

Je tepelné záření totéž co infračervené záření?

OLDŘICH LEPIL

Přírodovědecká fakulta UP, Olomouc

Ve školské fyzice se žák poprvé setká s pojmem *tepelné záření* v učivu termiky v souvislosti s tepelnou výměnou, při níž se vyzařováním (*sáláním*, *radiací*) přenáší energie záření do okolí zahřátých těles. Tím je v podstatě fixována představa, která spojuje tepelné záření jen s touto formou tepelné výměny. S pojmem *infračervené záření*, označovaném obvykle IR (*infrared radiation*), se žák základní školy nesetká vůbec a na střední škole je vymezen tento pojem až v optice jako elektromagnetické záření o vlnových délkách v širokém rozsahu od 1 mm do 760 nm (viz např. [1]). Ve starších učebnicích optiky se žák o infračerveném záření dozvěděl jen několik poznámek např. o jeho tepelných účincích, šíření v zakaleném prostředí apod. V souvislosti s vývojem polovodičové techniky se však významně zvětšilo praktické využití infračerveného záření. V tomto směru dominují zejména termokamery, jejichž funkci a praktické využití lze poměrně snadno demonstrovat i ve školských podmínkách (viz např. obr. 1, který je součástí prezentace P3 v elektronickém doplňku (ED) k učebnici [1], autor V. Pazdera). Tím je však zvýrazněna těsná souvislost tepelného záření a infračerveného záření, což podporuje představu o totožnosti obou záření, jak ji chápeme a často používáme v hovorovém vyjadřování. Z fyzikálního hlediska je však souvislost obou záření složitější.

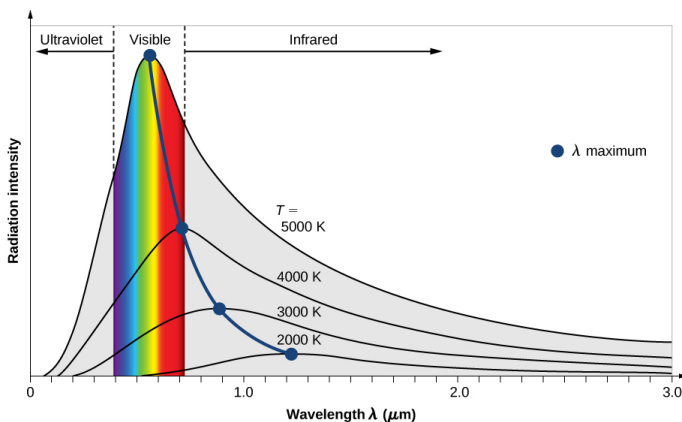
Jako tepelné záření označujeme elektromagnetické vlnění, jehož zdrojem jsou chaotické oscilace atomů a molekul látky při jejich tepelném pohybu. To znamená, že tělesa vyzařují tepelné záření při libovolné teplotě $T > 0$ K. Na teplotě tělesa závisí vlnová délka tepelného záření při níž těleso vyzařuje maximum energie. Na konci 19. století byla tato problematika středem pozornosti fyziků v souvislosti s problémy, s nimiž se fyzika setkala při studiu

vyzařování tzv. *černého tělesa*. Zásadním způsobem tento problém vyřešil na počátku 20. století *Max Planck* představou diskrétního charakteru záření tvořeného fotony a svým objevem položil základ kvantové fyziky. Klíčovou zákonitostí je *Planckův zákon vyzařování černého tělesa*, který vyjadřuje závislost *spektrální intenzity vyzařování* M_λ na teplotě T tělesa a vlnové délce λ tepelného záření ($M_\lambda = f(\lambda, T)$). Planckův zákon určuje, jaká část celkové vyzařené energie připadá na elektromagnetické vlnění o určité vlnové délce.

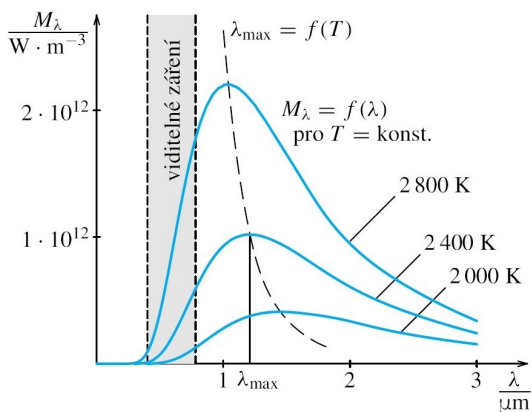


Obr. 1

Středoškolská fyzika se omezuje jen na kvalitativní interpretaci Planckova zákona. Výklad obvykle vychází z grafu rozložení vyzařované energie tepelného záření ve spektru tělesa o určité teplotě, čili z grafu veličiny M_λ . K tomu lze využít grafy dostupné na webu (viz např. obr. 2). V jednoduché podobě je tento graf také v rozšiřujícím učivu v ED k učebnici [1] (obr. 3).



Obr. 2



Obr. 3

Z těchto grafů je zřejmé, že tělesa s nižší teplotou přibližně do 2000 K prakticky vyzařují jen infračervené záření. Teplota 2 800 K odpovídá teplotě wolframového vlákna klasické žárovky, která vlastně rovněž vyzařuje převážně infračervené záření a jen v menší míře světlo. Při vyšších teplotách pak tělesa vyzařují kromě viditelného záření (světla)¹⁾ také ultrafialové záření. Při vysoké teplotě 5 000 K je maximum intenzity vyzařování sice uprostřed světelného spektra, ale značnou část energie tepelného záření představuje ultrafialové záření.

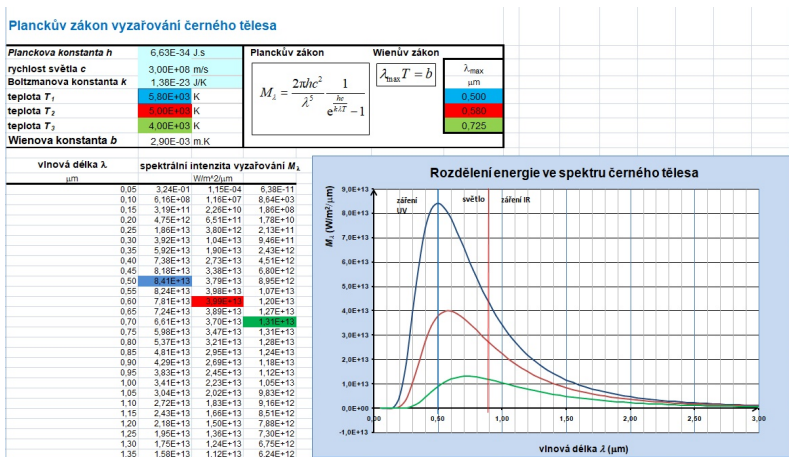
Matematická formulace Planckova zákona je poměrně jednoduchá a tak se nabízí možnost, posoudit vlastnosti zdrojů tepelného záření konstrukcí grafů Planckova zákona pro konkrétní teploty těchto zdrojů. Planckův zákon se uvádí obvykle ve tvaru

$$M_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda T}} - 1},$$

kde je h Planckova konstanta, c rychlost světla ve vakuu, k Boltzmannova konstanta ($k \approx 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$), λ vlnová délka tepelného záření a T je teplota zdroje záření, který má ideální vlastnost černého tělesa. Na základě tohoto vztahu byl vytvořen jednoduchý program v Excelu, který je součástí

¹⁾V anglické literatuře se používají termíny *visible light* a *nonvisible light* (např. právě pro infračervené záření), jejichž ekvivalenty často najdeme i v českých textech. To neodpovídá terminologii používané v našich učebnicích. V české terminologii používáme jen obecný termín *záření*, jehož viditelnou složkou je *světlo*. Český překlad *viditelné světlo* postrádá z tohoto hlediska věcný smysl. Neviditelné světlo je pak evidentní nesmysl.

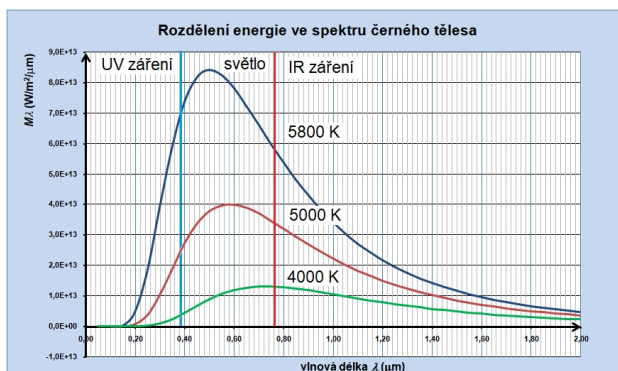
příspěvku a najdete ho na adrese https://mfi.upol.cz/files/34/3403/mfi_3403_f1_lepil_planck.xlsx (obr. 4). Program je předdefinován pro tři teploty a změnou těchto hodnot lze získat grafy i pro jiné zdroje záření s rozsahem spektra do vlnové délky 4 μm . V počátečním nastavení jsou to teploty 4000 K, 5000 K a 5800 K (přibližná teplota povrchu Slunce). Výsledný graf je na obr. 5. Obdobným způsobem můžeme vytvořit graf, který je součástí ED (obr. 6). Program zahrnuje také vztah pro *Wienův posunovací zákon*, kterým určíme vlnovou délku λ_{max} , při níž těleso o teplotě T vyzařuje maximum energie: $\lambda_{\text{max}} = b/T$, kde b je Wienova konstanta ($b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$).



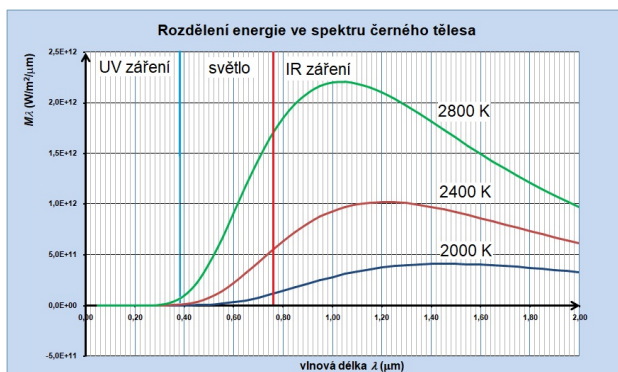
Obr. 4

Teplnému záření odpovídá široké spektrum vlnových délek spektra elektromagnetického záření, sahající od rentgenového a gama záření až k mikrovlnám o vlnové délce řádově 10^{-3} m . Infračervené záření tedy představuje jen *část spektra tepelného záření*, která je ohraničena světlem (760 nm) na jedné straně a mikrovlnným zářením na dlouhovlnné části spektra.

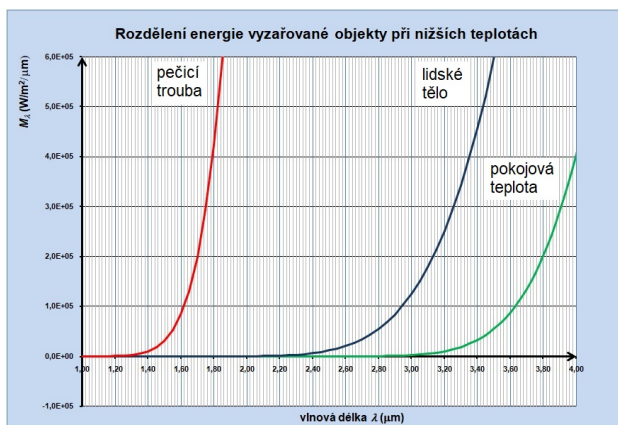
Poznatek, že tepelné záření nelze jednoduše ztotožnit s infračerveným zářením, můžeme názorně ukázat na grafech Planckova zákona pro tělesa s nízkou teplotou a naopak s velmi vysokou teplotou (budeme předpokládat, že tato tělesa jsou ideální černá tělesa). Na obr. 7 je graf pro tři objekty s nižší teplotou, které vyzařují jen infračervené záření. Je to těleso s pokojovou teplotou (21 °C), lidské tělo (37 °C) a pečicí trouba (180 °C).



Obr. 5

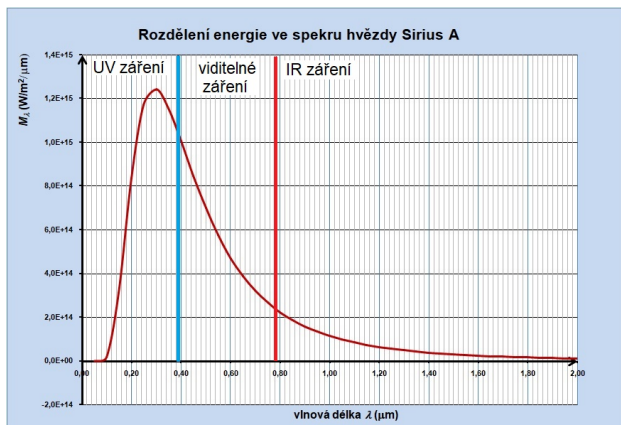


Obr. 6



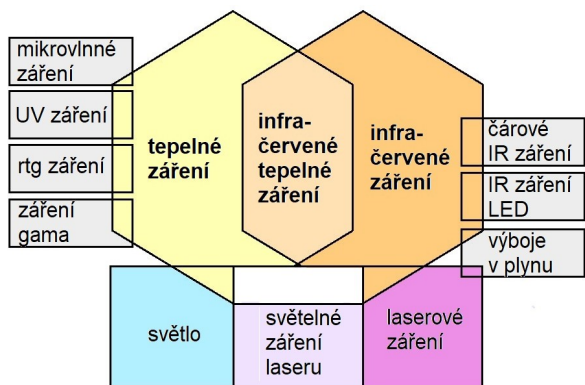
Obr. 7

Na obr. 8 je graf pro nejjasnější hvězdu naší oblohy Sirius A, která má povrchovou teplotu 9940 K. Vidíme, že tepelné záření Siria z větší části představuje ultrafialové záření a jen asi 17 % vyzářené energie připadá na infračervené záření.



Obr. 8

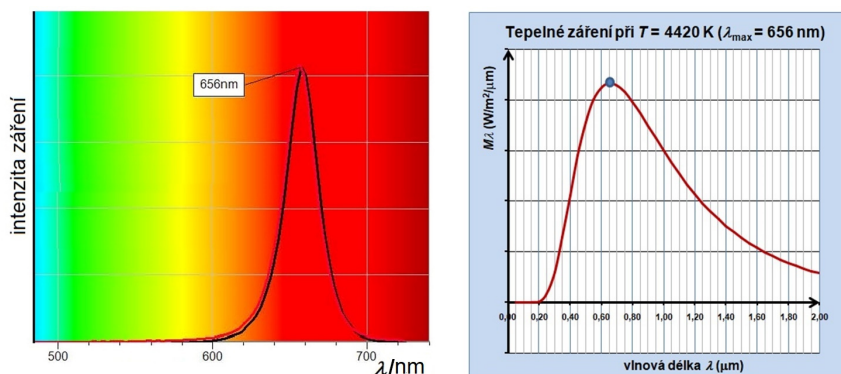
I když zdrojem infračerveného záření jsou nejčastěji tělesa produkující tepelné záření, může toto záření vznikat také jinými fyzikálními procesy, než je tepelný pohyb částic. Přehledně je to znázorněno diagramem na obr. 9.



Obr. 9

Příkladem může být elektroluminiscenční dioda IR LED na bázi arsenidu gallia (GaAs). Je to v podstatě polovodičová dioda, v jejímž přechodu

PN dochází k rekombinaci nosičů náboje a to je spojeno s vyzařováním infračerveného záření určité vlnové délky (konkrétně např. 940 nm). IR diody našly široké praktické využití např. v dálkových ovladačích, v zařízeních pro noční vidění, v čtečkách čárových kódů, v bezpečnostních systémech apod. Rozdíl mezi tepelným zářením a zářením elektroluminiscenční diody je dobře patrný na záznamu spektra červené LED diody, vyzařující světlo o vlnové délce 656 nm. Tomu by odpovídalo tepelné záření černého tělesa s teplotou 4 420 K. Rozdíl je dobře patrný na obr. 10. Vlevo je záznam spektra diody (autor V. Pazdera) a vpravo graf Planckova zákona pro uvedenou teplotu.



Obr. 10

Jiným příkladem jsou lasery generující infračervené záření na základě stimulované emise částic aktivního prostředí laseru. Na rozdíl od tepelného záření se širokým spektrem vlnových délek, je záření laseru monochromatické, čímž se zásadně liší od tepelného záření.

Odpověď na otázku v názvu příspěvku tedy je: Infračervené záření nelze jednoduše ztotožnit s tepelným zářením. Je to jen jedna složka tepelného záření a přesněji bychom ji měli označit slovním spojením *infračervené tepelné záření*. V řadě technických aplikací se používá infračervené záření generované změnami energie částic s nábojem v atomech, popř. ve struktuře látkového prostředí a *není to tepelné záření*.

Literatura

- [1] Lepil, O.: Fyzika pro gymnázia. Optika. 7. vydání, Prometheus, Praha, 2023.