

Rozhledy matematicko-fyzikální

Jana Pekařová

Proč nevidíme infračervené či ultrafialové záření?

Rozhledy matematicko-fyzikální, Vol. 85 (2010), No. 1, 13–16

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/146341>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2010

Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://dml.cz>

Proč nevidíme infračervené či ultrafialové záření?

Jana Pekařová, UHK, Hradec Králové

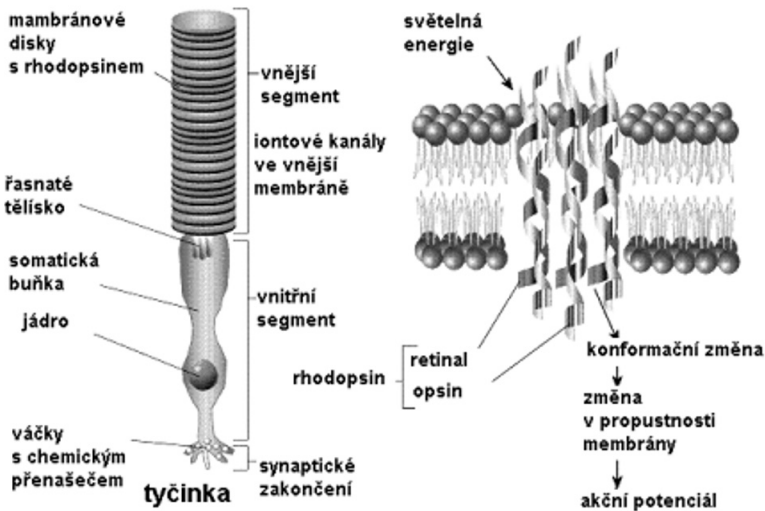
Abstract. The article presents a part of the theory of vision with the use of secondary school microphysics. A simple model explains why a human eye can perceive the electromagnetic radiation of the wave length from 380 nm to 780 nm. The presented material can be used in the teaching of physics to motivate students who are interested in biology. Furthermore, it can help to integrate physics, biology and chemistry in a physics seminar for older secondary school students.

Viditelná oblast spektra slunečního záření je přibližně 380 nm až 780 nm. Proč právě tuto oblast vidíme, lze v hrubých rysech odpovědět pomocí základních poznatků fyziky mikrosvětla, uváděných v gymnaziálních učebnicích [1]. Zrakovými receptory (fotoreceptory) v lidském oku jsou tyčinky a čípky. Tyčinky umožňují vidění černobílé, přičemž se uplatňují zejména za šera a za tmy. Čípky pak při intenzivnějším světle zajišťují vidění barevné. Pro zodpovězení uvedené otázky se budeme věnovat tyčinkám, u čípků pak jde o obdobný princip.

Tyčinky obsahují bílkovinu rhodopsin, pigment citlivý na světlo. Ve tmě se koncentrace rhodopsinu v tyčinkách zvyšuje, dochází k adaptaci na tmu. Rhodopsin vzniká syntézou bezbarvého proteinu opsinu a derivátu vitamínu A, retinalu. Proto je důležitou prevencí proti šerošlosti konzumace potravy, z níž může organismus potřebný vitamín A získat [2]. Rhodopsin je více či méně citlivý na všechny vlnové délky viditelného spektra. Maximum citlivosti se u něj pohybuje kolem 500 nm [3]. Stavbu tyčinky a procesy, které se v ní odehrávají, popsane v následujícím textu, znázorňuje obr. 1.

Čím je vyvolán zrakový vjem? Do oka pronikne foton a způsobí konformační změnu molekuly rhodopsinu, což je zrakový pigment tyčinek. Konformační změna ovlivní klidový potenciál buňky, což vzápětí vytvoří elektrický signál, který je přenášen zrakovými nervy do mozku. V mozku je pak zpracován a vytvořen vlastní obraz pozorovaného předmětu. Základem pro odstartování celého řetězce dějů tedy je, aby molekula rhodopsinu absorbovala foton (a tím mohlo dojít ke konformační změně). Kvantová fyzika vymezuje, při jaké vlnové délce přijímaného elektro-

magnetického záření může k absorpci fotonu dojít. Klade požadavek na energii fotonu.



Obr. 1: Stavba tyčinky a schématické znázornění vzniku akčního potenciálu absorpcí světelného záření retinalovou částí rhodopsinu (podle [4])

Nejprve dochází k absorpci fotonu retinalovou částí rhodopsinu. Přijetí fotonu způsobí změnu konfigurace retinalu a ta pak vyvolá konformační změnu celého proteinu (molekuly rhodopsinu). Retinal si můžeme představit jako jednorozměrnou potenciálovou jámu o šířce L (odpovídající délce uhlíkového řetězce retinalu), v níž je „uvězněn“ elektron [5].

V tomto případě musíme vzít v úvahu, že elektron je kvantovou částicí. Částice, jejíž pohyb je omezen jen na určitou část prostoru, může nabývat jen určitých dovolených hodnot energie, tj. energie je kvantována. Pro možné hodnoty energie v idealizovaném případě platí [1]

$$E_n = \frac{h^2}{8mL^2} n^2, \quad (1)$$

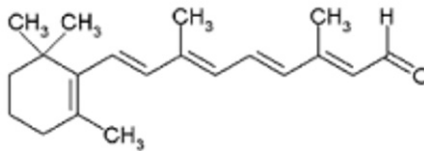
h označuje Planckovu konstantu, m hmotnost částice (v našem případě elektronu) a n je přirozené číslo.

Elektron může získat energii pohlcením fotonu jen tehdy, může-li přitom přejít z jedné hladiny energie na druhou.

Jakou energii musí mít foton, aby mohl být absorbován molekulou rhodopsinu? Pokud řetězec obsahuje N atomů uhlíku, N elektronů v základním stavu zaplní prvních $\frac{N}{2}$ (na každé hladině mohou být jen dva elektrony, neboť pro obsazování hladin platí Pauliho princip) dostupných hladin energie a první neobsazená hladina je $\frac{N}{2} + 1$. Minimální energie potřebná k přechodu elektronu ze základního stavu na první neobsazenou hladinu potom je

$$E = E_{\frac{N}{2}+1} - E_{\frac{N}{2}} = \frac{h^2}{8mL^2} \left[\left(\frac{N}{2} + 1 \right)^2 - \left(\frac{N}{2} \right)^2 \right]. \quad (2)$$

Vyhledáme-li v odborné literatuře či na vhodných internetových stránkách strukturální vzorec retinalu (obr. 2), můžeme do vzorce dosadit vhodné hodnoty. Obdržžený výsledek pak použijeme pro výpočet odpovídající energie.



Obr. 2: Strukturální vzorec retinalu (podle [6])

Ze strukturálního vzorce určíme délku L řetězce. Délka jednoduché vazby mezi uhlíky je 0,15 nm a dvojně 0,13 nm. Vzdálenost uhlíku a kyslíku je 0,12 nm. Sečtením jednotlivých vzdáleností mezi atomy dojdeme k délce řetězce $L = 1,39$ nm.*) Počet N uhlíků v řetězci je 10. Dosadíme do (2) a dostaneme

$$E \doteq \frac{(6,626 \cdot 10^{-34})^2}{8 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (1,39 \cdot 10^{-9})^2} \left[\left(\frac{10}{2} + 1 \right)^2 - \left(\frac{10}{2} \right)^2 \right] \text{ J} \doteq \\ \doteq 3,43 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

*) V řetězci je 5 jednoduchých vazeb o celkové délce $5 \times 0,15$ nm, tj. 0,75 nm. Dvojně vazby mezi uhlíky jsou v řetězci 4, dávající celkem $4 \times 0,13$ nm, tj. 0,52 nm. Dvojnou vazbu mezi uhlíkem a kyslíkem obsahuje řetězec jednu a její délka je 0,12 nm. Délka celého řetězce pak je $(0,75 + 0,52 + 0,12) = 1,39$ nm.

Vlnová délka fotonu s energií E je

$$\lambda = \frac{hc}{E},$$

tedy

$$\lambda \doteq \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{3,43 \cdot 10^{-19}} \text{ nm} \doteq 580 \text{ nm}.$$

Výsledná vlnová délka neodpovídá přesně skutečné vlnové délce, kterou světločivné orgány našeho oka nejlépe absorbují. Připomeňme si, že v literatuře uváděná hodnota maximální spektrální citlivosti tyčinek je v okolí 500 nm. Ovšem nezapomínejme, že jsme k výpočtu použili velmi zjednodušená přiblížení.

Použitá metoda odhadu velikosti vlnové délky záření absorbovaného vizuálním pigmentem je názorná pro pochopení určitých dějů probíhajících v tyčinkách nebo čípcích. K molekule rhodopsinu se mohou připojovat další proteiny. Tím se prodlouží uhlíkový řetězec (zvětší se šířka potenciálové jámy). Jak je vidět z (2), energie přechodu se tím změní. Vlnová délka absorbovaného světla tedy může záviset na tom, zda jsou k molekulám zachycujícím záření připojeny další atomové skupiny. V tyčinkách a čípcích lidského oka však nedochází k vytváření takové chemické struktury, která by zachytila záření z oblastí mimo viditelné světlo (včetně infračervené anebo ultrafialové). Proto vidíme zhruba v intervalu (380 nm, 780 nm).

Literatura

- [1] Štoll, I.: *Fyzika pro gymnázia – fyzika mikrosvěta*. Prometheus, Praha, 1994.
- [2] *Vnímání barev*. www.ped.muni.cz/wphy/publikace/Jancovic1.html.
- [3] Novotný, I., Hruška, M.: *Biologie člověka*. Fortuna, Praha, 1995.
- [4] *Eyes!* <http://cas.bellarmino.edu/tietjen/images/Eyes!.htm>.
- [5] Lecar, H., Nossal, R.: *Molecular and Cell Biophysics*. Addison Wesley, Redwood, 1991.
- [6] Škárka, B., Ferencík, M.: *Biochémiá*. SNTL, Bratislava, 1987.