

# Cvičení k přednášce Atomová fyzika (NFUF301)

Pavel Stránský

5. října 2022

## Obsah

<b>1 Černé těleso</b>	<b>2</b>
1.1 Rayleighův-Jeansův zákon . . . . .	2
1.2 Planckův zákon . . . . .	2
1.3 Wienův posunovací zákon . . . . .	2
1.4 Stefanův-Boltzmannův zákon . . . . .	2
1.5 Střední energie fotonu . . . . .	2
1.6 Teplota Slunce . . . . .	2
1.7 Ztráta hmotnosti Slunce . . . . .	2
1.8 Žárovka . . . . .	2
1.9 Hlava . . . . .	3
1.10 Fotonová plachetnice . . . . .	3
1.11 Vláknó žárovky . . . . .	3
1.12 Kosmické mikrovlnné záření . . . . .	3

# 1 Černé těleso

## 1.1 Rayleighův-Jeansův zákon

Odvoďte objemovou hustotu energie černého tělesa pro frekvenci  $\nu$  a vlnovou délku  $\lambda$ . Předpokládejte, že energie jednotlivých módů elektromagnetického záření může nabývat jakýchkoliv hodnot.

## 1.2 Planckův zákon

Odvoďte objemovou hustotu energie černého tělesa za předpokladu, že energie jednotlivých módů elektromagnetického záření může nabývat jen celočíselných násobků frekvence módů  $\nu$ ,<sup>1</sup>

$$E_n = h\nu n,$$

kde  $n$  je přirozené číslo a  $h$  je konstanta (Planckova konstanta).

## 1.3 Wienův posunovací zákon

Odvoďte, pro jakou frekvenci a pro jakou vlnovou délku je objemová hustota energie černého tělesa daná Planckovým zákonem maximální.

## 1.4 Stefanův-Boltzmannův zákon

Odvoďte celkový zářivý výkon černého tělesa o teplotě  $T$ .

## 1.5 Střední energie fotonu

Určete počet fotonů v jednotkovém objemu pro frekvenci  $\nu$  a vlnovou délku  $\lambda$  a celkový počet fotonů přes všechny vlnové délky. Jaká je střední energie jednoho fotonu v záření černého tělesa o teplotě  $T$ ?

## 1.6 Teplota Slunce

Je-li Slunce v zenitu, je intenzita slunečního záření dopadající na vodorovný zemský povrch  $I_{\oplus} = 1367 \text{ Wm}^{-2}$ . Za předpokladu, že vyzařování Slunce lze považovat za záření černého tělesa, a znáte-li poloměr Slunce  $R_{\odot}$  a vzdálenost Země od Slunce  $d$ , určete teplotu na povchu Slunce.

## 1.7 Ztráta hmotnosti Slunce

Jakou hmotnost ztratí Slunce vyzařováním za 1 s?

## 1.8 Žárovka

Wolframové vlákno v klasické žárovce se rozžhaví na teplotu  $T = 3000 \text{ K}$ . Jaké procento vyzařované energie je ve viditelné části spektra mezi vlnovými délkami  $\lambda \in [380 \text{ nm}, 750 \text{ nm}]$ ?

<sup>1</sup>Vztah lze ekvivalentně zapsat pomocí úhlové frekvence  $\omega$  a redukované Planckovy konstanty  $\hbar$  jako

$$E_n = \hbar\omega n \quad (1.2.1)$$

## 1.9 Hlava

Odhadněte celkový zářivý výkon holé lidské hlavy bez pokrývky. Jaký je rozdíl zářivého výkonu a zářivého příkonu v prostředí, které má  $t_{\text{okolí}} = 0^\circ\text{C}$ ? Bazální metabolismus dospělého člověka je přibližně  $P_B = 1700 \text{ kcal den}^{-1}$ . Určete, jaké procento energie získané metabolismem se v chladném počasí ztratí hlavou pouhým vyzařováním.<sup>2</sup>

### 1.10 Fotonová plachetnice

Určete, jaká síla by díky slunečnímu záření působila na čtvercovou plachtu o rozměru  $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ , nacházející se na oběžné dráze Země. Jak musí být plachta orientovaná, aby síla byla co největší? Je síla větší, když plachta záření pohltí, nebo když ho odrazí?

### 1.11 Vláknó žárovky

Odhadněte délku a poloměr wolframového vlákna žárovky s příkonem  $P = 100 \text{ W}$ , víte-li, že teplota vlákna je  $T = 2700 \text{ K}$ .

### 1.12 Kosmické mikrovlnné záření

Kosmické mikrovlnné záření (reliktní záření) je odkaz z počátečních fází vývoje vesmíru. Má charakter přibližně izotropního záření černého tělesa o teplotě  $T \approx 2,7 \text{ K}$ . Určete, na jaké frekvenci a pro jakou vlnovou délku je hustota energie nejvyšší. Spočítejte, kolik fotonů reliktního záření dopadá na jednotkovou plochu zemského povrchu za sekundu.

---

<sup>2</sup>Proto je dobré nosit v zimě čepici.