58. РЕГИОНАЛЕН НАТПРЕВАР ПО ФИЗИКА

4 април 2026

III година

(решенија на задачите)

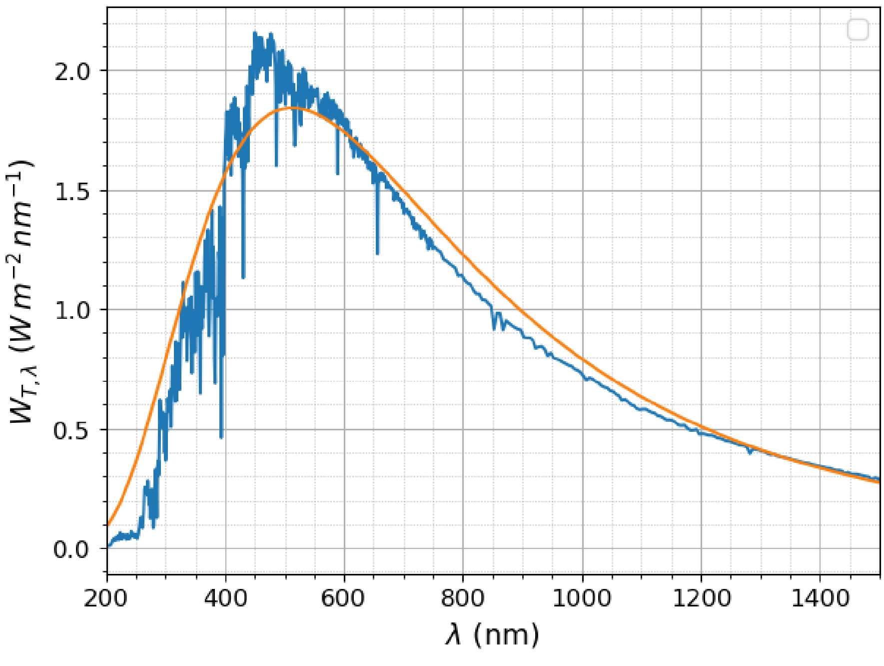
Задача 1. Набљудувањата на Сончевиот спектар, кој речиси совршено се совпаѓа со спектарот на апсолутно црно тело, довеле до откривање на законите за зрачењето на апсолутно црно тело. На Слика 1 е прикажан Сончевиот спектар, измерен на површината на Земјата во 2025 година, поточно, спектралната емисиона моќ во широк опсег бранови должини. Користејќи го графикот, да се одговори на следните прашања:

а) Во кое подрачје од електромагнетниот спектар (ултравиолетово, видлива светлина или инфрацрвено подрачје) Сонцето има најголема емисиона способност, односно зрачи со најголема моќност?

б) Пресметајте ја средната температурата на Сонцето.

в) Познато е дека температурата на Сонцето се зголемува со текот на времето. Како би очекувале да се промени формата на измерениот спектар за доволно долг временски период, за којшто таа промена на температурата е значителна?

г) Колку би изнесувала вкупната емитирана моќ на зрачењето, изразена во [W m^{-2}], доколку температурата на Сонцето се зголеми за 500 K?



Слика 1

Виновата константа изнесува $b = 2,898$ mm K.

Штефан-Болцмановата константа изнесува $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Wm^{-2}K^{-4}.

Решение:

а) Според податоците од графикот, најголема моќност Сонцето зрачи во доменот [300 nm-800 nm], односно во видливиот дел од електромагнетниот спектар.

б) Согласно Виновиот закон:

$$T = \frac{b}{\lambda_{\max}}. \tag{1}$$

Од графикот може да се забележи дека максимумот на зрачењето на Сонцето е на бранова должина $\lambda = 500$ nm, па

$$T = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m} \cdot \mathrm{K}}{500 \cdot 10^{-9}\ \mathrm{m}} = 5796\ \mathrm{K}. \tag{2}$$

в) Со зголемување на температурата на апсолутно црно тело, според Виновиот закон, максималната бранова должина се намалува. Исто така, според Штефан-Болцмановиот закон, се зголемува и емисивноста на телото. Така, пикот на измерениот спектар би се поместил кон помалите бранови должини, додека целокупниот интензитет би се зголемил.
г) Според Штефан-Болцмановиот закон:

$$W = \sigma T^4, \tag{3}$$

$$W_2 = \sigma (T_1 + \Delta T)^4. \tag{4}$$

Од тука:

$$W_2 = 8,9 \cdot 10^7\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}. \tag{5}$$

Забелешка: Делот **а)** се наградува со 3 поени. Делот **б)** носи 8 поени. За запишување на Виновиот закон се доделуваат 3 поени, додека, пак за правилно отчитување на $\lambda_{\max}$ од графикот се доделуваат 2 поена. За точно пресметана на температура, се доделуваат 3 поени. Не се одземаат поени ако поради погрешно отчитување на брановата должина во рамки $\lambda_{\max} \pm 50$ nm се добие погрешен нумерички резултат за температурата. Делот **в)** се наградува со 4 поени. За објаснување дека со зголемување на температурата максимумот се поместува кон помали бранови должини (Винов закон) се доделуваат 2 поена. За објаснување дека вкупниот интензитет на зрачењето се зголемува (Штефан–Болцманов закон) се доделуваат 2 поена. Делот **г)** носи 5 поени. За запишување на Штефан–Болцмановиот закон, се доделуваат 3 поени, а за точна пресметка на новата емитирана моќ се доделуваат 2 поена. За секоја незапишана мерна единица се одзема по 1 поен.

Задача 2. Еден ученик дизајнира експеримент со дифракциона решетка за мерење на брановата должина на монохроматска светлина. Поставката се состои од тесен процеп, низ којшто влегува светлината, дифракциона решетка со густина $N = 600$ процепи/mm, собирна леќа со фокусно растојание $f = 20$ cm и екран поставен во фокусната рамнина на леќата. Светлината паѓа нормално на решетката.
Доколку мерењата треба да разделуваат две бранови должини, кои се разликуваат за $\Delta\lambda = 2$ nm, пресметајте колкаво ќе биде растојанието помеѓу нивните максимуми од прв ред на екранот.
Од корист може да биде апроксимацијата за мали агли: $\sin\theta \approx \operatorname{tg}\theta \approx \theta$.

Решение:

Равенката за дифракција од дифракциона решетка гласи:

$$d\sin\theta_m = m\lambda, \tag{1}$$

каде $d = \frac{1}{N}$ е растојанието помеѓу процепите на решетката. Бидејќи екранот е поставен во фокусната рамнина, $L = f$, положбата на максимумот во фокусната рамнина е:

$$y_m = f\operatorname{tg}\theta_m. \tag{2}$$

За мали агли важи апроксимацијата:

$$\sin\theta_m \approx \operatorname{tg}\theta_m, \tag{3}$$

па така, од равенката (1) се добива:

$$d\sin\theta \approx d\operatorname{tg}\theta_m = m\lambda; \qquad \operatorname{tg}\theta_m \approx \frac{m\lambda}{d}. \tag{4}$$

Заменувајќи во изразот за y_m:

$$y_m = f\frac{m\lambda}{d}, \tag{5}$$

$$y_m \approx f m\lambda N. \tag{6}$$

За максимум од прв ред ($m = 1$) важи

$$y_1 = f\lambda N; \qquad y_2 = f(\lambda + \Delta\lambda)N. \tag{7}$$

Разликата во положбите за две блиски бранови должини λ и $\lambda + \Delta\lambda$ изнесува

$$\Delta y = y_2 - y_1 = fN\Delta\lambda. \tag{8}$$

Заменувајќи ги соодветните вредности, се добива:

$$\Delta y = 0,24 \text{ mm}. \tag{9}$$

Забелешка: За запишување на дифракционата равенка се доделуваат 4 поени. За користење на апроксимацијата за мали агли се доделуваат 3 поени. За изведување на конечниот израз за растојанието y_m доделуваат 5 поени. За добивање на изразот за Δy се доделуваат 6 поени. За точно добиена вредност на растојанието помеѓу максимумите, се доделуваат 2 поена. За секоја незапишана мерна единица се одзема по 1 поен.

Задача 3. Се поставува систем од две собирни леќи со фокусни растојанија 4 cm и 6 cm, соодветно. На растојание 6 cm од првата леќа се поставува предмет со висина 3 cm. Да се пресмета на кое растојание d од првата леќа треба да се постави втората леќа, за ликот на предметот добиен по прекршување на светлината низ двете леќи да биде реален и зголемен 4 пати.

Решение:

Равенката на тенка леќа гласи:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{l}. \tag{1}$$

За растојанието на ликот од првата леќа се добива:

$$\frac{1}{4\text{ cm}} = \frac{1}{6\text{ cm}} + \frac{1}{l_1}; \tag{2}$$

$$l_1 = 12\,\text{cm}.$$

Линеарно зголемување од првата леќа пак е еднакво на:

$$M_1 = \frac{l_1}{p_1} = \frac{12}{6} = 2. \tag{3}$$

Ликот добиен од првата леќа претставува предмет за втората леќа. Поради тоа што вкупното зголемување изнесува $M = M_1 M_2 = 4$, зголемувањето на втората леќа треба да биде $M_2 = 2$.
За втората леќа важи:

$$M_2 = \frac{l_2}{p_2} = 2 \implies l_2 = 2p_2. \tag{4}$$

Заменувајќи го добиенот израз во равенката за тенка леќа, се добива:

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{l_2} = \frac{3}{2p_2}; \tag{5}$$

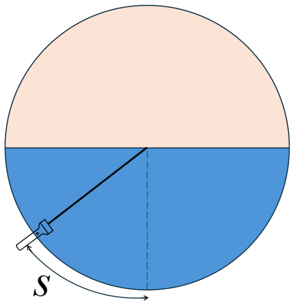
$$p_2 = 9\,\text{cm}. \tag{6}$$

Од тука, за вкупното растојание помеѓу двете леќи се добива:

$$d = l_1 + p_2 = 21\,\text{cm}. \tag{7}$$

Забелешка: За запишување на равенката на тенка леќа се доделуваат 2 поена. За пресметување на растојанието на ликот добиен по прекршувањето низ првата леќа, се доделуваат 4 поени. За пресметување на линеарното зголемување на првата леќа се доделуваат 2 поена. За заклучокот дека зголемувањето на втората леќа треба да биде $M_2 = 2$ се доделуваат 4 поени. За добивање на растојанието p_2 се доделуваат 5 поени, а за пресметување на растојанието помеѓу леќите се доделуваат 3 поени. За секоја незапишана мерна единица се одзема по 1 поен. За секоја погрешно пресметана нумеричка вредност се одземаат по 2 поена.

Задача 4. Хоризонтален цилиндричен резервоар со дијаметар $2,20$ m до половина е исполнет со вода ($n_{\text{вода}} = 1,33$), а над водата се наоѓа гас со непознат индекс на прекршување, како што е прикажано на Слика 2. Мал ласер се движи по заобленото дно на резервоарот и испраќа зрак кон центарот на површината вода-гас. Се набљудува дека за растојание $s > 1,09\,\text{m}$ (мерено по заоблената површина од најниската точка) нема прекршување на зракот во гасот.
Да се пресмета индексот на прекршување на гасот и времето потребно зракот, којшто е емитиран од ласерот и се прекршил на границата вода-гас, да стигне до ѕидот на резервоарот.
Брзината на светлината изнесува $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.



Слика 2

Решение:

Според Снеловиот закон за прекршување на светлина помеѓу две средини:

$$n_{\text{вода}} \sin\alpha = n_{\text{гас}} \sin\beta. \tag{1}$$

Во последната равенка со α и β ги обележавме упадниот и прекршениот агол, соодветно. При тотална рефлексија $\beta = \dfrac{\pi}{2}$, па за индексот на прекршување на гасот се добива:

$$n_{\text{гас}} = n_{\text{вода}} \sin\alpha. \tag{2}$$

Аголот којшто го зафаќа нормалата на површината вода–гас со радиусот е еднаков на α. Односот на кружниот лак што го дефинира овој агол и периметарот на кружницата изнесува:

$$\frac{s}{2R\pi} = \frac{\alpha}{2\pi}, \tag{3}$$

па така, за аголот α се добива:

$$\alpha = \frac{s}{R} = 0,99\,\text{rad}. \tag{4}$$

Од равенката (2), за индексот на прекршување на гасот се добива:

$$n_{\text{гас}} = n_{\text{вода}} \sin\alpha = 1,11. \tag{5}$$

Патот на светлината е по права линија од ласерот до центарот на површината на водата, односно $s = 2R$.
Брзината на светлината во средина со индекс на прекршување n е:

$$n = \frac{c}{v}, \tag{6}$$

па од тука се добива:

$$t = t_1 + t_2 = \frac{R}{v_1} + \frac{R}{v_2} = \frac{R}{c}\left(n_{\text{вода}} + n_{\text{гас}}\right); \tag{7}$$

$$t \approx 9 \text{ ns}. \tag{8}$$

Забелешка: За запишување на Снеловиот закон се доделуваат 3 поени. За точно запишување на условот за тотална рефлексија се доделуваат 3 поени. За добивање на точен израз за аголот α се доделуваат 4 поени. За пресметување на индексот на прекршување $n_{\text{гас}}$ се доделуваат 3 поени. За добивање на точен израз за времето се доделуваат 4 поени, а за точна пресметка на времето t се доделуваат преостанатите 3 поени. За секоја незапишана мерна единица се одзема по 1 поен.

Задача 5. Фотодетекторите го користат принципот на фотоелектричен ефект за претворање на светлосен сигнал во електричен сигнал. Една од поважните карактеристики на фотодетекторите е способноста за генерирање на слободни електрони од упадните фотони, изразена преку величината квантна ефикасност, којашто е дефинирана како:

$$Q = \frac{\text{број на генерирани електрони}}{\text{број на упадни фотони}}.$$

Квантна ефикасност $Q = 1$, односно $Q = 100\%$, одговара на случај кога секој упаден фотон генерира еден фотоелектрон.
Еден фотодетектор е осветлен со монохроматска светлина со бранова должина $\lambda = 600$ nm и моќност $P = 3$ mW. Доколку измерената фотоструја, којашто протекува низ колото, изнесува $I = 0,6$ mA, пресметајте ја квантната ефикасност на овој фотодетектор.
Вредноста на Планковата константа е $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Js, брзината на светлината е $c = 3 \cdot 10^8$ m/s и елементарниот електричен полнеж изнесува $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

Решение:

Бројот на фотони во единица време е поврзан со моќноста на детекторот:

$$P = \frac{E}{\Delta t} = \frac{N_f \cdot E_0}{\Delta t} = \frac{N_f \cdot hc}{\lambda \cdot \Delta t} \tag{1}$$

Фотострујата пак се дефинирана преку односот I:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{N_e \cdot e}{\Delta t}. \tag{2}$$

Од дефиницијата на квантната ефикасност Q, добиваме :

$$Q = \frac{N_e}{N_f}. \tag{3}$$

Со замена на изразите (1) и (2) во (3), се добива општата формула:

$$Q = \frac{\frac{I\Delta t}{e}}{\frac{P\lambda\Delta t}{hc}} = \frac{I \cdot h \cdot c}{P \cdot e \cdot \lambda}. \tag{4}$$

Заменувајќи ги дадените вредности:

$$Q = \frac{0,6 \cdot 10^{-3} \cdot 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^{-3} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 600 \cdot 10^{-9}}. \tag{5}$$

$$Q \approx 0,414 = 41,4.\% \tag{6}$$

Забелешка: За точно изведување на моќноста на детекторот се доделуваат 5 поени. За поврзување на струјата со бројот на електрони се доделуваат 5 поени. За правилно изведување на финалната формула за квантната ефикасност Q се доделуваат 6 поени. За точен нумерички резултат се доделуваат 4 поени.