

10 Rapport sur le problème de physique

Le problème de physique portait sur l'influence relative du couplage et des pertes sur la dynamique de deux oscillateurs couplés linéairement. Ce même thème était décliné suivant trois domaines de la physique : en électrocinétique sur l'exemple de deux circuits RLC couplés, en optique classique avec une cavité Fabry-Perot contenant un milieu présentant une absorption étroite, en mécanique quantique avec le couplage d'un état discret avec un continuum.

Cette variété de domaine a permis aux candidats de mobiliser leurs connaissances et savoir-faire dans le domaine de leur choix : si la majorité des candidats a abordé le problème dans l'ordre proposé, de nombreux candidats n'ont pas hésité à se lancer directement dans la partie optique ou quantique. Le jury constate avec satisfaction que, malgré la longueur du sujet, certains candidats ont eu le temps de traiter au moins deux parties du problème et d'appréhender les analogies entre celles-ci.

On rappelle l'importance de la présentation et de la rédaction. Les réponses sont rarement équilibrées : soit on a des réponses extrêmement détaillées à des questions très simples, soit on a des réponses très lapidaires, avec parfois une simple équation écrite sans explications ni justifications. Il faut de même veiller à l'homogénéité des résultats proposés. On peut étendre la notion d'homogénéité pour les scalaires et les vecteurs, que l'on a pu rencontrer, sommés dans une même équation.

Les applications numériques proposées ont été peu traitées. Le jury renouvelle cette année encore sa demande d'un effort dans ce domaine, gratifiant sur le plan de la notation.

Remarques sur les différentes parties

1) La première partie s'appuyait sur un exemple académique d'électrocinétique pour introduire les notions de couplages fort et faible. Selon les intensités relatives du couplage et de l'amortissement, le comportement du système couplé étudié peut être très différent vis-à-vis de la résonance (un pic ou deux) ou des modes propres (une ou deux pseudo-pulsations propres). Il est remarquable que les résultats établis dans cette partie se retrouvent dans les deux autres.

Ce caractère académique a pu avoir quelque chose de rassurant pour les candidats, les questions étant conceptuellement relativement faciles. C'est un peu à double tranchant, car dans un tel cas, il faut savoir être efficace, être capable de mettre en œuvre sa technicité pour ne pas perdre son temps à des calculs laborieux qu'une réflexion préalable aurait permis d'alléger. Par exemple, à la question 10, où il était demandé de déterminer les extrema de la fonction de transfert, il était utile de remarquer qu'on pouvait écrire : $|H(\Delta)| = [f(\Delta)]^{-1/2}$, où f est un polynôme du deuxième degré de Δ^2 : les maxima de $|H(\Delta)|$ sont donc les minima de $f(\Delta)$, et inversement : les calculs étaient alors beaucoup plus rapides. De même la bande passante à -3dB s'obtient simplement en égalant deux termes au dénominateur de la fonction de transfert, lorsque $|H(\Delta)|^2$ est une lorentzienne.

Heureusement, beaucoup de candidats ont su aborder cette partie avec une réelle maîtrise, sans se noyer dans de poussifs calculs.

Les correcteurs ont cependant regretté que la notion de modes propres soit mal définie, et trop souvent confondue avec celle de fréquences propres. Peu de candidats mettent cette notion de mode en application pour discuter le rôle des conditions initiales données, ou pour analyser le phénomène de battements. Ainsi la question 4a avait prouvé que, dans le cas d'oscillateurs de même amortissement, les courants oscillaient en phase pour un mode et en opposition de phase pour l'autre. C'était ce que l'on (re)demandait à la question 24, où le couplage était fort devant la différence d'amortissement des oscillateurs. A la question 25, les deux courants étaient initialement en quadrature : les deux modes propres étaient simultanément excités, ce qui conduisait au classique phénomène de battement.

La représentation complexe des grandeurs harmoniques n'est pas toujours bien comprise ni maîtrisée.

2) Dans la partie optique, la description de la cavité Fabry-Perot a rarement été bien menée. Ainsi l'expression du déphasage dans la cavité était rarement exacte. Ainsi, à la question 29, l'expression du déphasage était souvent fautive, par l'oubli de l'indice de base n_B . Cette erreur se retrouvait à la question 36. L'énoncé proposait de décrire la cavité au moyen de deux ondes progressives contra-propagatives. De nombreux candidats ont eu du mal à s'adapter à ce raisonnement et ont préféré revenir à une description plus traditionnelle de l'interféromètre, avec sommation d'ondes partielles. Ceci a été accepté.

La cavité Fabry-Perot ayant été présentée, on s'intéressait ensuite au couplage lumière-matière à l'intérieur de celle-ci en s'appuyant sur le modèle purement classique de l'électron élastiquement lié (oscillateur de Lorentz). Si quelques candidats, peu nombreux heureusement, semblaient le découvrir, ce modèle était connu et convenablement maîtrisé par beaucoup. Néanmoins, un certain nombre de candidats ont été pénalisés pour avoir confondu à partir de la question 48 le coefficient d'absorption relatif à l'intensité avec l'indice d'extinction (partie imaginaire de l'indice complexe) : il est regrettable qu'une lecture trop rapide de l'énoncé conduise à de telles confusions. De la même façon, il fallait faire attention à la convention de représentation des grandeurs harmoniques en $\exp(-j\omega t)$ – suivant la convention de la mécanique quantique – lors des dérivations temporelles de la question 45.

3) Cette troisième partie reprenait, avec le formalisme de la mécanique quantique, la situation de la partie précédente. Bien que la façon d'aborder le même sujet soit très différente, les conclusions sont identiques. Le jury a apprécié de voir des candidats aborder cette partie de physique "moderne".

On peut regretter que beaucoup de candidats n'aient pas su mobiliser leurs connaissances en mécanique quantique dans cette partie, confondant par exemple équation de Schrödinger et équation aux valeurs propres. Mais heureusement, les correcteurs ont eu la satisfaction de constater que nombre de candidats, très à l'aise avec le formalisme de la mécanique quantique, ont su traiter en profondeur cette partie. Ils en ont été largement récompensés.

Rappelons simplement que sa maîtrise du sujet ne dispense pas le candidat d'une rédaction minimale : affirmer un résultat sans aucune justification fait naître le doute, chez le correcteur, que l'auteur n'est pas en mesure de le faire (cette remarque concerne particulièrement les premières questions, 70 à 74, élémentaires à ce niveau, de cette partie).

De même, une maîtrise manifeste ne doit pas conduire le candidat à des raisonnements cavaliers et à des calculs manquant de rigueur : par exemple, aux questions 78 à 80, puis 87 et 88, il était nécessaire de préciser les bornes d'intégration, de distinguer les variables muettes d'intégration et les variables fixées.

En conclusion, ce problème a permis à de bons candidats, qui dominaient bien leur sujet et qui ont su traiter en profondeur des parties entières du sujet, d'obtenir d'excellentes notes.

En revanche, les candidats qui ont cru pouvoir obtenir une note honorable en sautant d'une question à l'autre, sans entrer véritablement dans le sujet, n'ont produit que des copies décousues dont la note décevante a sanctionné leur travail superficiel.