

LP 17 : Rayonnement d'équilibre thermique – Corps noir

Par Hélène Ollivier et Bruno Ventéjou

Messages à faire passer dans la leçon :

Notion d'équilibre thermique et de rayonnement d'équilibre thermique, ce qui implique la nécessité de définir les flux. Il est intéressant de développer sur l'interaction lumière-matière, avec la conversion de l'énergie radiative en énergie thermique.

Il est a priori nécessaire de développer sur la loi de Kirchhoff, et les grandeurs photométriques qui vont avec.

On doit définir le corps noir et parler de sa possible approche expérimentale. On a alors la possibilité de développer un peu sur l'historique, la naissance de la mécanique quantique (formules de Wien et de Rayleigh-Jeans, puis conciliation des deux par Planck), et les enjeux de l'époque et actuels.

On peut démontrer la loi de Planck, en partant de la quantification des modes dans une boîte et de la statistique de Bose-Einstein, puis en extraire les lois du déplacement de Wien et de Stefan.

Plan choisi

- I. Rayonnement d'équilibre thermique
 1. Définitions
 2. Interaction rayonnement-matière
 3. Manifestations pratiques

- II. Le corps noir ; naissance de la mécanique quantique
 1. Définition et réalisation expérimentale
 2. Historique
 3. Loi de Planck
 - a. Densité d'états
 - b. Statistique des photons
 - c. Flux de puissance surfacique par unité de fréquence de corps noir

- III. Exploitation de la loi de Planck
 1. Retour sur la loi de Wien
 2. Loi de Stefan
 3. Bilan radiatif de la Terre

Applications traitées :

Température de surface du soleil pour la loi de Wien

Bilan radiatif de la Terre pour la loi de Stefan

Applications qui auraient pu être traitées :

Rayonnement cosmologique à 3K (Perez) (sujet actuel avec la mission Kobé et la mission Planck dont les données sont en cours de dépouillement)

Effet de serre épreuve A 2011

Double-vitrage ou autres applications actuelles, sujets d'examen de Polytechnique, Balian.

Expériences présentées :

Observation de l'évolution de la température à un endroit où se concentrent les rayons lumineux à la sortie d'une lentille convergente placée devant une lampe quartz-iode.

Mesure de la température superficielle du soleil à l'aide d'un spectromètre à fibre et du logiciel Avaspec.

Il est possible de réaliser une expérience où on chauffe à différentes températures une lampe (à l'aide d'une alimentation variable) et on observe à l'aide d'un PVD que la longueur d'onde d'intensité max du spectre varie (toujours pour la loi de Wien).

Bibliographie, remarques bibliographiques :

- Cap Prépa 2ème année MP-MP*-PT-PT*, de Vincent Renvoizé
- Tec&Doc *Thermodynamique* 1ère et 2ème année, de Stéphane Olivier et Hubert Gié

Historique et définition des flux

- Physique tout-en-un MP-MP*, J'intègre, de Marie-Noëlle Sanz et Bernard Salamito

Exercice corrigé utile pour l'application sur le bilan radiatif de la Terre, à la page 865.

➤ Mécanique quantique I, de Claude Aslangul
Explication sur l'interaction lumière-matière bien faite.

Remarque des examinateurs :

Si on parle de l'aspect historique de la naissance de la mécanique quantique, bien préciser quelles lois ont été déterminées expérimentalement ou théoriquement, et connaître l'origine des démonstrations théoriques (notamment : savoir redémontrer la loi de Stefan en utilisant la thermodynamique classique, cf épreuve A de 2001).

Démontrer la loi de Planck est un choix : on peut très bien ne pas le faire (c'est peut-être même préférable, mais il faut de toutes façons être capable de la démontrer lors des questions). Ainsi, on peut utiliser le temps libéré pour parler de la loi de Kirchhoff (cf Sextant), et faire plus d'applications. **Parler également du corps gris.**

Noter la différence entre corps chaud, qui donne un spectre continu et corps froid, qui donne un spectre de raie.

Les lampes à incandescence ne sont plus commercialisées à cause de leur faible rendement (elles dégagent beaucoup d'énergie sous forme de chaleur).

Remarques sur la démo de la loi de Planck :

Pourquoi prend-on une boîte cubique pour calculer la densité de mode ? → en fait on pourrait prendre n'importe quelle forme de boîte (Loi de Weyl, 1911) mais une boîte cubique donne un calcul plus simple.

Pourquoi peut-on dire que $\mu=0$ dans la statistique de Bose-Einstein pour des photons, alors que cela signifierait qu'on peut faire disparaître et apparaître des photons sans variation d'énergie? → a priori ce serait parce qu'on ne se préoccupe pas de la conservation de l'énergie : on chauffe la boîte, c'est elle qui s'occupe de faire apparaître les photons. Une autre particule pour laquelle on pourrait ainsi dire que $\mu=0$ est le phonon.

On ne peut pas avoir de condensat de Bose-Einstein de photons car leur nombre n'est pas conservé.

On peut se servir du livre de Jean-Jacques Greffet pour parler de la cohérence du corps noir.