

## Optika (SŠ)

## Rychlost šíření světla

## Fyzikální princip

Do současné doby bylo k měření rychlosti světla použito více než sto různých metod a rychlost světla byla postupně zpřesňována až na současnou hodnotu. Rychlost světla ve vakuu je přesně

$$c = 299\,792\,458 \frac{\text{m}}{\text{s}}. \quad (1)$$

Při většině školních výpočtů si ovšem vystačíme s přibližnou hodnotou

$$c \approx 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}. \quad (2)$$

Prvním, kdo prokázal konečnou rychlost šíření světla, byl v roce 1675 dánský astronom Olaf Römer, který si všiml rozporu mezi předpovědí a pozorováním zákrytů Jupiterova měsíce Io. Rychlost světla byla určena na  $220\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ . Jeden z dalších experimentů prováděl v roce 1849 francouzský vědec Fizeau, který ke svému pokusu využil ozubené kolo se 720 zuby. Za kolem byl umístěn zdroj světla a 8 km před kolem zrcátko. Při určité frekvenci otáčení kola již světlo neprošlo zpět stejnou mezerou mezi dvěma zuby. Fizeau stanovil rychlost světla na  $313\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ . Další vědci (Michelson, Foucault apod.) se snažili stanovit co nejpřesnější hodnotu rychlosti světla. Po mnoha zpřesňování byla v roce 1983 stanovena přesná hodnota rychlosti světla ve vakuu ( $c = 299\,792\,458 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ).

## Cíl

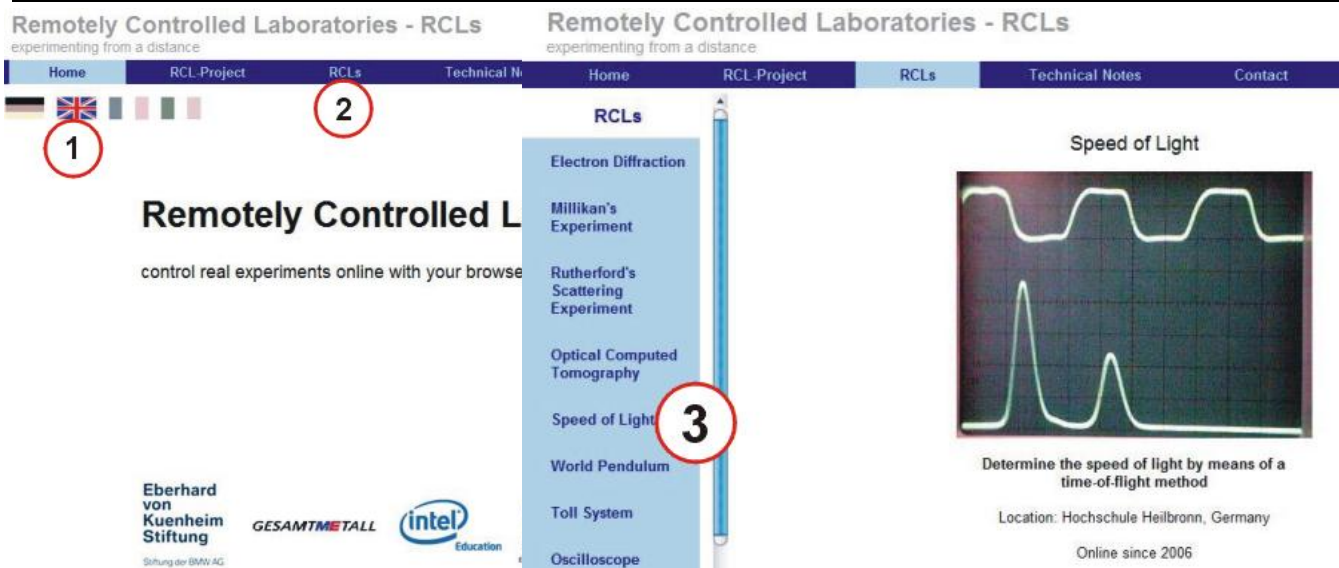
1. Seznámit se s vzdáleně ovládaným experimentem *Rychlost šíření světla*.
2. Experimentálně ověřit hodnotu rychlosti světla.
3. Seznámit se s historickými experimenty, které zpřesňovaly hodnotu rychlosti světla.
4. Vypracovat protokol o měření.

## Pomůcky

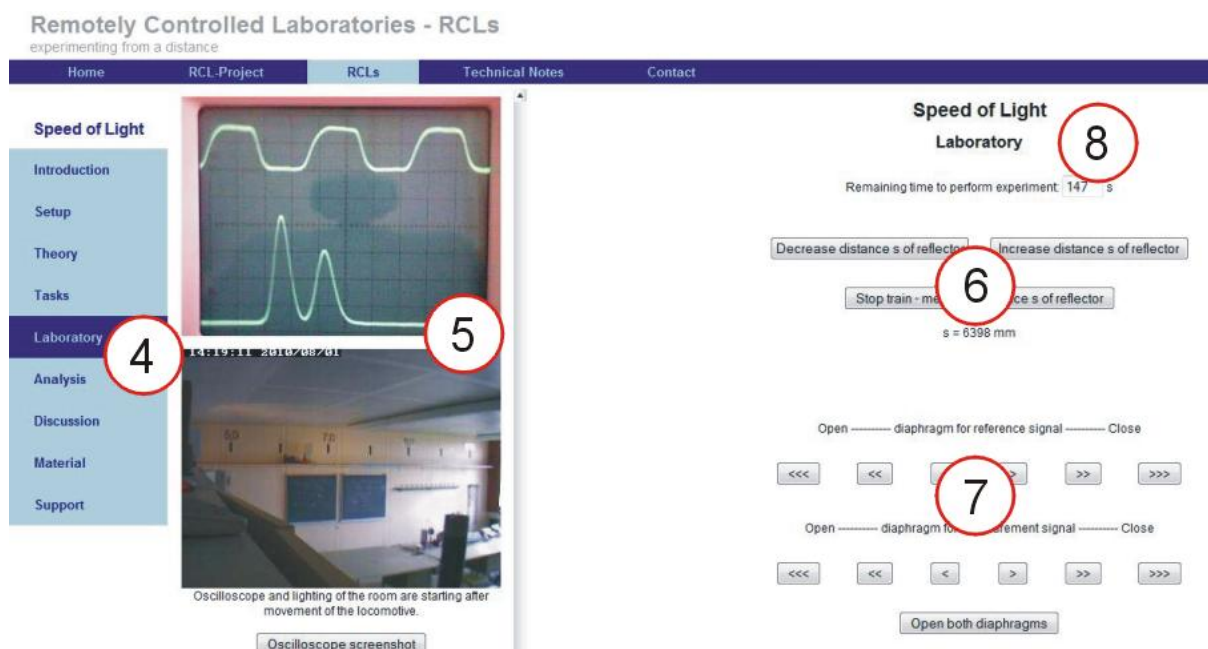
Počítač s připojením na internet.

## Schéma

Na webové stránce <http://rcl.physik.uni-kl.de/> (viz obr. 1) si nejprve vyberte jazykovou mutaci (nejlépe angličtinu; číslo 1) a poté klikněte na nápis "RCLs" v horní modré liště (číslo 2). Na další webové stránce se vám v levé části zobrazí seznam vzdáleně ovládaných experimentů. Klikněte na položku s názvem "Speed of Light" (číslo 3) a otevře se vám nová webová stránka s tímto experimentem (viz obr. 2). Na této stránce si můžete v levém modrém sloupci přečíst o tomto experimentu (teorie, úkoly, analýzy, sestava experimentu apod.). Pokud chcete přejít k měření, musíte kliknout na nápis "Laboratory" (číslo 4). V levé části obrazovky je obraz ze dvou webových kamer (číslo 5). Horní kamera zobrazuje obraz z osciloskopu, dolní kamera zobrazuje celkový pohled do laboratoře. V pravé části webové stránky je možno nastavit vzdálenost zrcadla od zdroje světla (číslo 6) a upravovat další parametry mezi impulzy (číslo 7). V horní části stránky (číslo 8) se odpočítává čas, který ještě máte k provádění experimentu. Maximální čas je 150s. Při jakékoliv aktivitě na stránce se časový limit vždy zpět nastaví na maximální hodnotu.



Obr. 1: Webová stránka, z které lze experiment vzdáleně ovládat.

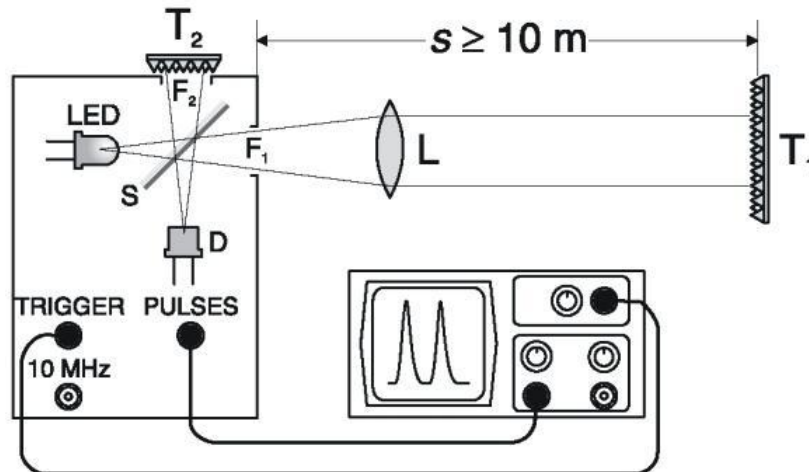


Obr. 2: Webová stránka, z které lze experiment vzdáleně ovládat.

## Postup měření

1. Zapněte počítač a připojte se na internet. Experiment je na webové stránce <http://rcl.physik.uni-kl.de/> (viz obr. 1-2).
2. Pokud by se na této webové stránce vyskytly chyby, vyzkoušejte tento experiment v jiném webovém prohlížeči.
3. K vyhodnocení experimentu bude potřeba speciální program, který je schopen změřit vzdálenosti pixelů (bodů) na obrazovce počítače. Můžete zvolit např. program JR Screen Ruler, který lze stáhnout z adresy <http://www.spadixbd.com/freetools/jruler.htm>. Velikost tohoto programu zabírá pouze 494 kb a stáhnete jej za méně než 10 s. Program je zdarma.
4. Pokud je vše v pořádku lze přejít k měření. Nejprve se seznámte s ovládáním experimentu a proveďte jedno zkušební měření, kde se seznámíte s funkcemi jednotlivých tlačítek (Decrease distance s of reflector, Stop train apod.).

- Na webové stránce, kde se experiment ovládá, klikněte buď na tlačítko "Decrease distance  $s$  of reflector" nebo na tlačítko "Increase distance  $s$  of reflector". Na dolní webové kameře uvidíte vozíček s upevněným zrcátkem, který se bude buď přibližovat, nebo oddalovat od zdroje světla. V libovolném okamžiku klikněte na tlačítko "Stop train". Vozíček se zastaví a pod tímto tlačítkem se zobrazí vzdálenost  $s$  mezi zrcadlem a zdrojem. Tuto hodnotu si zapište do tab. 1.
- Na horním obrazu z webové kamery vidíte v horní části "kalibrační signál". Tento signál pomáhá k výpočtu periody měřeného paprsku mezi zrcadlem a zdrojem světla. Frekvence tohoto "kalibračního signálu" je **10 MHz**. V dolní části tohoto obrazu se nachází náš měřený signál. Tento signál se skládá ze dvou píků. Na obrázku jsou dva píky, protože se paprsek rozštěpí a odráží se od dvou různých zrcadel (viz obr. 4). Naším úkolem je právě změřit časové zpoždění mezi jednotlivými paprsky.



Obr. 4: Sestava experimentu, převzato z [4].

- Pomocí "šipek", které jsou v pravém dolním rohu obrazovky (viz číslo 7 v obr. 2), upravte měřený signál s dvěma píky do podoby, aby výška těchto dvou píků byla stejná. Poté si otevřete stažený program JR Screen Ruler a změřte, jaké vzdálenosti na pravítku odpovídá perioda "kalibračního (horního) signálu". Poté pomocí tohoto pravítka změřte periodu spodního signálu, neboli změřte vzdálenost mezi maximy dvou píků. Naměřené hodnoty si zapisujte do tabulky 1 a dopočítejte (např. pomocí trojčlenky) periodu měřeného (spodního) signálu.
- Rychlost světla vypočítejte ze známého vzorce  $c = \frac{2s}{t}$ , kde v čitateli je hodnota  $2s$ , protože paprsek musí urazit dráhu od zdroje světla k zrcadlu a zpět a čas  $t$  odpovídá jedné periodě měřeného (spodního) signálu.

Tab. 1

dráha $s$ [m]	$2s$ [m]	kalibrační (horní) signál			(spodní) signál		$c = \frac{2s}{t}$ [ $\frac{m}{s}$ ]
		pixely [px]	frekvence $f$ [MHz]	perioda $T = \frac{1}{f}$ [s]	pixely [px]	perioda [s]	
			10				
			10				
			10				
			10				

- Body 5-8 ještě 4krát zopakujte. Zvolte si jiné vzdálenosti zrcadla od zdroje světla. Výsledky měření zapisujte do tabulky. Celkem tedy budete mít vypočtenou hodnotu rychlosti světla pro

---

5 různých vzdáleností. Z těchto pěti výsledných hodnot vypočítejte průměrnou hodnotu rychlosti světla pro vaše měření.

10. Vypracujte protokol o měření, který má standardní části: Úvod, Teoretická část, Experimentální část (naměřená data, grafy, výpočty a tabulky), Závěr a Zhodnocení měření.

### Doplňující otázky

1. Jaká je rychlost světla ve vodě nebo ve skle? Podle jakého vztahu lze určit rychlost světla v různých prostředích?
2. Jaký je rozdíl mezi rychlostí světla ve vakuu a rychlostí světla ve vzduchu?
3. Popište jeden z prvních pokusů změřit rychlost světla, který v 17. století provedl Galileo Galilei? Proč byl tento pokus neúspěšný?
4. Jak dlouho trvá světelnému paprsku, než dorazí ze Slunce na povrch Země? Vypočítejte ze znalosti rychlosti světla a průměrné vzdálenosti mezi Zemí a Sluncem.
5. Pokuste se provést podobný experiment v laboratoři nebo ve třídě. Jaké pomůcky budete k tomuto pokusu potřebovat?

### Použitá literatura

- [1] Lepil, O.: *Fyzika pro gymnázia. Optika*. Prometheus Praha, 2002.
- [2] Reichl, J.: *Encyklopedie fyziky*. [on-line] [cit. 2010-11-10]. Dostupné z <http://fyzika.jreichl.com/>.
- [3] Kaizr, V.: *Měření rychlosti šíření světla*. [on-line] [cit. 2010-11-20]. ALDEBARAN BULLETIN. Dostupné z [http://www.aldebaran.cz/bulletin/2004\\_s1.html](http://www.aldebaran.cz/bulletin/2004_s1.html).
- [4] <http://rcl.physik.uni-kl.de/>. [on-line] [cit. 2010-11-21].