**, nous avons fréquemment relevé des confusions entre relation affine et relation de proportionnalité. Même si ceci ne pouvait être qu'un problème de vocabulaire sans conséquence par la suite, nous encourageons les étudiants à être vigilants quant aux mots qu'ils utilisent.

Concernant la question **Q41.**, si une bonne partie des candidats l'ayant cherchée aboutit à une estimation de la distance D (avec malheureusement trop souvent une précision n'ayant aucun sens), l'évaluation de l'intégrale est le plus souvent éludée, ou fausse. Il s'avère que les quelques-uns qui aboutissent oublient le plus souvent l'unité : quelle frustration de voir ainsi le plus difficile accompli sans pouvoir aboutir à un résultat qui a un sens physique.

La question **Q42.** nous semble être facilement soluble grâce au bon sens, mais si certains ont bien reconnu l'impact de la rotation, d'autres se sont perdus dans des explications qui, par la confusion qu'elles laissaient transparaître, n'étaient recevables pour personne !

Les deux dernières questions peuvent faire apparaître des considérations demandant un raisonnement dans l'espace pas aisé pour tous, mais la question de la vitesse tangentielle, par exemple, était déductible de la figure 2 comme de la figure 3, ce qui permet à tout candidat ayant suffisamment de temps d'y répondre correctement.

Conclusion

Si les commentaires précédents ont fait ressortir bien des erreurs rencontrées au cours de la correction, qu'il soit clair que ceci ne se veut ni un catalogue, ni une plainte, mais a pour vocation d'aider le préparateur à optimiser sa tâche ! Ainsi, nous l'encourageons à prendre le temps de lire les derniers rapports de jury des épreuves qu'il présente, de façon à s'inspirer de l'état d'esprit qu'il lui est demandé d'avoir.

À vrai dire, cet état d'esprit, loin d'être spécifique à cette épreuve, est celui que l'on attend de tout scientifique et pas seulement d'un scientifique du XXI^e siècle, du reste ! Comme nous ne saurions mieux le dire, empruntons à Boileau les conseils qu'il su prodiguer dès le XVII^e : « Avant donc que d'écrire, apprenez à penser... Ce que l'on conçoit bien s'énonce clairement, et les mots pour le dire arrivent aisément... Travaillez à loisir et ne vous piquez point d'une folle vitesse... Soyez-vous à vous-même un sévère critique ».

Nous nous permettons de féliciter ce qui ont su s'approprier ces quelques maximes, pour offrir une résolution que nous avons pris du plaisir à corriger. Que par là-même, les autres se sentent l'envie de se surpasser pour se perfectionner : c'est ainsi qu'ils devront aborder leur formation d'ingénieur, afin d'inventer plus tard, au travers de leur métier, le monde de demain !

Pour être un peu plus concret, nous encourageons vraiment chaque étudiant à se pencher sur le sens de ce qui lui est demandé dans l'énoncé et sur le sens de sa réponse : il n'est pas toujours évident de le sentir, mais s'il le peut, il décuplera son envie de s'adapter au cahier des charges qui lui est soumis et saura trouver du plaisir à y répondre du mieux qu'il le peut. Ce regard lui permettra d'avancer avec toute la rigueur, l'honnêteté intellectuelle et la clairvoyance nécessaires à exercer plus tard son métier dans les meilleures conditions.

Bien sûr, ces qualités ne s'acquièrent pas en quelques semaines, mais nécessitent un travail de fond qui commence dès l'entrée en CPGE, car comme l'illustre encore notre épreuve cette année, c'est

sur le programme des deux années qu'elle s'appuie. Nous souhaitons beaucoup de courage à ceux qui nous liront à l'orée de ces deux années : une forêt qui pousse fait moins de bruit qu'un arbre qui tombe... mais les fruits récoltés au sein de chacune des CPGE nous encouragent à poursuivre notre tâche avec ardeur et bienveillance !