

---

**Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta**

# **Dílny Heuréky**

# **2022**

Gymnázium Olomouc-Hejčín, 16. – 18. 9. 2022

Dílny Heuréky 2022

Sborník konference projektu Heuréka (Olomouc, 16.9.-18.9.2022)

Editor sborníku: RNDr. Věra Koudelková, Ph.D.

Pro Katedru didaktiky fyziky MFF UK vydalo nakladatelství MatfyzPress v Praze v roce 2023 jako svou 672. Publikaci.

Text neprošel recenzním ani lektorským řízením nakladatelství MatfyzPress.

Nakladatelství MatfyzPress neodpovídá za kvalitu a obsah textu.

Publikace byla vydána pro potřeby účastníků konference a učitelů fyziky zúčastněných v projektu Heuréka.

Všechny příspěvky byly recenzovány, za jejich obsah však zodpovídají autoři.

Projekt Heuréka byl v roce 2022 podpořen v rámci Institucionálního plánu pro MŠMT ČR pro Univerzitu Karlovu a Elixírem do škol, z.ú.

1. vydání

ISBN 978-80-7378-478-2

## Obsah

Obsah.....	3
Úvod: Dílny Heuréky na cestách.....	4
Leoš Dvořák: Simulujeme a kreslíme elektrické obvody.....	6
Martin Gembec: Astronomie ve výuce nejen se Stellariem.....	28
Peter Horváth: Vlastnosti plynů, na hranici s chemií.....	31
Zdeněk Hubáček: Řezačka polystyrenových plátů.....	40
Rita Chalupníková: Lekce s formativním přístupem.....	44
Pavel Jirman: Sluneční hodiny a sluneční kompas.....	51
Věra Koudelková: Skládání barev na mnoho způsobů.....	71
Zdeňka Koupilová: Různé? Stejně! – Hrátky s různými reprezentacemi.....	79
Věra Krajčová: Fyzika potápění.....	85
Čestmír Krejčí: Plechovková fyzika.....	91
Pavla Machová: Kouzla s citrony.....	109
Barbora Mikulecká: Elektrolýza.....	118
Zbyšek Mošna: Výroba žonglovacích míčků a jejich použití v hodinách fyziky.....	132
Václav Pazdera: U-rampa.....	137
Vojtěch Pleskot: Radioaktivita na vlastní oči.....	142
Zdeněk Rakušan: Dřevěná fyzika.....	145
Jitka Soukupová: Optické iluze nejen před a za zrcadlem.....	156
Hana Trhlíková: Výroba periskopu.....	163
Hana Trhlíková: Znázorňování elektrického pole.....	166
Jan Veselý: S Hurvínkem do vesmíru – družicové dílny pro školy.....	170
Helena Vohníková: Bezpečnost při práci s laserovými ukazovátky.....	177

# Bezpečnost při práci s laserovými ukazovátky

Helena Vohníková

Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i. – Centrum HiLASE

Abstrakt

*Laserové ukazovátka je ideální pomůcka pro demonstraci některých optických dějů. Běžně dostupná laserová ukazovátka nemusí být vždy bezpečná kvůli špatným informacím od výrobce. Jaké světelné výkony jsou bezpečné a na co si dát pozor při práci s laserovými ukazovátky je ukázáno v článku.*

## Bezpečnost při práci s laserovými ukazovátky

### Předpisy

Pro práci s lasery platí Nařízení vlády č. 291/2015 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením [1], kde jsou uvedeny maximální přípustné hodnoty ozáření (MPE). Tyto hodnoty vydává Mezinárodní organizace pro neionizující záření International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP).

V nařízení vlády je také uvedeno, jaká opatření musí zaměstnavatel přijmout při práci s lasery.

### Vlastnosti laserového záření

Laserové záření je:

- monochromatické – má obvykle jednu barvu,
- směrové – je málo rozbíhavé, většinou do 1,5 mrad, (to odpovídá zvětšení průměru paprsku o 1,5 mm na každý 1 metr dráhy paprsku)
- koherentní – všechny jednotlivé vlny světla se pohybují společně časem a prostorem, což umožňuje fokusovat laserové záření na extrémně malý bod.

Díky těmto vlastnostem se laserový paprsek může šířit na velké vzdálenosti téměř beze změny a dobře se fokusuje.

### Maximální přípustná dávka ozáření MPE

Maximální přípustná dávka ozáření (MPE) je dávka ozáření, které nemá žádný účinek na lidskou tkáň, tj. nezpůsobí trvalé ani dočasné poškození.

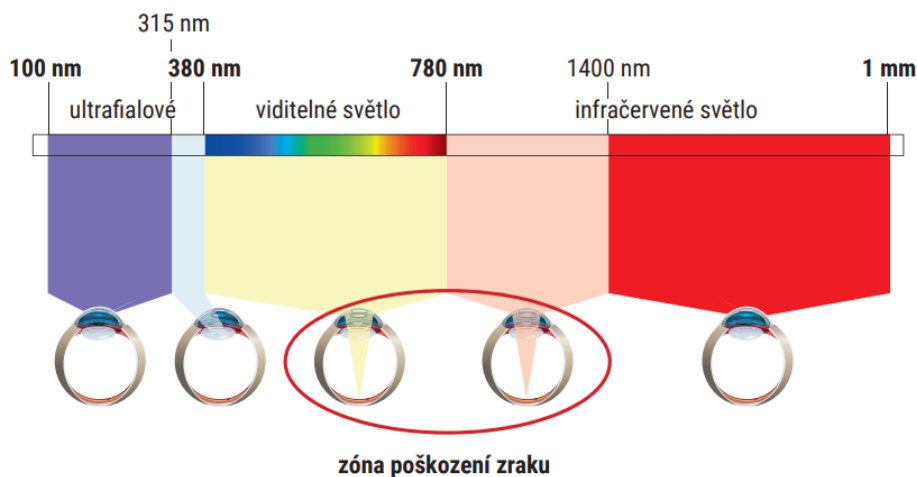
Hodnoty MPE jsou relativně velmi nízké, což je dáno vlastnostmi laserového záření a tím, že hodnoty jsou platné pro celou populaci. (To, že jsme na světlo různě citliví, má asi každý z nás zkušenosti z pobytu na sluníčku.)

Hodnota MPE závisí:

- na druhu tkáně – jestli jsou ohrožené oči nebo kůže,
- na vlnové délce laserového záření,
- na délce trvání ozáření,
- pro oko v rozsahu vlnových délek 380–1400 nm závisí na velikosti obrazu na sítnici.

Hodnota MPE je pro oko  $2,54 \text{ mW/cm}^2$  pro viditelné laserové záření trvající 0,25 s.

Na sítnici však projde nejen viditelné světlo v rozsahu vlnových délek 380–780 nm, ale také blízké infračervené světlo až do 1400 nm, viz obr. 1. I přesto, že záření nevidíme, může způsobit poškození sítnice.



Obr. 1. Absorpce optického záření okem: rohovka 100–315 nm, čočka 315–380 nm, sítnice 380–1400 nm, nad 1400 se světlo opět absorbuje v přední části oka.

Sítnice je navíc v nevýhodě z principu funkce oka a vlastností laserového záření. Uvažujme nejhorší případ, tj. maximální otevření zornice 7 mm, průměr laserového paprsku 7 mm a minimální obraz na sítnici o průměru  $20 \mu\text{m}$ . Z intenzity  $1 \text{ mW/cm}^2$  na vstupu do oka se může stát až  $\sim 100 \text{ W/cm}^2$  dopadající na sítnici!

### Třídy laserů

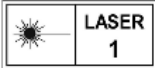







**Lasery se zařazují do tříd v závislosti na potenciálním nebezpečí laserového paprsku,** které daný laser vyzařuje. Nejméně nebezpečná je třída 1, nejvíce nebezpečná je třída 4. Pravidla pro zařazení laserových zařízení do tříd jsou definována normou [2]. Orientační přehled je uveden v tabulce 1.

Zjednodušeně řečeno:

- lasery třídy 1 a třídy 2 jsou bezpečné pro oko,
- lasery třídy 3R jsou sice nebezpečné pro oko, ale ještě nezpůsobí trvalé poškození,
- lasery třídy 3B jsou nebezpečné pro oko, mohou způsobit trvalé poškození zraku a při práci jsou povinné ochranné brýle,
- lasery třídy 4 jsou nebezpečné pro oko i kůži, mohou způsobit trvalé poškození zraku nebo poranění kůže, při práci jsou povinné ochranné brýle a případně další ochranné prostředky v závislosti na vyhodnocení rizik.

**POZOR:** To, že je na výrobku štítek se třídou 1 nebo 2 nebo 3R nemusí znamenat, že vám laser nemůže způsobit poškození zraku! Zelená laserová ukazovátka jsou velmi často špatně označena, navíc jsou nestabilní. S novými bateriemi mohou mít značně větší výkon, než výrobce deklaruje.

Tabulka 1. Orientační přehled tříd laserů.

Třída	Rozsah vlnových délek (nm)	Maximální přístupný výkon	Riziko	Ochrana	Alternativní značení *)
1	180–10 <sup>6</sup>	<MPE	Bezpečné pro oko	-	
1C	180–10 <sup>6</sup>	<MPE	Bezpečné pro oko	-	
1M	302,5–4 000	<MPE	Bezpečné pro holé oko*	Nedívat se do paprsku fokusační optikou	
2	400–700	<MPE <1 mW po dobu 0,25 s	Bezpečné pro oko po dobu kratší než 0,25 s	Mrknutí	
2M	400–700	<MPE <1 mW po dobu 0,25 s	Bezpečné pro holé oko po dobu kratší než 0,25 s	Mrknutí, nedívat se do paprsku fokusační optikou	
3R	180–10 <sup>6</sup>	<5 MPE @ 400-700 nm	Nebezpečné pro oko	Zabránit přímému pohledu do paprsku	
3B	180–10 <sup>6</sup>	<500 mW	Nebezpečné pro oko	Povinné laserové ochranné brýle	
4	180–10 <sup>6</sup>	Bez limitu	Nebezpečné pro oko i pro kůži. Nebezpečný je přímý i difúzně odražený paprsek.	Povinné laserové ochranné brýle	

Pozn.: Holé oko znamená oko bez fokusační optické pomůcky. Za ty se nepovažují dioptrické brýle.



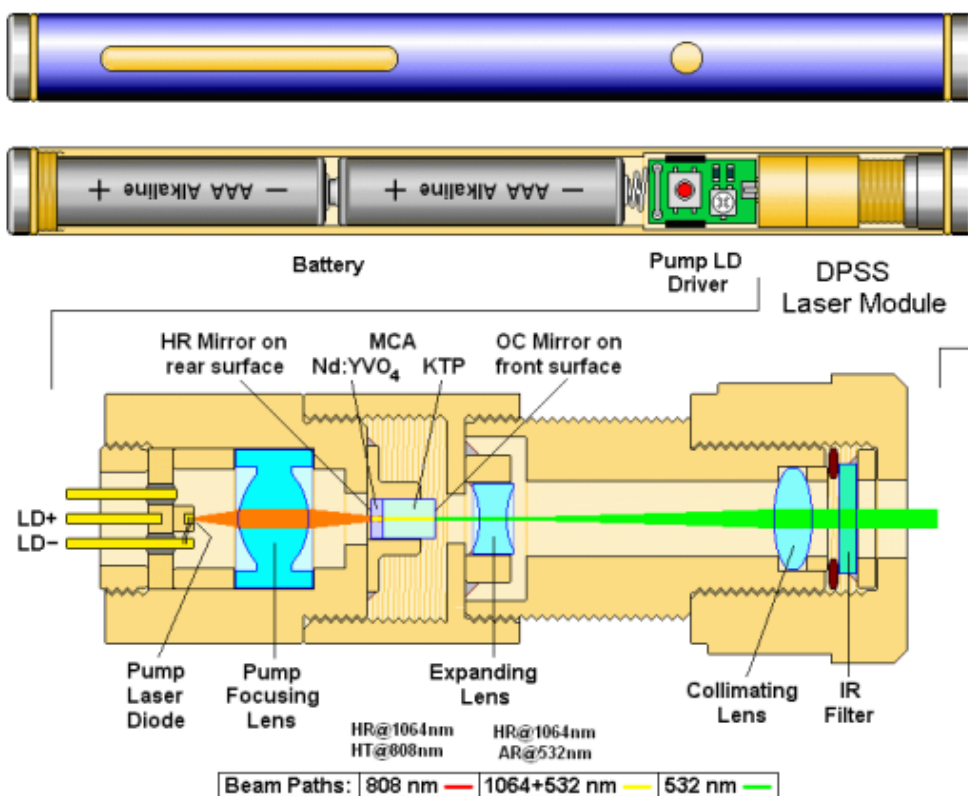
Obr. 2. \*) Další přípustné značení laseru podle normy [2] je umístění varovného štítku pro laserový paprsek a informačního štítku s textem pro danou laserovou třídu, texty viz [2].

## Laserová ukazovátka

Podle normy [3] je laserové ukazovátko ruční laser zamýšlený buď pro zábavní účely, nebo pro upozorňování na předměty a/nebo místa. Podle této normy může být laserové ukazovátko pouze třídy 1 nebo třídy 2 tedy maximálně do 1 mW. Tato norma začala platit v květnu 2022.

Červená a fialová (modrá) ukazovátka mají zabudovanou laserovou diodu, která vyzářuje přímo červený, resp. fialový paprsek.

Zelená laserová ukazovátka jsou komplikovanější (viz obr. 3). Infračervená laserová dioda (808 nm) čerpá krystal Nd:YVO<sub>4</sub> a generuje infračervené laserové záření o vlnové délce 1064 nm. Zelený paprsek vznikne díky nelineárnímu jevu v krystalu KTP, kde dochází ke zdvojení frekvence optického záření neboli zmenšení vlnové délky záření na polovinu, tzn. vlnová délka 1064 nm se změní na 532 nm.



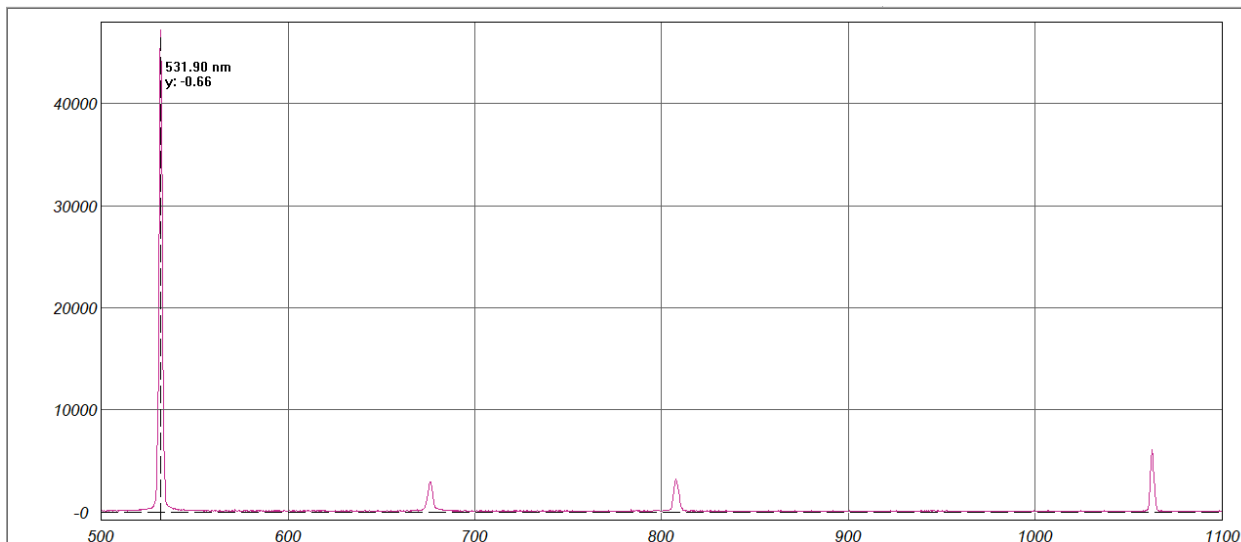
Obr. 3. Běžné uspořádání zeleného laserového ukazovátka, zdroj [5].

Na výstupu z ukazovátka je sice IR filtr, který má odstranit infračervené záření, ale ve skutečnosti neodstraní veškeré infračervené záření. Při měření spektra zeleného ukazovátka běžně naměříme všechny tři vlnové délky 532 nm, 808 nm, 1064 nm, viz obr. 4. Účinky těchto tří vlnových délek se na sítnici sčítají, a tak zelené ukazovátko často nepatří do třídy 3R, jak deklaruje výrobce, ale do třídy 3B, pro kterou jsou povinné ochranné brýle.

Ilustrativní příklad – zelené laserové ukazovátko má výkon 5 mW na 532 nm a zároveň vyzářuje 1 mW na 808 nm a 1 mW na 1064nm, v případě ozáření oka budou buňky sítnice vystaveny výkonu 7 mW. Z pohledu zařazení do třídy se jedná o laser 3B.

Může se dokonce stát, že ukazovátka nesvítí zeleně, ale stále vyzařuje dostatečné infračervené záření k poškození sítnice.

Navíc výkon zelených laserových ukazovátek často závisí na „čerstvosti“ baterií. S novými bateriemi může být výkon mnohem vyšší, než je uvedeno na štítku od výrobce.



Obr. 4. Naměřené spektrum zeleného laserového ukazovátka. Je vidět maximum na 532nm (zelená), maximum na 808 nm a 1064 nm. (Maximum na 676 je asi vyšší řád difrakce na mřížce spektrometru)

### Základní pravidla pro práci s lasery během výuky

Při práci s lasery dodržujte minimálně tato pravidla:

- Nikdy se nedívejte do laserového paprsku, ani paprskem na nikoho nemiřte.
- Používejte lasery do výkonu 1 mW, tj. lasery třídy 1 nebo třídy 2.
- Pokud potřebujete použít výkon do 5 mW na fialové, červené nebo zelené vlnové délce (laser třídy 3R), provádějte pokus v dostatečné vzdálenosti od žáků/studentů, aby nemohli vložit do paprsku odrazný předmět. Dejte pozor, aby se paprsek neodrazil od povrchů, které pro něj budou zrcadlové.
- Upřednostňujte používání červených laserů před zelenými.
- Pokud pro praktikum půjčujete lasery žákům/studentům, pak by tyto měly mít výkon pouze do 1 mW.
- Nepoužívejte lasery třídy 3B nebo třídy 4 (tj. lasery s výkonem nad 5 mW pro modrou, červenou nebo zelenou vlnovou délku). Pro tyto lasery jsou povinné ochranné brýle pro všechny osoby, které se nacházejí v nebezpečné zóně laseru, což pravděpodobně bude celý prostor třídy.
- Pokud přesto potřebujete použít lasery třídy 3B nebo 4, musíte dodržet podmínky stanovené nařízením vlády [1]. Pro další podrobnější pravidla doporučuji normu [4].



## **Literatura**

- [1] Nařízení vlády č. 291/2015 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením. Dostupné online: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-291>
- [2] ČSN EN 60825-1 ed. 3 Bezpečnost laserových zařízení – Část 1: Klasifikace zařízení a požadavky.
- [3] ČSN EN 50689 Bezpečnost laserových produktů – Zvláštní požadavky na spotřební laserové výrobky.
- [4] IEC TR 60825-3:2022 Safety of laser products – Part 3: Guidance for laser displays and shows.
- [5] Galang J., Restelli A., Hagley E.W., Clark Ch.W.: *A Green Laser Pointer Hazard*. NIST Technical Note 1668. USA 2010. Dostupné online: [https://tsapps.nist.gov/publication/get\\_pdf.cfm?pub\\_id=906138](https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=906138)

## **Poděkování**

Tato práce vznikla za podpory programu Strategie AV21 – VP17 Světlo ve službách společnosti.