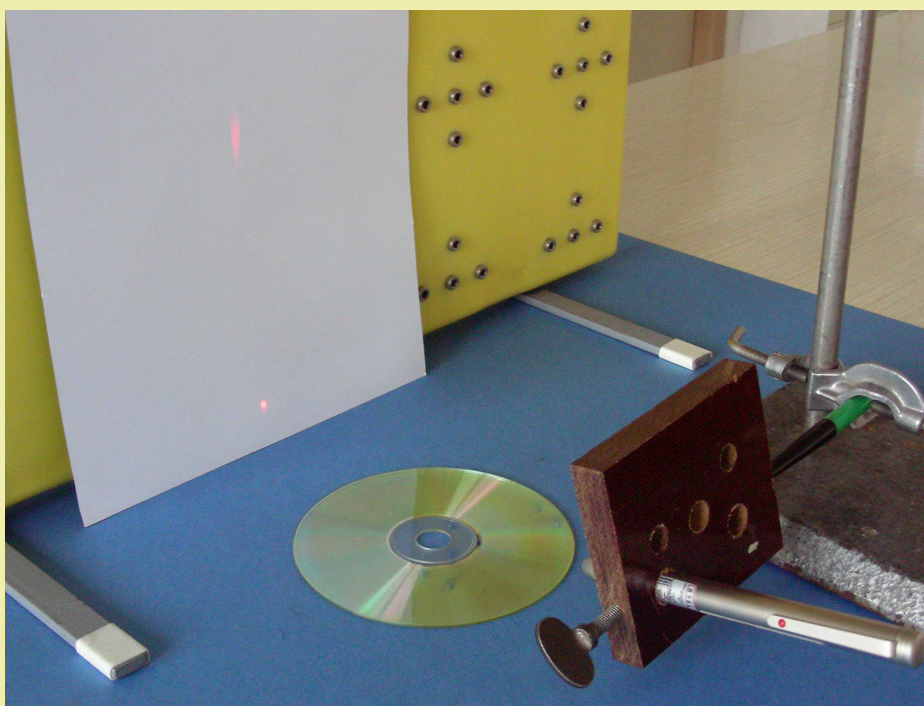


Nové cesty k přírodovědnému a technickému vzdělání

Laser ve fyzice, chemii, zeměpisu a ICT



Závěrečná práce Gymnázia, Pardubice, Dašická 1083

**RNDr. Vladimír Vícha, Ing. Jitka Svobodová,
Mgr. Marie Poštová, PaedDr. Josef Svoboda**

Malá Skála 15. – 16. 6. 2007

Obsah

Fyzikální principy laseru (aplety)

Laser v ICT

Laser v zeměpisu

Laser v chemii

Laserové operace oka

Experimenty s laserovým ukazovátkem

Exkurze do badatelského centra PALS

Úlohy k exkurzi

Test lasery

Řešení testu

Fyzikální principy laseru

Bohrův model atomu:

<http://www.colorado.edu/physics/2000/quantumzone/bohr.html>

Absorpce a spontánní emise:

<http://www.colorado.edu/physics/2000/lasers/lasers2.html>

Optické buzení:

<http://www.colorado.edu/physics/2000/lasers/lasers3.html>

Rezonátor:

<http://www.colorado.edu/physics/2000/lasers/lasers4.html>

Tříhladinový laser:

http://ww2.unime.it/weblab/ita/laser/laser_ita.htm

Argon-iontový laser:

<http://www.olympusmicro.com/primer/java/lasers/argonionlaser/index.html>

Porovnání světla různých zdrojů:

<http://www.colorado.edu/physics/2000/lasers/index.html>

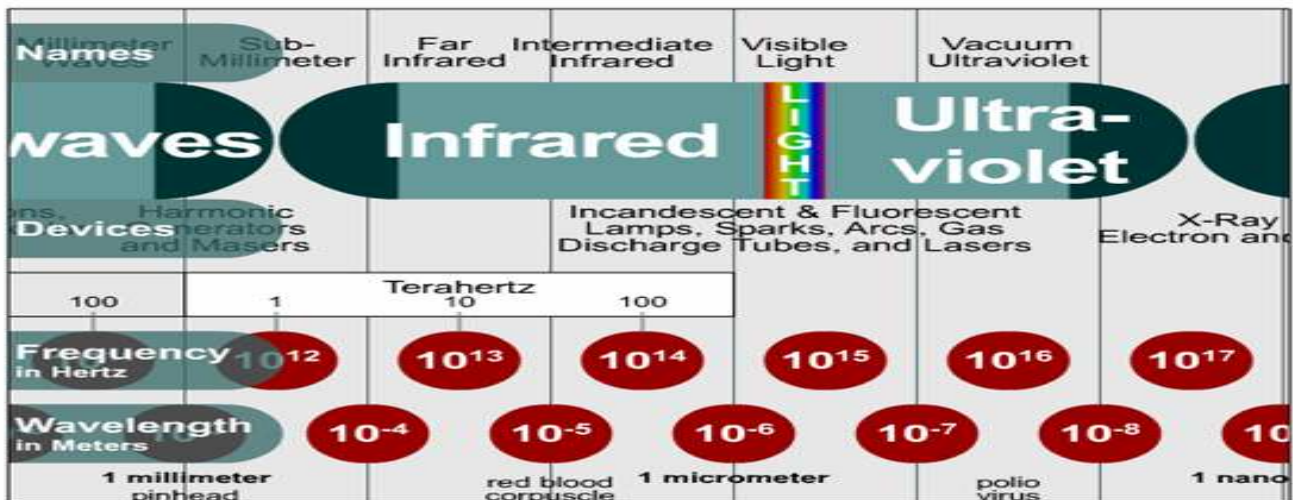
LASER v ICT

Záření pro optické kabely

Vybrané vlnové délky pro záření v optických kabelech :

850 nm červená
1310 nm infračervené
1510 nm infračervené

Tyto vlnové délky se přenáší lépe než ostatní.

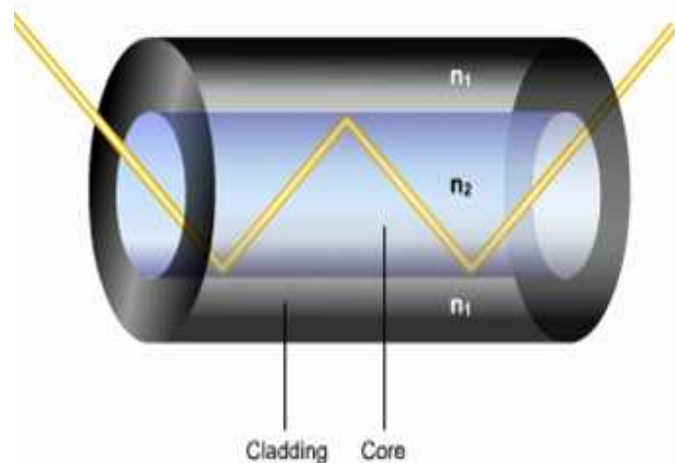


Úplný vnitřní odraz

Světelný paprsek (nosič informace v optickém kabelu) musí zůstat uvnitř kabelu – nesmí se lomit (= ztráta energie) na materiálu obalujícím optické vlákno.

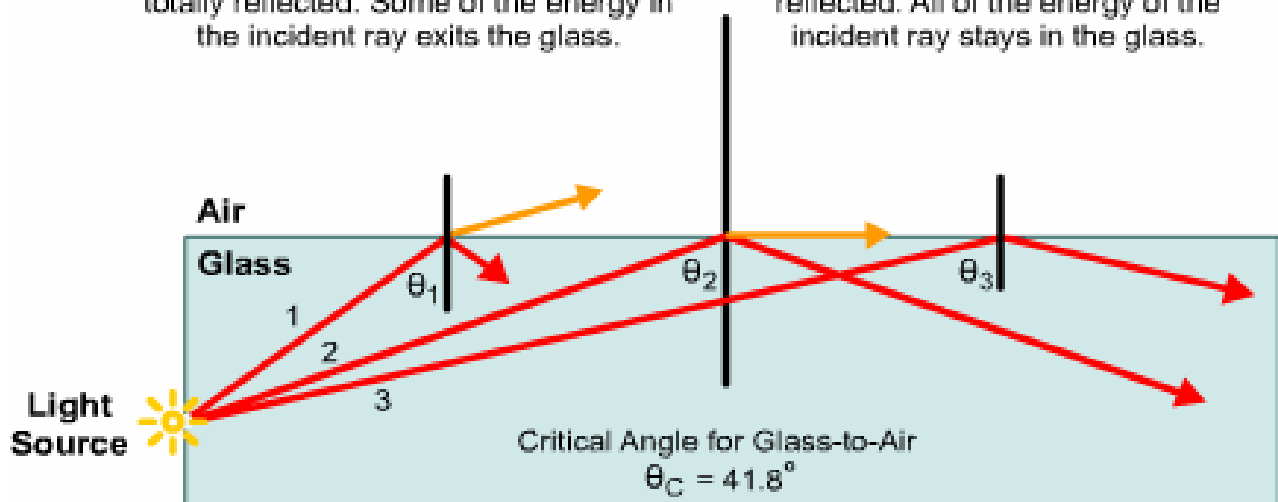
Dvě podmínky :

- Jádru musí mít větší index lomu než obalující materiál (plášť – cladding)
- Úhel dopadu paprsku je větší než mezní úhel pro jádro a jeho obalení



Light incident at any angle smaller than or equal to the critical angle is not totally reflected. Some of the energy in the incident ray exits the glass.

Light incident at any angle greater than the critical angle is totally reflected. All of the energy of the incident ray stays in the glass.

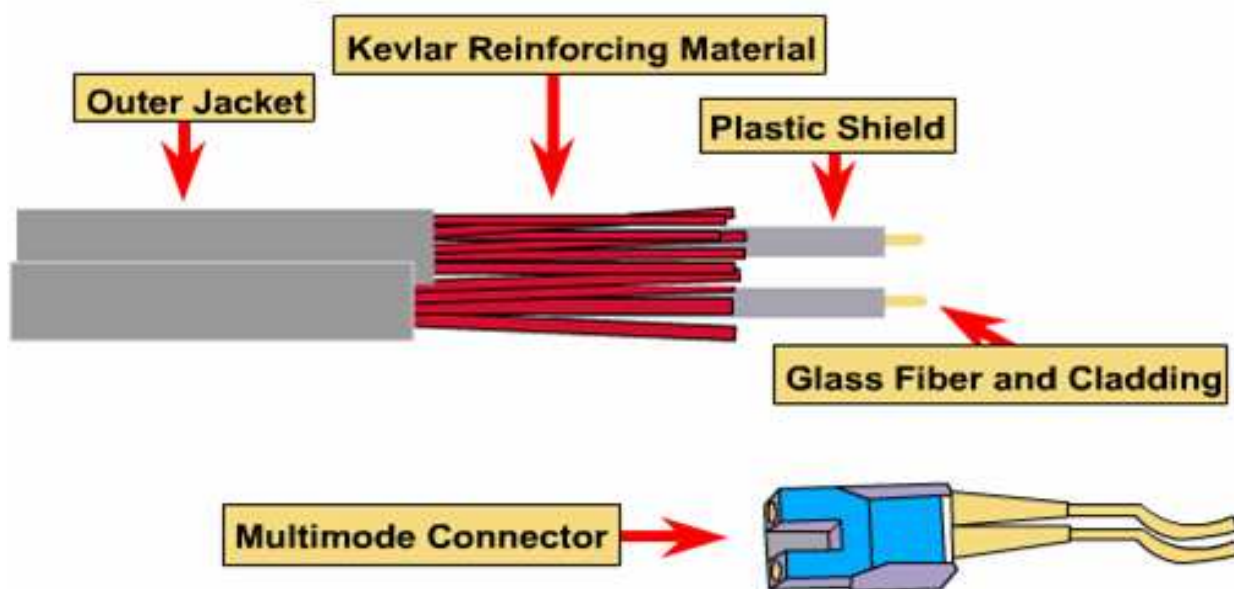


Ray 1: $\theta_1 < \theta_C$, so ray reflects and refracts

Ray 2: $\theta_2 = \theta_C$, so ray reflects and refracts

Ray 3: $\theta_3 > \theta_C$, so ray is totally internally reflected

Optický kabel



Propustnost : 100 Mb/s – 10 Gb/s

Drahý

Délka kabelu : nad 2 000 m

El. signály jsou převáděny laserem nebo LED na světelné.

Průsvitné vlákno (skleněné nebo plastové) velmi tenké = jádro (core), kolem plastový obal (cladding).

Má dva kabely vedle sebe – jeden pro příchozí data, druhý pro odchozí. Odolný proti rušení. Pro venkovní použití.

2 typy : singlemode – jednovidový – vzdálenost 50 km, laser
multimode – mnohovidový – vzdálenost 2 km, LED

LASER V ZEMĚPISU

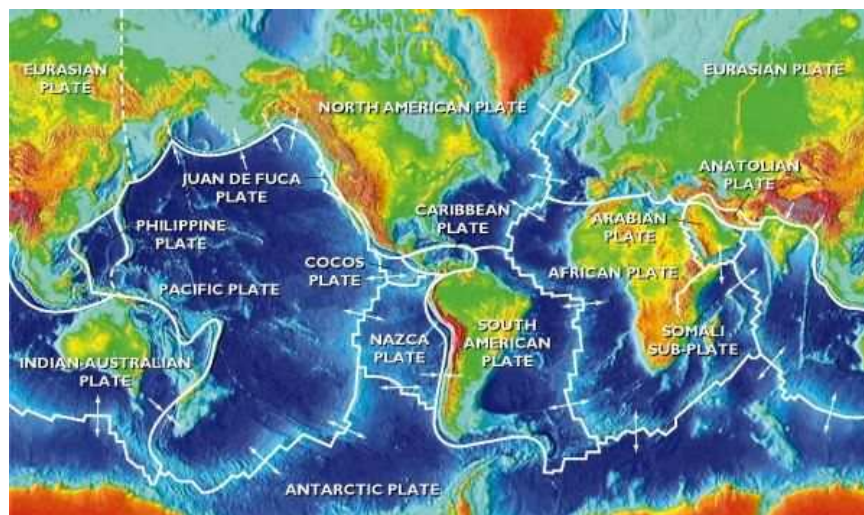
Meteorologie a ekologie

Používají se laserové radary, tzv. LIDARY. Měří se jimi výška oblačnosti nebo proudění vzduchu a turbulence v atmosféře. Určí i rozložení a směr pohybu kouřových a znečišťujících látek v ovzduší. Využívá se skutečnost, že laserový paprsek se částečně odráží a částečně rozptyluje na částicích obsažených v ovzduší.



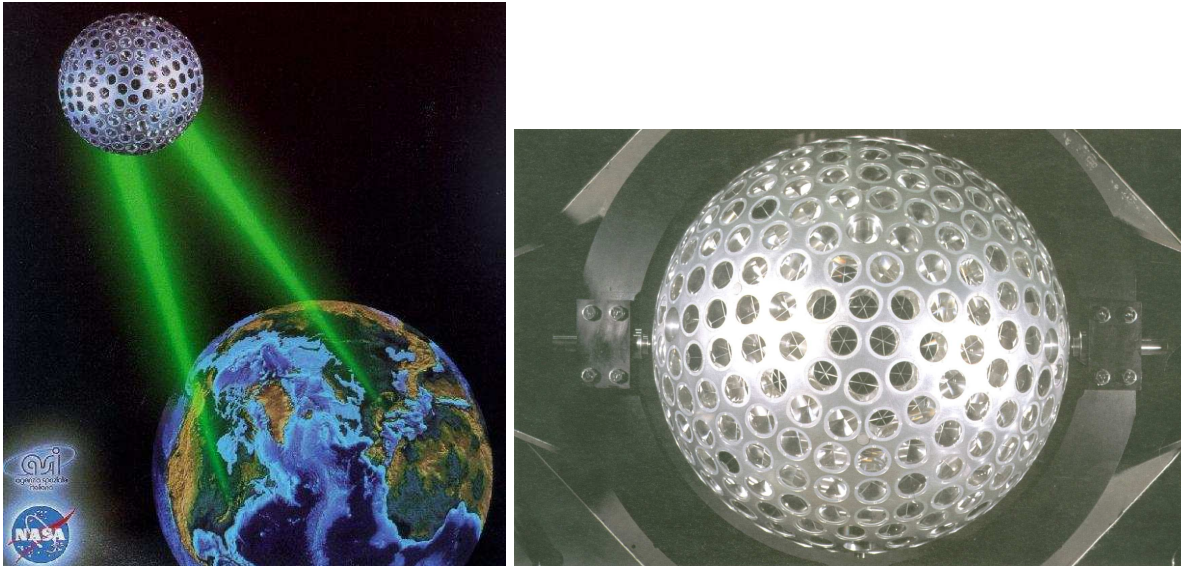
Geofyzika

Laserová měření vzdáleností družic umožňuje s velikou přesností určit vzdálenosti mezi pozorovacími stanicemi, vybavenými speciálními teleskopy. Nejblíže ČR má takovéto zařízení observatoř Wetzell v Bavorsku. Tato měření umožňují přesně určit rychlost vzájemného pohybu litosférických desek.

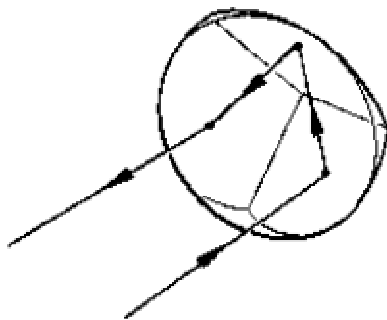


Astronomie

Laser umožňuje s milimetrovou přesností určit vzdálenost těles, na kterých jsou umístěny speciální retroreflektory (koutové odražeče). Například vzdálenost a přesnou polohu družic.



Koutový odražeč vrací laserový paprsek přesně do směru, ze kterého přišel. Každý určitě zná odrazové sklíčko jízdního kola.



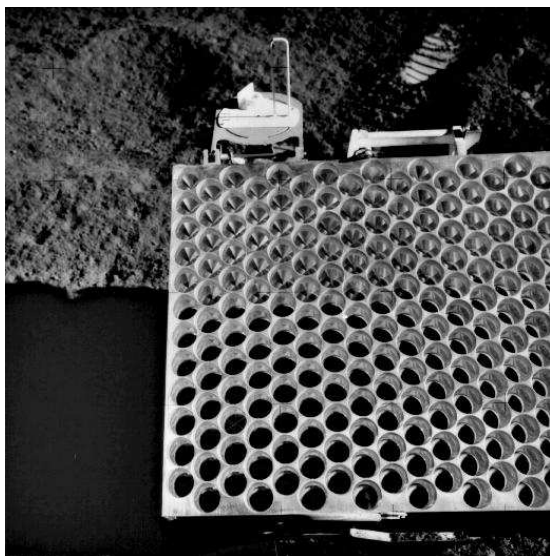
Měření vzdálenosti Měsíce pomocí laseru

Přesná měření byla možná až po umístění koutových odražečů na Měsíci.

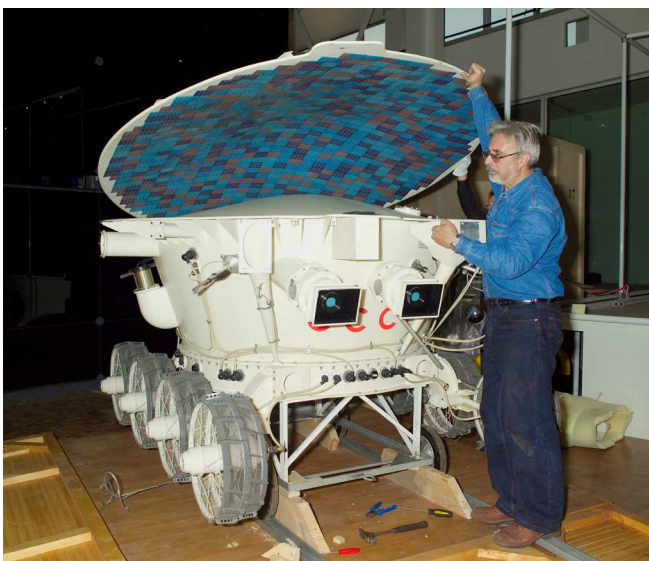
První zde umístila posádka Apolla 11 v roce 1969 (obr. č. 1). Druhý sem dopravila v roce 1970 sovětská mise Luna 17. Odražeč francouzské výroby byl umístěn na vozítku Lunochod 1 (obr. č. 2). O rok později přibýly dva americké odražeče. První umístila posádka Apolla 14 (obr. č. 3), druhý byl na měsíčním vozítku výpravy

Apolla 15 (obr. č. 4). Od roku 1973 je na Měsíci druhý francouzský odrážec na Lunochodu 2.

Obr. č. 1



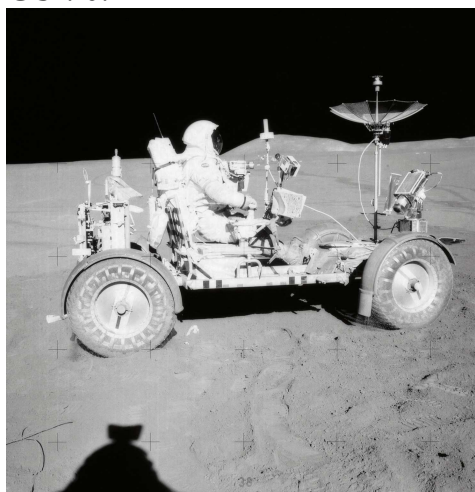
Obr. č. 2



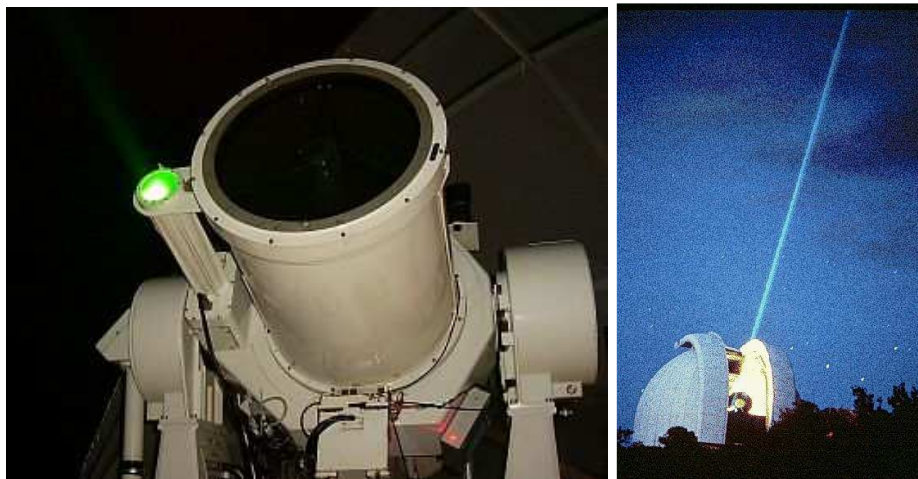
Obr. č. 3



Obr. č. 4

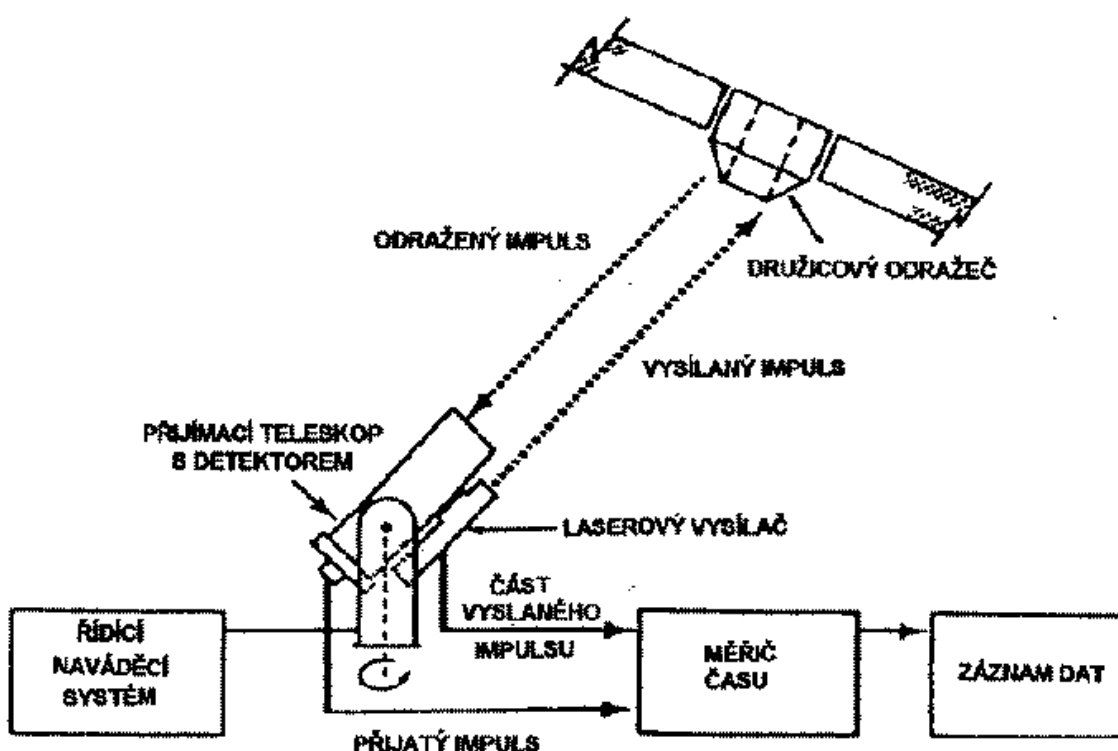


Koutové odrážec na Měsíci zatím využilo k měření vzdálenosti Měsíce jedenáct observatoří v pěti státech (USA, Rusko, Japonsko, Francie, Německo-observatoř Wetzell leží nedaleko hranic s ČR). K měření slouží speciální teleskopy (obr. č. 5 a 6).



Obr. č. 5 a 6

Princip měření vzdálenosti



V průběhu měření se zlepšovala přesnost měření. V roce 1969 dosahovala přesnost měření 40 cm, ale v roce 1985 už 18 cm. Současná měření dovolují určit vzdálenost Měsíce od Země na neuvěřitelných 5 mm.

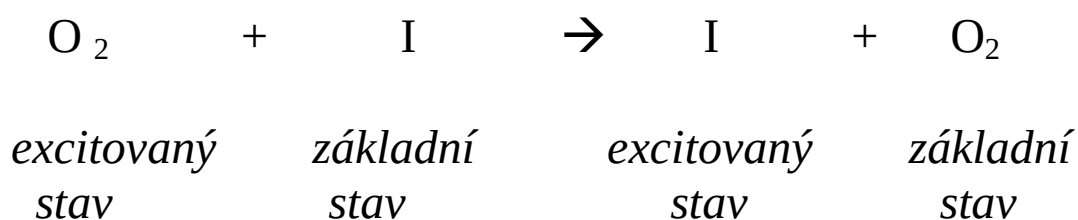
LASER V CHEMII

CHEMICKÉ LASERY - plynové lasery s velmi účinnou přeměnou primární chemické energie v energii koherentního laserového záření.

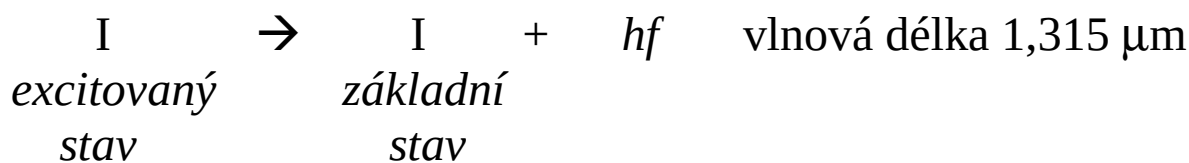
COIL – chemický kyslíko-jodový laser

- V samostatném zařízení je připraven v elektronově excitovaném stavu molekulární kyslík
- $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{KOH} \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{KCl}$

O_2 má dobu života asi 70 min. Je smíchán s $\text{I}_2(\text{g})$, který disociuje na atomy a pomocí srážek s kyslíkem je excitován.



V optickém rezonátoru pak probíhá stimulovaná emise excitovaných atomů jodu.



Přednosti systému COIL

- Vysoká účinnost - až 40%
- Krátká vlnová délka =>přenos laserového svazku běžným Si vláknem až na 20 m a lepší absorpce kovovými materiály

Nevýhody

- náročná obsluha-nebezpečné chemikálie

Potenciální využití

- Demontáže a likvidace kontaminovaných jaderných reaktorů a nebezpečných chemických provozů
- Řezání silných kovových plátů v lodářství
- V kamenolomech - při těžbě
- Těžba ropy z mořského dna
- Vyvíjené MW systémy COIL pro Airborne Laser – protiraketový systém nesený speciálním Boingem 727- 400
- Výzkum: USA, Německo, Japonsko, Rusko, Jižní Korea, Čína, Indie, v České republice ve Fyzikálním ústavu AV v Praze

Laserové operace oka

Klinika oční a estetické chirurgie Zlín:

<http://www.klinikazlin.cz>

V kapitole „Aplikace – Medicína“ se popisuje použití laseru k operacím.

V kapitole „Jak probíhá operace“ je možné si vybrat, která technika laserové oční operace vás zajímá: EPI-LASIK, LASIK, PRN

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Oko>

V kapitole „Laserová operace na videu“ si lze stáhnout prezentační video.

METODA EPI - LASIC

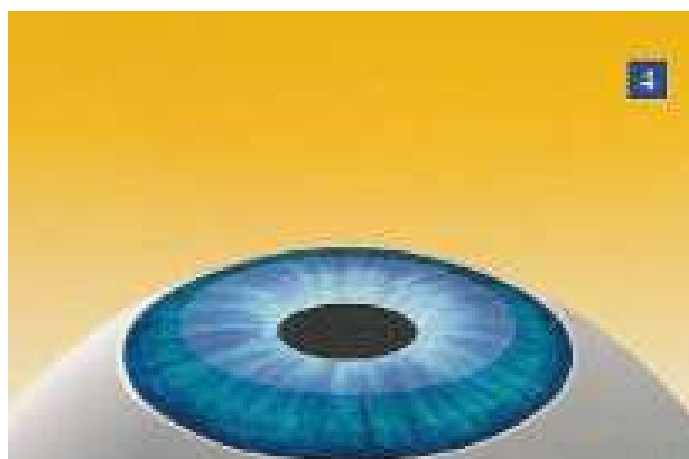
Anestetické kapky zajišťují bezbolestnost operace.

Epitel rohovky je odstraněn pomocí mikrokeratomu. Obnoví se během několika dní.



Během několika sekund laser odstraní tkáň z rohovky.

Oko je do kontroly překryto kontaktní čočkou



Experimenty s laserovým ukazovátkem

1. Průchod laserového paprsku skleněným hranolem

Pomůcky: laserové ukazovátko, optický hranol s úhly 45° , 45° , 90° .

Sviťte na hranol z různých směrů. Přijďte na to, jak je třeba na hranol svítit, aby:

- a) paprsek, který prošel hranolem byl kolmý na paprsek původní?
- b) paprsek se vrátil rovnoběžně s paprskem dopadajícím?

Jaký fyzikální jev nastává? Nakreslete obě řešení. Víte, kde se změna chodu paprsku využívá?

2. Snímání malých deformací

Pomůcky: laserové ukazovátko, zrcátko, svinovací metr

Namiřte paprsek laserového ukazovátka šikmo na zrcátko a najděte stopu odraženého paprsku na stěně vzdálené alespoň 2 m. Nepatrně nadzdvihněte zrcátko otočením šroubu o půl závitu (0,4 mm) a změřte, o kolik se posunula stopa na stěně. K čemu by se tato metoda dala využít?

3. Průchod laserového paprsku zakaleným prostředím

Pomůcky: laserové ukazovátko, sklenice, voda, mléko

Nechte procházet laserový paprsek čistou vodou a prohlédněte si pokus z různých stran. Pak do vody přimíchejte trochu mléka a znovu si pokus prohlédněte. Jak se vzhled změnil? Co pokus demonstruje?

4. Průchod laserového paprsku sklenicí s vodou

Pomůcky: laserové ukazovátko, sklenice, voda

Vezměte čistou sklenici tvaru válce a naplňte ji asi do poloviny vodou. Posviťte laserem kolmo na její rotační osu. Jednou sviťte nad hladinou vody a jednou pod hladinou skrz vodu. Porovnejte stopu laseru po průchodu sklenicí.

Dokážete jev vysvětlit? Víte k čemu se uvedený jev využívá?

5. Úplný odraz na vodní hladině

Pomůcky: laserové ukazovátko, sklenice, voda, mléko

Do sklenice s vodou rozmíchejte nepatrně mléka. Sviťte zešikma zdola na hladinu pod různými úhly a pozorujte trajektorii paprsku ve sklenici. Co pozorujete?

6. Optický kabel

Pomůcky: LED v upravené lahvi, 2 monočlánky, voda, laserové ukazovátko, optický kabel

Rozsvítíme LED a nalijeme do lahve vodu. Pozorujeme vytékání vodního paprsku a stopu dopadu (třeba v umývadle). Jde o model světlovodného kabelu. Pokus následně vyzkoušíme s optickým kabelem. Můžeme měnit zakřivení kabelu.

7. Divergence laseru

Pomůcky: laserové ukazovátko, pásma, pravítko

Laser vytváří úzký, málo rozbíhavý paprsek světla. Říkáme, že paprsek je málo divergentní. Změřte potřebné veličiny a vypočtěte úhel divergence. Stopu dopadu měřte na místech vzdálených nejméně 10 m. Vypočtěte průměr světelného svazku ve vzdálenosti 100 m.

8. Určení vlnové délky laseru

Pomůcky: laserové ukazovátko, optická mřížka na průchod, svinovací metr

Posviťte laserem přes optickou mřížku o známé hustotě šěrbin a dostanete na stínítku vzdáleném 1 – 2 m interferenční obraz. Změřte potřebné vzdálenosti a s použitím známé hustoty mřížky vypočtěte vlnovou délku použitého laseru. Proč nevidíte na papíře barevné spektrum?

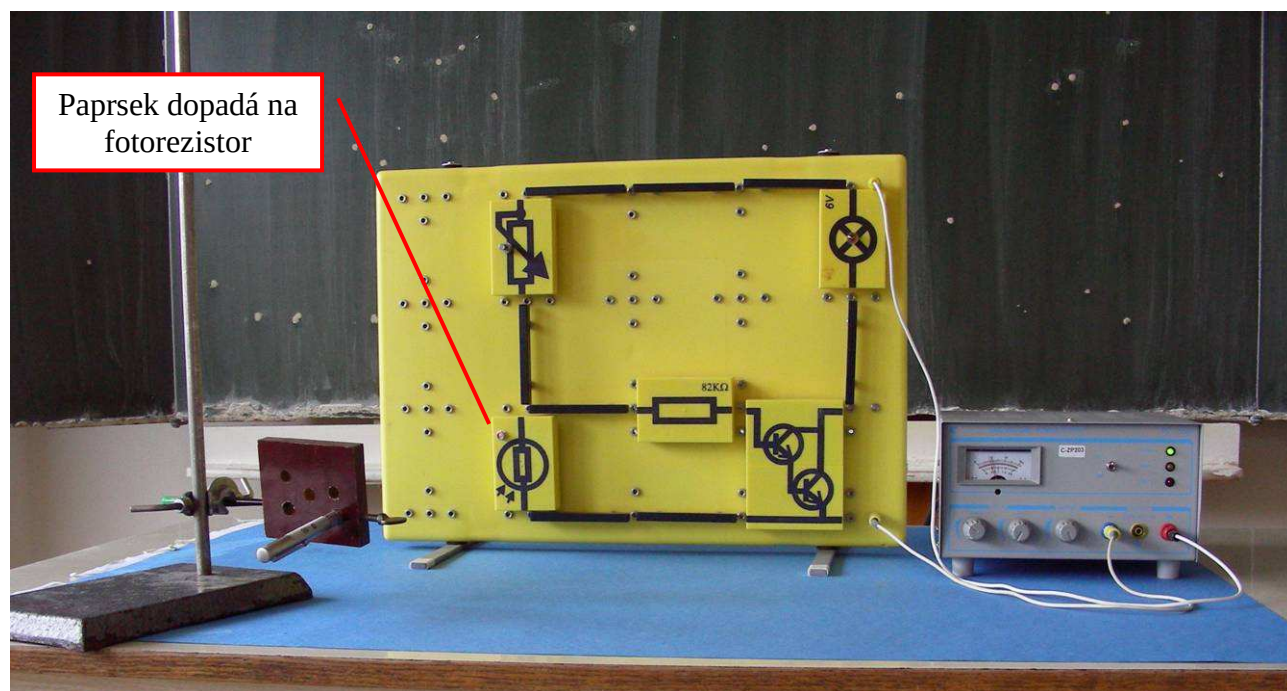
9. Hustota optické stopy na CD

Pomůcky: laserové ukazovátko, CD, délkové měřidlo

Předpokládejme, že již známe vlnovou délku laseru. Posviťte šikmo na vodorovné CD a na svislém papíře odměřte polohu maxima 0. řádu a maxima 1. řádu. Optická stopa (spirála) na CD tady funguje jako optická mřížka na odraz. Vypočtete hustotu optické stopy a vzdálenost sousedních „drážek“.

10. Optická závora s poplachem.

Pozorujte pokus a pokuste se pochopit, jak zabezpečovací zařízení funguje.



11. Snímání chvění, signalizace znečištění ovzduší

Pozorujte, jak se chová poplašná žárovka při otřesu stolu s laserem.

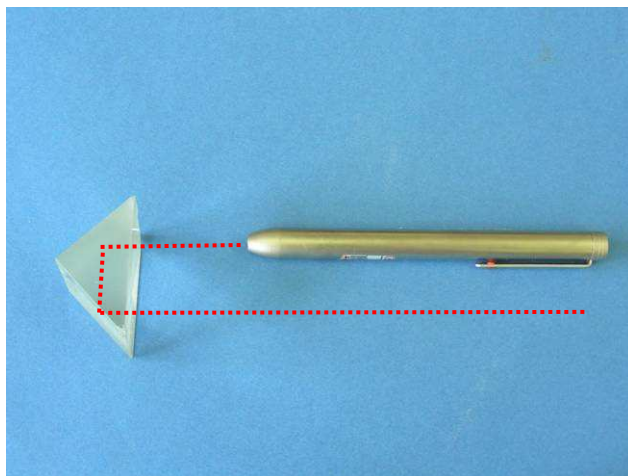
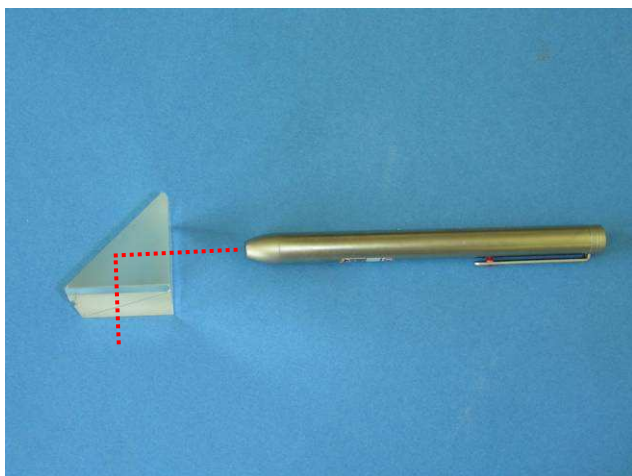
Pozorujte, jak se chová poplašná žárovka při vniknutí plynu (NO_2) do cesty paprsku.

Naleznete využití?

Řešení experimentů:

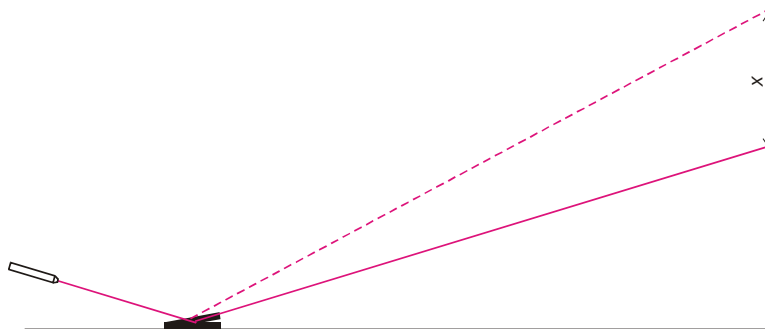
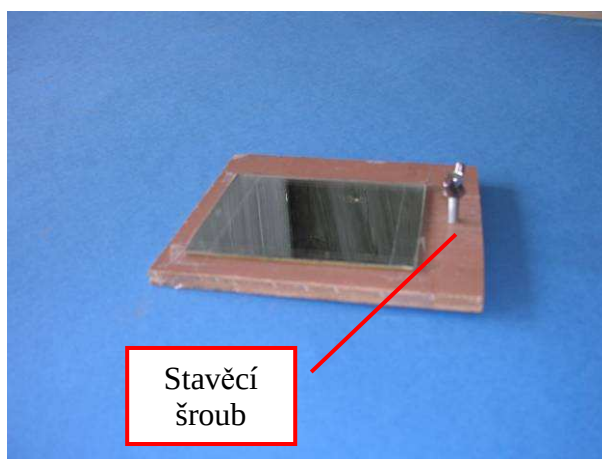
1. Průchod laserového paprsku skleněným hranolem

Nastává úplný odraz. V úhlu a) nastane jednou a v úhlu b) dvakrát



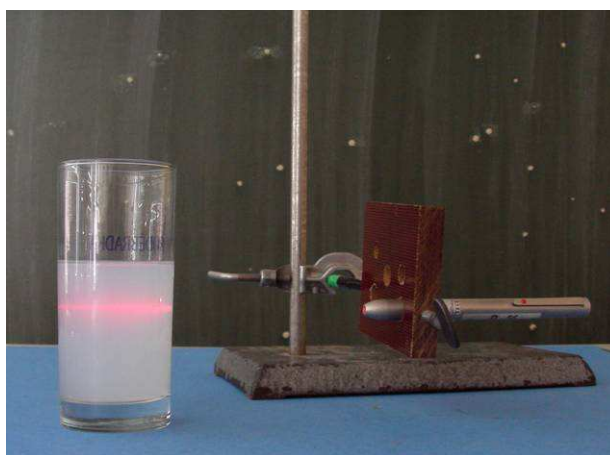
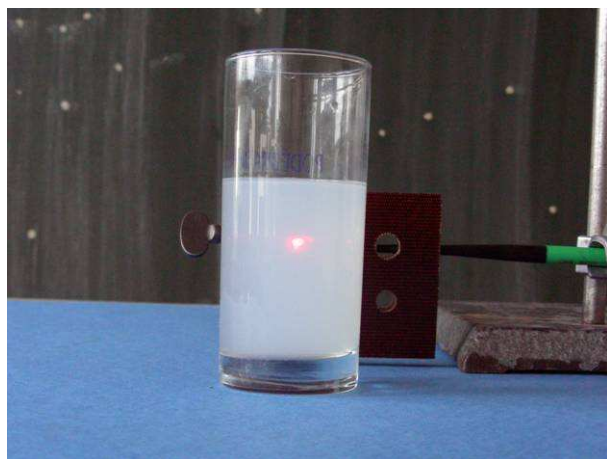
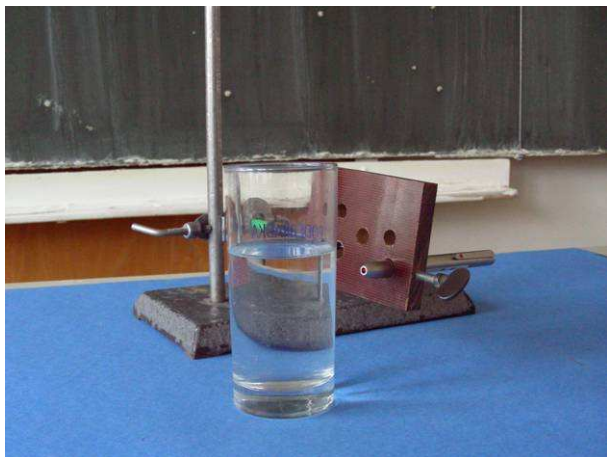
Využívá se při vytyčování v geodézii, v triedru, jako koutový odrážec k obrácení chodu paprsku při měření vzdálenosti .

2. Snímání malých deformací



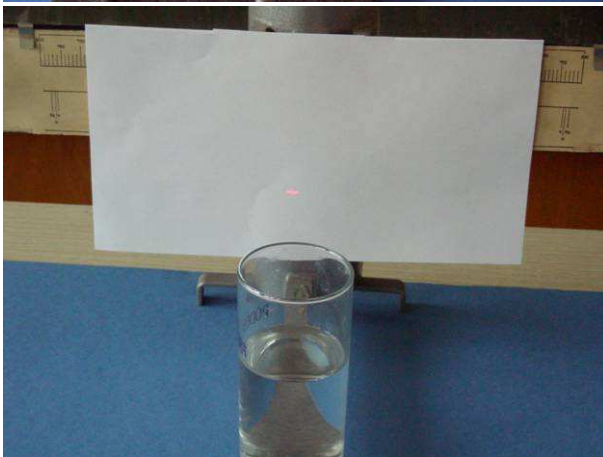
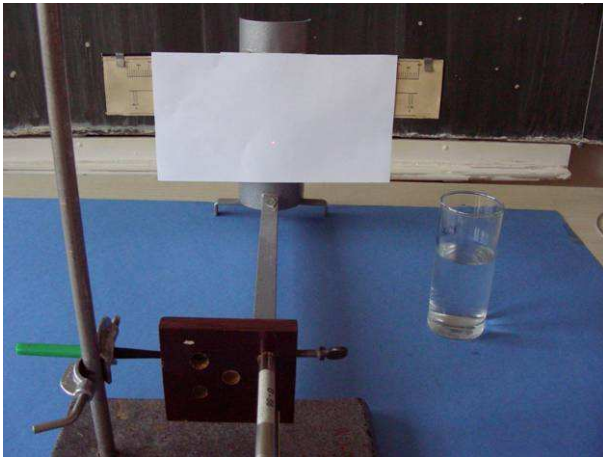
Otočí-li se zrcátko o úhel α , odkloní se odražený paprsek o úhel 2α . Zatímco zrcátko se zvedlo o 0,4 mm, na stěně vzdálené 2,4 m se může stopa posunout např. o $x = 26$ mm. Takto se dají snímat nepatrné deformace.

3. Průchod laserového paprsku zakaleným prostředím



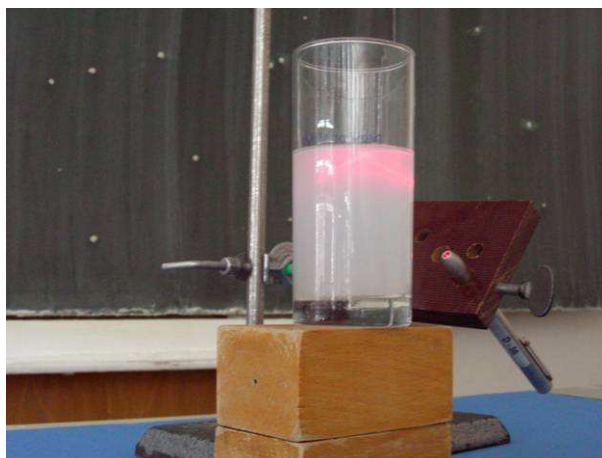
V prostředí zakaleném mlékem se paprsek rozptyluje do stran, takže je z boku vidět. Část světla se také vrací zpátky k laseru, což se využívá při měření LIDARem.

4. Průchod laserového paprsku sklenicí s vodou



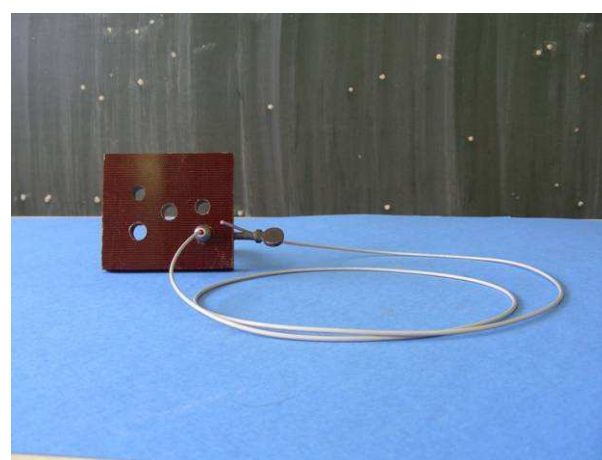
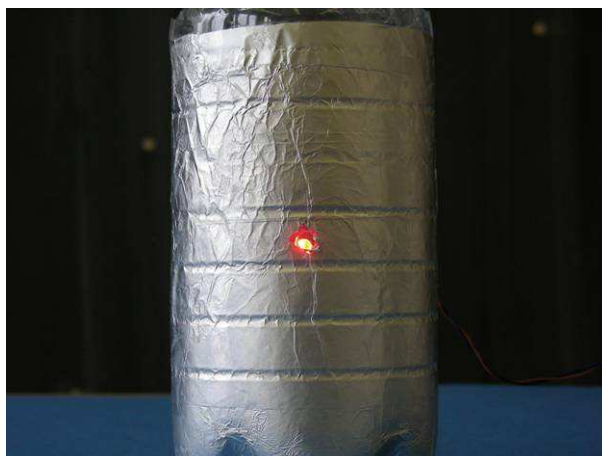
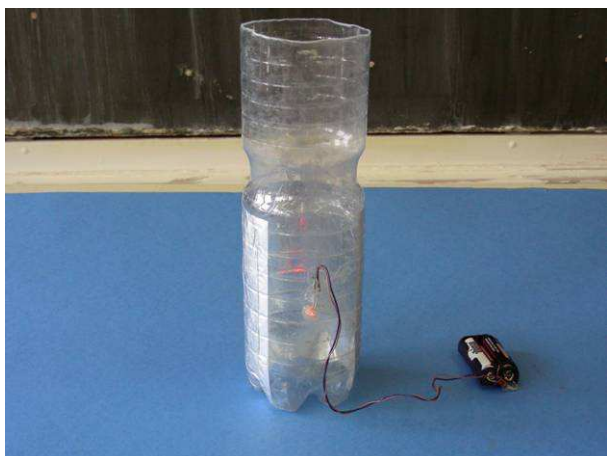
Při průchodu paprsku vzduchem nebo prázdnou sklenicí je stopa dopadu kruh. Při průchodu sklenicí s vodou má stopa tvar elipsy. Sklenice s vodou se chová jako válcová čočka. Válcovou čočku má např. optická soustava v CD mechanice.

5. Úplný odraz na vodní hladině



Hladina se chová jako zrcadlo, dá se pozorovat úplný odraz. Aby úplný odraz nastal, musí paprsek dopadat z opticky hustšího prostředí (vody) na prostředí opticky řidší (vzduch) a úhel dopadu musí být větší než mezní úhel.

6. Optický kabel

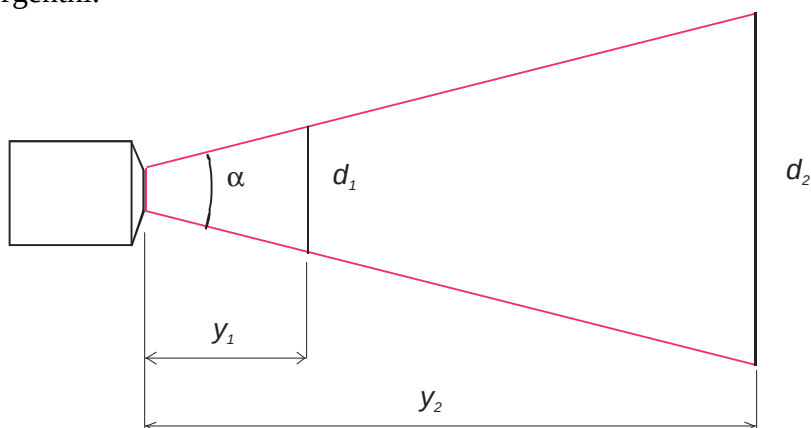


Vodní paprsek se chová jako optický kabel. Červené světlo diody se úplně odráží od stěn proudového vlákna a vystupuje až v místě dopadu na umyvadlo.

7. Divergence

divergence laseru

Změříme průměr stopy laseru d_1 ve vzdálenosti y_1 a průměr stopy d_2 ve vzdálenosti y_2 . Na obrázku je svazek přehnaně divergentní.

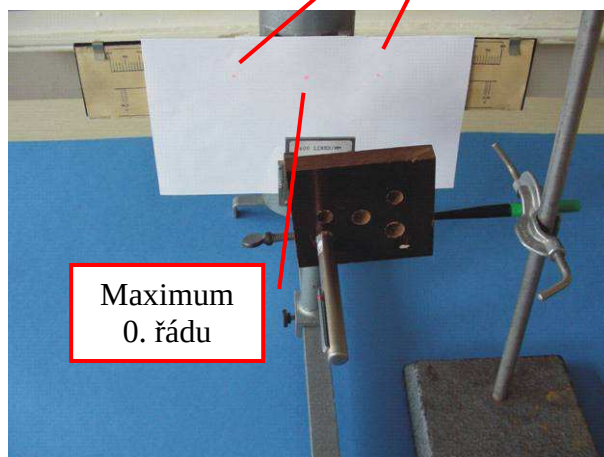


Z obrázku plyne:
$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{d_2 - d_1}{2 \cdot (y_2 - y_1)}$$

Příklad měření: $d_1 = 5 \text{ mm}$, $y_1 = 3,10 \text{ m}$, $d_2 = 10 \text{ mm}$, $y_2 = 27,3 \text{ m}$.

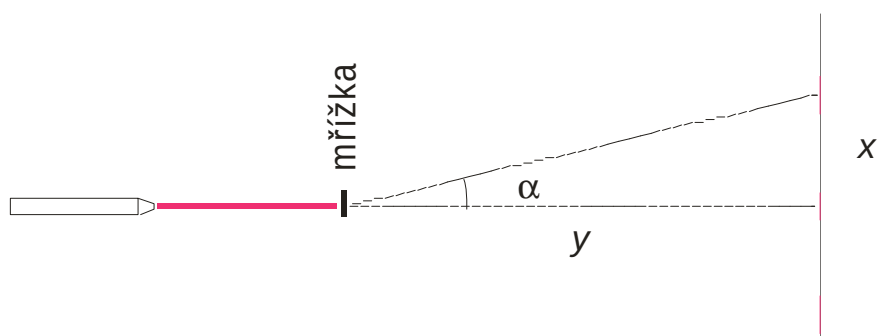
Pro úhel vychází $\alpha = 0,7'$. Ve vzdálenosti 100 m by měl světelný svazek průměr přibližně 2,5 cm. Je možné to experimentálně ověřit.

8. Určení vlnové délky laseru



Je třeba změřit vzdálenost x maxima 1. řádu od maxima 0. řádu a vzdálenost y papíru od laseru. Platí $\alpha = \arctg \frac{x}{y}$ a také podmínka maxima interference $b \cdot \sin \alpha = 1 \cdot \lambda$, kde b je mřížková konstanta. Její

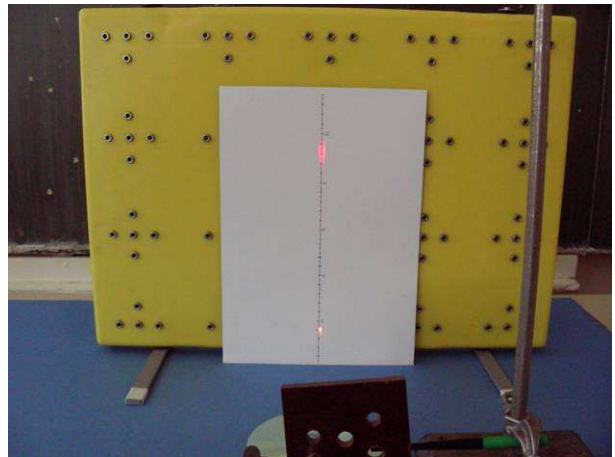
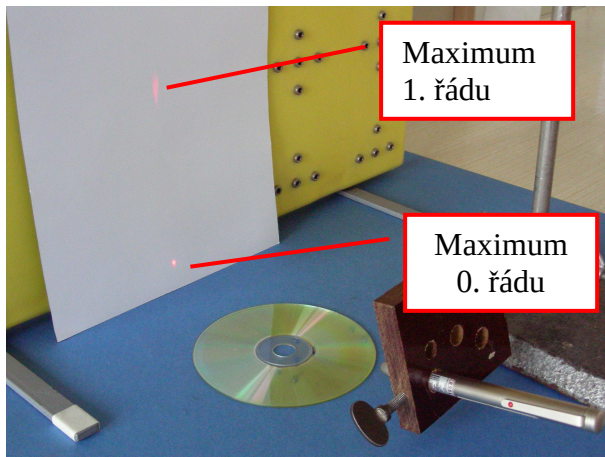
hodnota je pro tuto mřížku $b = \frac{1}{600000} \text{ m}$.



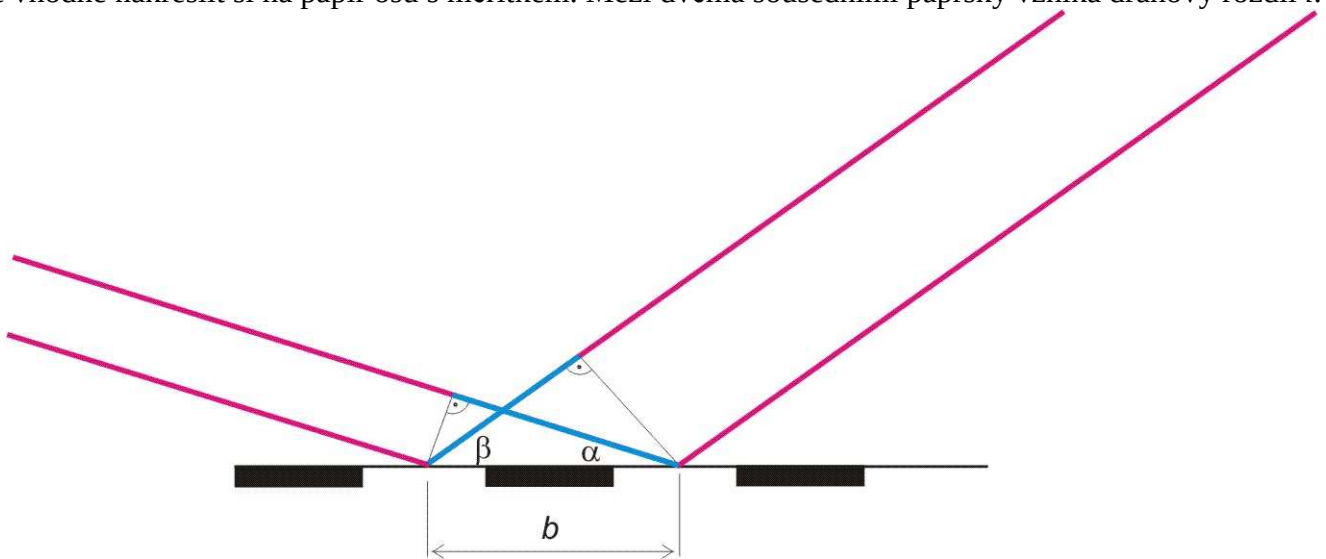
Příklad měření: $x = 64 \text{ mm}$, $y = 145 \text{ mm}$.

Vlnová délka vychází **673 nm**, je to červená barva. Světlo laseru je monofrekvenční (monochromatické), proto nevzniká barevné spektrum.

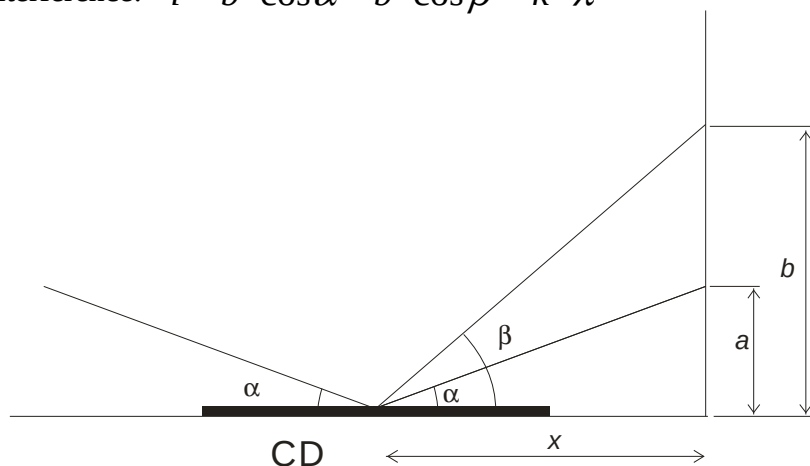
9. Hustota optické stopy na CD



Je vhodné nakreslit si na papír osu s měřítkem. Mezi dvěma sousedními paprsky vzniká dráhový rozdíl l .



Podmínka maxima interference: $l = b \cdot \cos \alpha - b \cdot \cos \beta = k \cdot \lambda$



Úhly lze vypočítat z obrázku: $\cos \alpha = \frac{x}{\sqrt{a^2 + x^2}}$, $\cos \beta = \frac{x}{\sqrt{b^2 + x^2}}$

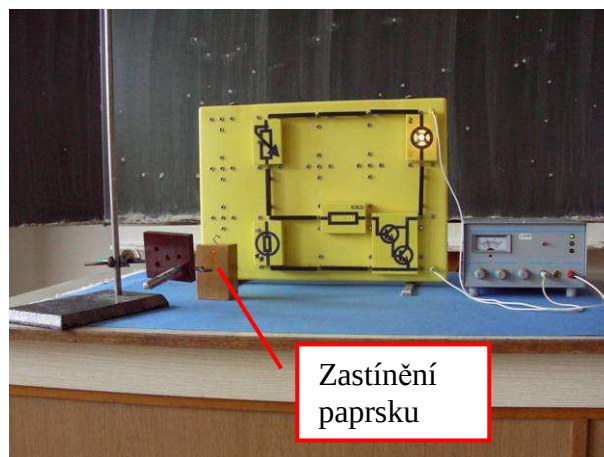
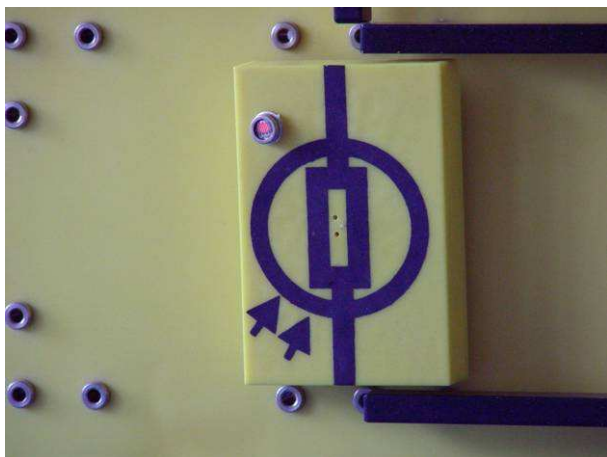
Úpravou dostaneme pro hustotu stopy vzorec: $\frac{1}{b} = \frac{x}{\lambda} \left(\frac{1}{\sqrt{a^2 + x^2}} - \frac{1}{\sqrt{b^2 + x^2}} \right)$

Příklad měření: $a = 34 \text{ mm}$, $b = 223 \text{ mm}$, $x = 125 \text{ mm}$.

Hustota stopy vyjde 707 mm^{-1} a vzdálenost sousedních „drážek“ je $1,4 \text{ }\mu\text{m}$.

Skutečný odstup má hodnotu $1,6 \text{ }\mu\text{m}$. Relativní odchylka našeho měření od správné hodnoty činí 12,5%.

10. Optická závora s poplachem.

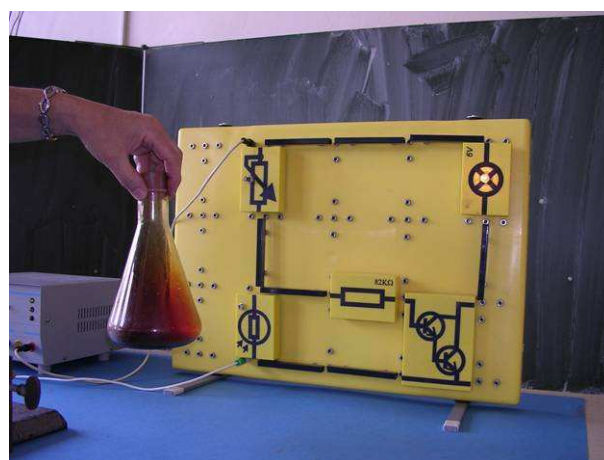


Na levém obrázku je vidět, že na fotorezistor dopadá červený paprsek laseru. Odpor osvětleného fotorezistoru je malý a proud po průchodu reostatem teče do fotorezistoru a nikoli do báze tranzistoru. Jakmile dojde k zatmění fotorezistoru (na pravém obrázku stojí v cestě dřevěný kvádr), jeho odpor naroste a proud teče do báze prvního tranzistoru. Dva tranzistory v Darlingtonově zapojení mají velké zesílení a způsobí velký proud kolektorem. Ten rozsvítí žárovku na poplach.

11. Snímání chvění, signalizace znečištění ovzduší

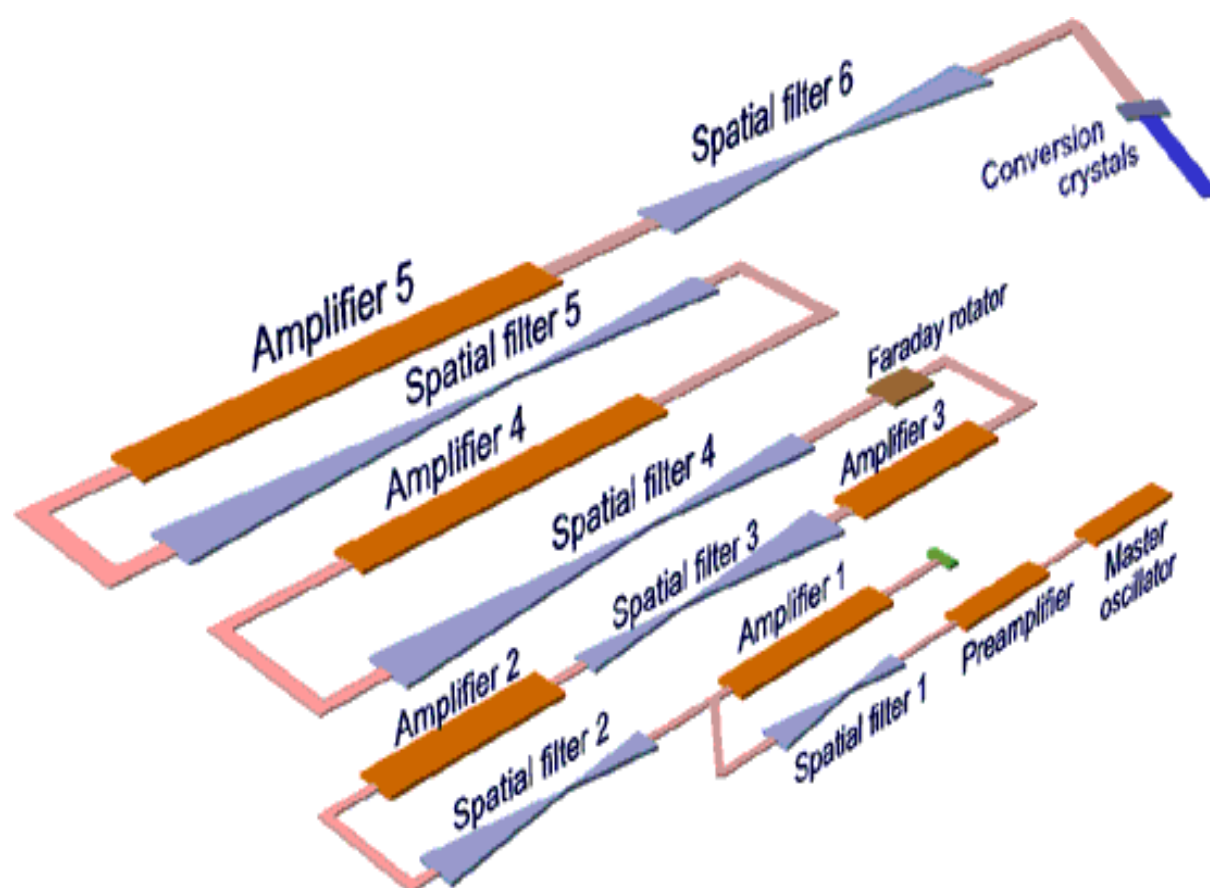
Nepatrné chvění stolu s laserem způsobí kolísání jasu poplašné žárovky. Při dostatečné citlivosti se tak dá snímat i zvuk (odposlech).

Pokud v cestě paprsku začne proudit plyn (kouř), ve kterém se záření laseru pohlcuje, žárovka se také rozsvítí na poplach. Plyn způsobuje rozptýl záření a to se vrací i zpátky k laseru. Je-li zachyceno, dá se určit místo znečištění (LIDAR, ekologie).



EXKURZE DO BADATELSKÉHO CENTRA PALS

<http://www.pals.cas.cz>



Úlohy k exkurzi na PALS

Na exkurzi ještě slyšeli řadu informací o laserovém systému PALS. Za pomoci těchto informací, případně stránek <http://www.pals.cas.cz>, vyřešte následující úlohy.

1. Laser PALS pracuje v pulzním režimu. Pulz je opakovatelný přibližně po půl hodině a vyletí při něm „balík“ mnoha fotonů. Kolik fotonů je v tomto balíku?
2. Vypočtete hmotnost balíku fotonů.
3. Fotony vyslané při jednom pulzu tvoří válec a průměru stejném jako je průměr čočky posledního zesilovače. Vypočtete výšku tohoto válce.
4. Vypočtete zářivý výkon laseru.
5. Svazek lze optikou zaostřit na plochu kruhu o průměru 0,1 mm. Vypočtete tlak záření v místě dopadu.

Řešení:

Systém PALS, instalovaný v Praze na Slovance je jeden z nejvýkonnějších laserů na světě. Pracuje v pulzním režimu. Jeden pulz trvá 400 ps, energie na výstupu je 1 kJ a průměr svazku vystupujícího z posledního zesilovače činí 29 cm. Laser pracuje na vlnové délce 1,315 μm a svazek lze zaostřit na plochu o průměru 0,1 mm. Tyto údaje postačují k vyřešení úloh.

$$1. \quad N = \frac{E\lambda}{hc} = 6,61 \cdot 10^{21} \text{ fotonů}$$

$$2. \quad m = \frac{E}{c^2} = 1,11 \cdot 10^{-14} \text{ kg}$$

$$3. \quad v = ct = 12 \text{ cm}$$

$$4. \quad P = \frac{E}{t} = 2,5 \text{ TW} \quad \text{Jde o zářivý výkon, proto místo označení } P \text{ by se spíše hodilo } \Phi_e.$$

$$5. \quad p = \frac{J_e}{c} = \frac{4\Phi_e}{\pi d^2 c} = 1,06 \text{ TPa} \quad \text{To je hodnota pro úplné pohlcení paprsku v místě dopadu. Při dopadu na zrcadlo, na kterém by se všechny fotony odrazily, by měl tlak záření dvojnásobnou hodnotu.}$$

Test lasery

pracovní listy

Ve skupinách vypracujte odpovědi na jednotlivé otázky. Využijte vyhledávání na internetu.

1. Slova maser a laser jsou zkratky anglických názvů. Uved'te tyto názvy a jejich český překlad.

MASER:.....
.....

LASER:.....
.....

2. Čím se liší záření vysílané laserem od světla žárovky? (Porovnej frekvence a vysvětli co znamená označení koherentní světlo s malou divergencí.)

Frekvence:.....

Koherentní:.....
.....

Divergence:.....

3. Najdi pro nějaký typ laseru jeho divergenci.

Divergence:.....

Představme si, že tímto laserem osvětlíme Měsíc tak, že na něm vznikne kruh. Vypočtete obsah tohoto kruhu.

Obsah kruhu $S = \dots \text{ km}^2$.

4. Uved' jména dvou fyziků, kteří ve 20. letech 20. století vysvětlili stimulovanou emisi. Stručně vysvětlí rozdíl mezi spontánní a stimulovanou emisí.

Jména:.....

....

Rozdíly:.....
.....
.....
.....

5. Nutnou podmínkou pro masery a lasery je převedení elektronů na metastabilní energetickou hladinu (populační inverze) – vzniká aktivní prostředí. Vysvětli jakým způsobem lze dodat energii pracovní látce v laseru, aby tato podmínka byla splněna.

.....
.....
.....

6. Paprsek uvnitř aktivního prostředí je nutné udržet dostatečně dlouhou dobu, aby „stihl“ způsobit co nejvíce stimulovaných emisí. “Jak lze tento problém řešit?

.....
.....
.....

7. První pracovní látkou pro maser se stal amoniak-čpavek. Nakresli pomocí rámečků - elektronových konfigurací – molekulu NH_3 a uveď typ hybridizace pro dusík. Pomocí hybridních orbitalů nakresli molekulu NH_3 .

.....

8. Molekula NH_3 kmitá s frekvencí $f = 24 \text{ GHz}$. Jak si představuješ kmitání této molekuly? Můžeš i nakreslit.

9. Napiš chemický vzorec rubínu, uveď barvu. Jdou jeho krystaly vypěstovat uměle?

.....

10. Tvůrce ještě nedokonalého laseru v roce 1960 použil krystal rubínu ve tvaru krychle o hraně 1 cm, jehož vyleštěné koncové stěny byly pokryty tenkou vrstvou stříbra a ozářil krystal zeleným světlem. Jedním stříbrným zrcadlem pronikl červený paprsek – monochromatický, koherentní. Jak se jmenoval tento fyzik?

.....

11. Proč se pro přenos informací vzduchem musí používat lasery pracující v takzvaných atmosférických oknech?

.....
.....

12. Pro přenos energie je nejdůležitější účinnost přeměny energie v laserový paprsek. Výhodné jsou v tomto směru lasery polovodičové. Uveď příklad takového laseru.

.....
.

13. Rozděl lasery podle druhu aktivního prostředí.

.....
.
.....
.

14. Rozděl lasery podle vyzařované vlnové délky.

.....
.
.....
.

15. Rozděl lasery podle použití.

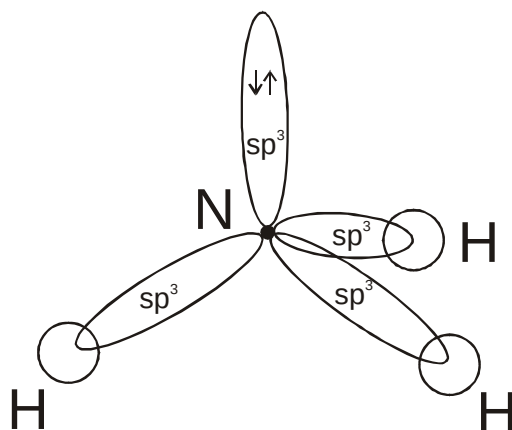
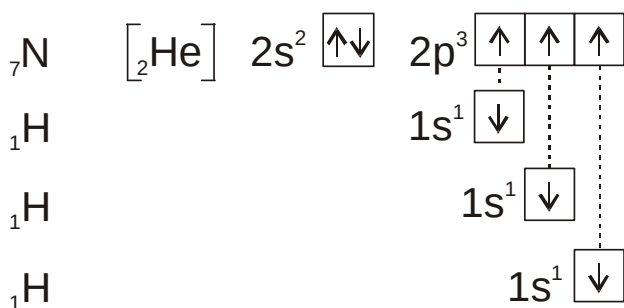
.....
.
.....
.

16. Co je typické pro chemické lasery? Jaká se používá pracovní látka?

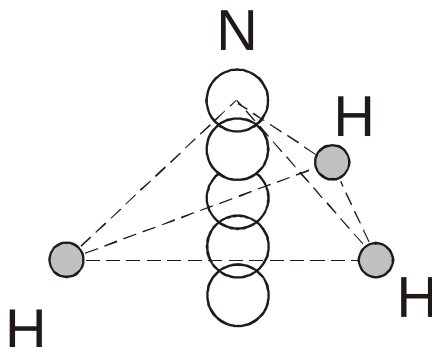
.....
.
.....
.
.....
.

Řešení testu - lasery

- MASER: Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation = Zesílení mikrovln stimulovanou emisí záření**
LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation = Zesílení světla stimulovanou emisí záření
- Laserové záření je monochromatické (jednobarevné), zatímco žárovka vysílá spojité spektrum. Koherentní (časově) znamená, že záření lze popsat na dosti dlouhém úseku funkcí sinus (zachovává se frekvence i fáze).**
Žárovka svítí do všech směrů, zatímco laser vytváří málo rozbíhavý (málo divergentní) svazek, který dobře nahrazuje přímkou (užití v geodézii).
- Divergenci lze nalézt pro různé lasery (dálkoměry) na internetu, průměrné hodnoty jsou asi 0,3 mrad. Osvětlená plocha je asi 10 250 km².**
- Albert Einstein a Paul Adrien Maurice Dirac. Excitované elektrony jsou většinou na nestabilních energetických hladinách, ze kterých rychle přecházejí na nižší energetické hladiny. Při tom vyzařují fotony do různých směrů s různými počátečními fázemi a většinou i mnoha různými frekvencemi. Před stimulovanou emisí se musí elektrony nacházet delší dobu na metastabilní hladině. Průlet vhodného fotonu způsobí vynucený (stimulovaný) přechod elektronu na hladinu s nižší energií, přičemž se vyžáří foton – dvojce přichozího se stejnou frekvencí, fází a směrem.**
- Energii lze dodat dopadem vhodného záření, srážkami v elektrickém poli (tj. výbojem v plynu), svazkem nabitých částic, pomocí energie uvolněné při chemické reakci, jaderným výbuchem, rozpínáním plynu, elektrickým proudem (polovodičové lasery).**
- Pomocí rezonátoru, tedy nejčastěji dvou rovnoběžných zrcadel, mezi nimiž se paprsek mnohonásobně odráží. Někdy prochází paprsek aktivním prostředím jen jednou, ale prostředí je dlouhé desítky až stovky metrů (PALS – Prague Asterix Laser System).**
- Elektronová konfigurace atomu dusíku, který má 5 valenčních elektronů, je v základním stavu: ${}_7\text{N: (He) } 2s^2 2p^3$. Excitovat nelze, neexistuje 2d orbital. Hybridizace dusíku v amoniaku je sp^3 . V těžišti čtyřstěnu je atom dusíku, čtyři sp^3 orbitály míří do vrcholů čtyřstěnu. Na třech těchto orbitalech je polární kovalentní vazbou vázaný vodík na čtvrtém je volný elektronový pár.**



8. Molekula NH_3 kmitá podobně jako deštník v prudkém větru, tj. atom dusíku na vrcholu trojstěny „protuneluje“ na druhou stranu přes základnu tvořenou atomy vodíků.



9. Rubín je Al_2O_3 –korund s příměsemi Cr, je červený. Krystaly lze vypěstovat uměle.
10. Americký fyzik Theodor Harold Maiman.
11. Při průchodu laserového paprsku atmosférou dochází k jeho absorpci (pohlcení) a absorpce závisí na frekvenci záření. Pro některé frekvence je absorpce malá, atmosféra se chová jako „okno“. Pro dobrou spolehlivost přenosu informace je třeba používat lasery právě s vhodnými frekvencemi.
12. Například AlGaAs, InGaAsP, GaN (pro BluRay a HD-DVD) laser.
13. Pevnolátkové, kapalinové, plynové, lasery využívající svazky nabitých částic(free elektron laser).
14. Infračervené, viditelné, ultrafialové, rentgenové.
15. Výzkumné, měřicí, lékařské, technologické, energetické, vojenské.
16. Chemické lasery čerpají energii pomocí exotermických řetězových chemických reakcí. Jako pracovní látky se používá $\text{H}_2 + \text{Cl}_2$, $\text{H}_2 + \text{F}_2$, jod. Mají velké výkony.

Použitá literatura:

<http://www.colorado.edu/physics/2000/quantumzone/bohr.html>
<http://www.colorado.edu/physics/2000/lasers/lasers2.html>
<http://www.colorado.edu/physics/2000/lasers/lasers3.html>
<http://www.colorado.edu/physics/2000/lasers/lasers4.html>
http://ww2.unime.it/weblab/ita/laser/laser_ita.htm
<http://www.olympusmicro.com/primer/java/lasers/argonionlaser/index.html>
<http://www.colorado.edu/physics/2000/lasers/index.html>
<http://www.klinikazlin.cz>
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Okno>
Feynman, R. P.; Leighton, R. B.; Sands, M.: Feynmanovy přednášky z fyziky 3
<http://www.vesmir.cz/clanek.php3>
<http://pascal.fjfi.cvut.cz/~drska/edu/webfyz/node41.html>
http://www.ian.cz/detart_fr.php

