LASER – kvantový generátor světla

Univerzita třetího věku

Richard Švejkar

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
Katedra fyzikální elektroniky

richard.svejkar@fjfi.cvut.cz

Obsah

Vznik a vývoj laseru

Základní pojmy

LASER

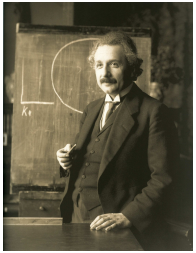
Aplikace a využití laserů

Shrnutí

Vznik a vývoj laseru

Historické okénko

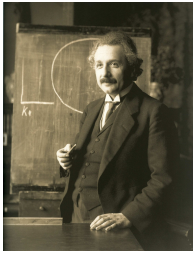
- 1917: Albert Einstein – kvantování světla, fotoelektrický jev, stimulovaná emise



Vznik a vývoj laseru

Historické okénko

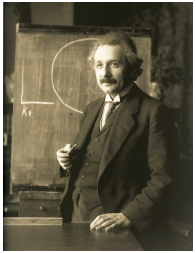
- 1917: Albert Einstein – kvantování světla, fotoelektrický jev, stimulovaná emise
- 1928: R. Ladenburg a H. Kopfermann – pozorování stimulované emise



Vznik a vývoj laseru

Historické okénko

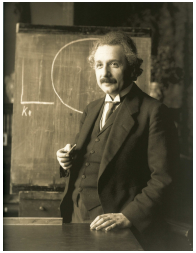
- 1917: Albert Einstein – kvantování světla, fotoelektrický jev, stimulovaná emise
- 1928: R. Ladenburg a H. Kopfermann – pozorování stimulované emise
- 1939: V. A. Fabrikant – myšlenka zesilování elektromagnetických vln



Vznik a vývoj laseru

Historické okénko

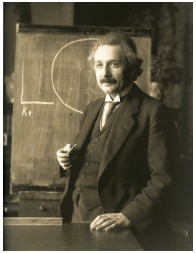
- 1917: Albert Einstein – kvantování světla, fotoelektrický jev, stimulovaná emise
- 1928: R. Ladenburg a H. Kopfermann – pozorování stimulované emise
- 1939: V. A. Fabrikant – myšlenka zesilování elektromagnetických vln
- 1952: N.G. Basov a A. M. Prochorov – myšlenka MASERu



Vznik a vývoj laseru

Historické okénko

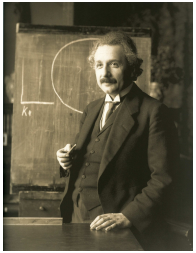
- 1917: Albert Einstein – kvantování světla, fotoelektrický jev, stimulovaná emise
- 1928: R. Ladenburg a H. Kopfermann – pozorování stimulované emise
- 1939: V. A. Fabrikant – myšlenka zesilování elektromagnetických vln
- 1952: N.G. Basov a A. M. Prochorov – myšlenka MASERu
- 1954: Charles H. Townes – realizace MASERu



Vznik a vývoj laseru

Historické okénko

- 1917: Albert Einstein – kvantování světla, fotoelektrický jev, stimulovaná emise
- 1928: R. Ladenburg a H. Kopfermann – pozorování stimulované emise
- 1939: V. A. Fabrikant – myšlenka zesilování elektromagnetických vln
- 1952: N.G. Basov a A. M. Prochorov – myšlenka MASERu
- 1954: Charles H. Townes – realizace MASERu
- 1958: A.M.Prochorov, A.Schawlow a C.Townes – stimulovaná emise v IR



Vznik a vývoj laseru

Historické okénko

Rok 1960 – První laser

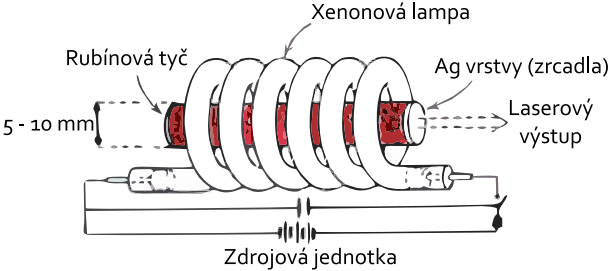
- Theodore Maiman

Vznik a vývoj laseru

Historické okénko

Rok 1960 – První laser

- Theodore Maiman
- Rubínové aktivní prostředí ve skleněné výbojce
- Laserová emise na 694 nm ∼ červená



Vznik a vývoj laseru

Historické okénko

Rok 1964 – Nobelova cena

- "for fundamental work in the field of quantum electronics, which has led to the construction of oscillators and amplifiers based on the maser-laser principle".

Vznik a vývoj laseru

Historické okénko

Rok 1964 – Nobelova cena

- "for fundamental work in the field of quantum electronics, which has led to the construction of oscillators and amplifiers based on the maser-laser principle".
- Charles H. Townes, ,

Vznik a vývoj laseru

Historické okénko

Rok 1964 – Nobelova cena

- "for fundamental work in the field of quantum electronics, which has led to the construction of oscillators and amplifiers based on the maser-laser principle".
- Charles H. Townes, Nicolay G. Basov,

Vznik a vývoj laseru

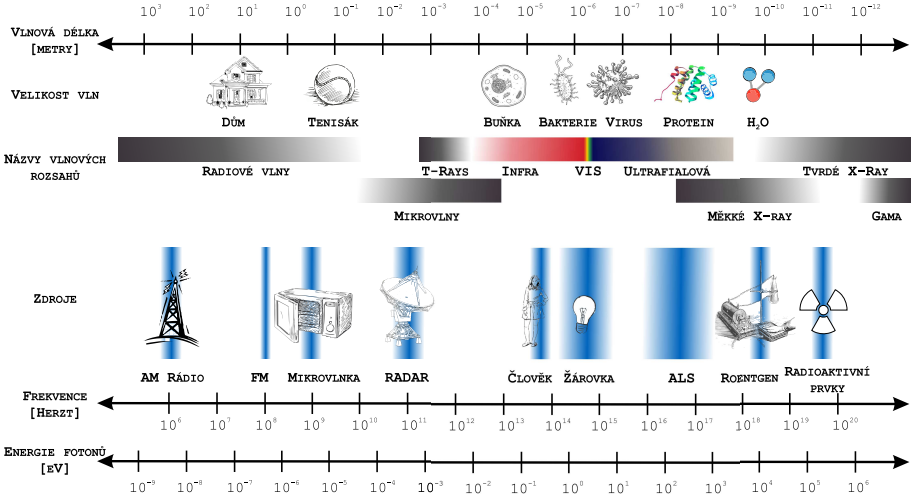
Historické okénko

Rok 1964 – Nobelova cena

- "for fundamental work in the field of quantum electronics, which has led to the construction of oscillators and amplifiers based on the maser-laser principle".
- Charles H. Townes, Nicolay G. Basov, Aleksandr M. Prokhorov

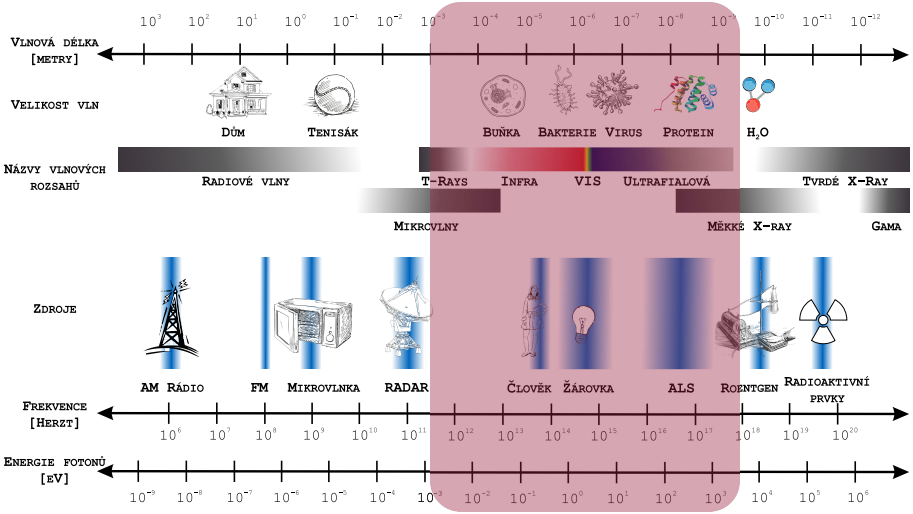
Základní pojmy

Spektrum elektromagnetického záření



Základní pojmy

Spektrum elektromagnetického záření



Základní pojmy

Vlna vs. částice

Elektromagnetická vlna $I = \frac{1}{2} c \epsilon E_0^2$ $\times$

Základní pojmy

Vlna vs. částice

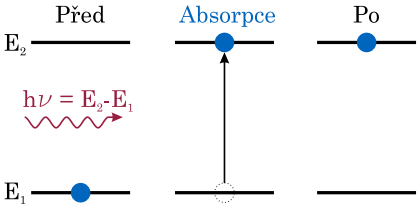
Elektromagnetická vlna $I = \frac{1}{2} c \epsilon E_0^2$ $\times$ Proud částic (fotonů) $E = h\nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$

Základní pojmy

Vlna vs. částice

Elektromagnetická vlna $I = \frac{1}{2} c \epsilon E_0^2$ $\times$ Proud částic (fotonů) $E = h\nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$

1. Absorpce – pohlcení fotonu kvantovou soustavnou

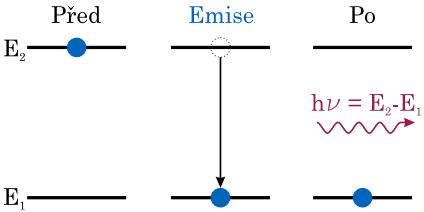


Základní pojmy

Vlna vs. částice

Elektromagnetická vlna $I = \frac{1}{2} c \epsilon E_0^2$ $\times$ Proud částic (fotonů) $E = h\nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$

2. Emise – vyzáření energie formou fotonu

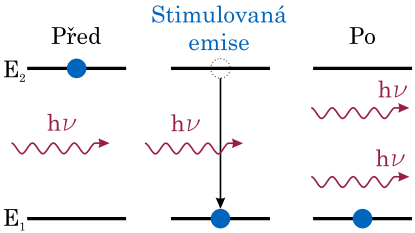


Základní pojmy

Vlna vs. částice

Elektromagnetická vlna $I = \frac{1}{2}c\epsilon E_0^2$ $\times$ Proud částic (fotonů) $E = h\nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$

3. Stimulovaná emise – vyzáření fotonu vyvolané stimulujícím fotonem



Laser

Základní charakteristika

- Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
- Zesilování světla stimulovanou emisí záření

Laser

Základní charakteristika

- Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
- Zesilování světla stimulovanou emisí záření
- Zařízení zkonstruované na principech kvantové mechaniky,

Laser

Základní charakteristika

- Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
- Zesilování světla stimulovanou emisí záření
- Zařízení zkonstruované na principech kvantové mechaniky, využívající stimulované emise,

Laser

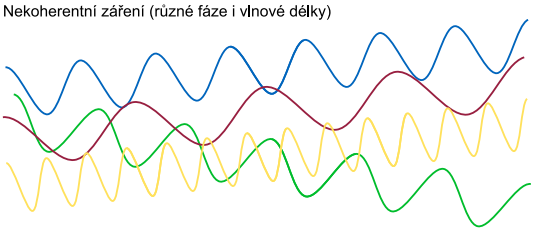
Základní charakteristika

- Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
- Zesilování světla stimulovanou emisí záření
- Zařízení zkonstruované na principech kvantové mechaniky, využívající stimulované emise, generující záření unikátních vlastností:

Laser

Základní charakteristika

- Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
- Zesilování světla stimulovanou emisí záření
- Zařízení zkonstruované na principech kvantové mechaniky, využívající stimulované emise, generující záření unikátních vlastností:
  - Koherence
  - Monochromatičnost

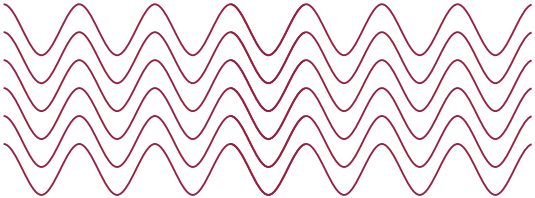


Laser

Základní charakteristika

- Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
- Zesilování světla stimulovanou emisí záření
- Zařízení zkonstruované na principech kvantové mechaniky, využívající stimulované emise, generující záření unikátních vlastností:
  - Koherence
  - Monochromatičnost

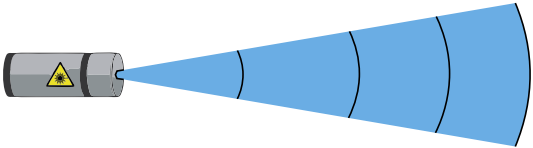
Koherentní záření (stejná fáze i vlnová délka)



Laser

Základní charakteristika

- Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
- Zesilování světla stimulovanou emisí záření
- Zařízení zkonstruované na principech kvantové mechaniky, využívající stimulované emise, generující záření unikátních vlastností:
  - Koherence
  - Monochromatičnost
  - Minimální rozbíhavost



Laser

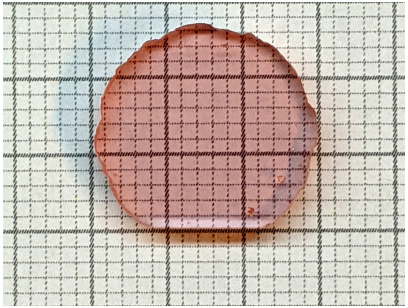
Základní charakteristika

- Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
- Zesilování světla stimulovanou emisí záření
- Zařízení zkonstruované na principech kvantové mechaniky, využívající stimulované emise, generující záření unikátních vlastností:
  - Koherence
  - Monochromatičnost
  - Minimální rozbíhavost
  - Vysoký jas

Laser

Základní stavební prvky

- Aktivní prostředí – místo kde dochází ke kvantovým jevům

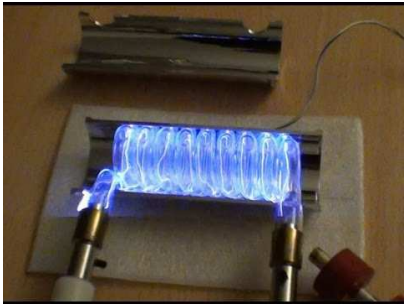


Aktivní prostředí

Laser

Základní stavební prvky

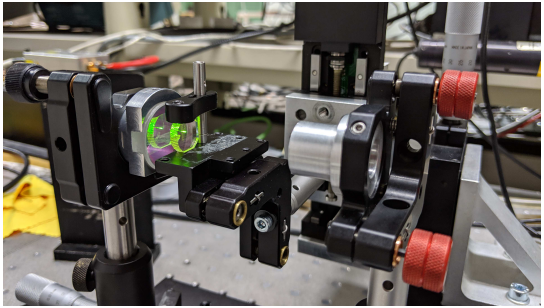
- Aktivní prostředí – místo kde dochází ke kvantovým jevům
- Buzení (čerpání, excitace) – přísun energie pro excitaci kvantových soustav



Laser

Základní stavební prvky

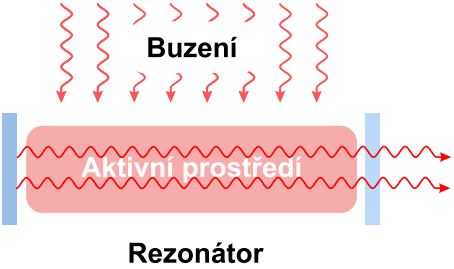
- Aktivní prostředí – místo kde dochází ke kvantovým jevům
- Buzení (čerpání, excitace) – přísun energie pro excitaci kvantových soustav
- Rezonátor – vytvoření kladné zpětné vazby pomocí zrcadel



Laser

Základní stavební prvky

- Aktivní prostředí – místo kde dochází ke kvantovým jevům
- Buzení (čerpání, excitace) – přísun energie pro excitaci kvantových soustav
- Rezonátor – vytvoření kladné zpětné vazby pomocí zrcadel
- Chlazení – (pasivní nebo aktivní) odvod tepla z aktivního prostředí



Aktivní prostředí

- Kapalina – v současnosti nepoužívané
  - Rozpouštědla (ethanol, methanol, toulen) s barvivy (Rhodamin 6G)

Aktivní prostředí

- Kapalina – v současnosti nepoužívané
  - Rozpouštědla (ethanol, methanol, toulen) s barvivy (Rhodamin 6G)
- Plyn – převážně průmyslové aplikace
  - CO_2 laser – obrábění
  - He-Ne laser – trasování

Aktivní prostředí

- Kapalina – v současnosti nepoužívané
  - Rozpouštědla (ethanol, methanol, toulen) s barvivy (Rhodamin 6G)
- Plyn – převážně průmyslové aplikace
  - CO_2 laser – obrábění
  - He-Ne laser – trasování
- Plasma – výhradně experimentální použití
  - Lasery generující v X-ray oblasti

Aktivní prostředí

- Kapalina – v současnosti nepoužívané
  - Rozpouštědla (ethanol, methanol, toulen) s barvivy (Rhodamin 6G)
- Plyn – převážně průmyslové aplikace
  - CO_2 laser – obrábění
  - He-Ne laser – trasování
- Plasma – výhradně experimentální použití
  - Lasery generující v X-ray oblasti

- Pevná látka – nejpoužívanější, ve většině odvětví lidské činnosti
  - Polovodičové lasery (laserové diody)
  - Iontové lasery (syntetické krystaly dopované ionty vzácných zemin)

Buzení, čerpání, excitace

- Elektrický výboj
  - Plynné aktivní prostředí

Buzení, čerpání, excitace

- Elektrický výboj
  - Plynné aktivní prostředí
- Elektrický proud
  - Pevnolátkové polovodičové aktivní prostředí (diody)

Buzení, čerpání, excitace

- Elektrický výboj
  - Plynné aktivní prostředí
- Elektrický proud
  - Pevnolátkové polovodičové aktivní prostředí (diody)
- Rekombinace
  - Plazmatické lasery

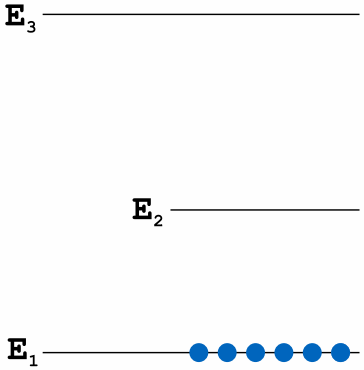
Buzení, čerpání, excitace

- Elektrický výboj
  - Plynné aktivní prostředí
- Elektrický proud
  - Pevnolátkové polovodičové aktivní prostředí (diody)
- Rekombinace
  - Plazmatické lasery

- Optické
  - Pevnolátkové aktivní prostření (dielektrické krystaly, polovodiče)
  - Kapalinové prostředí

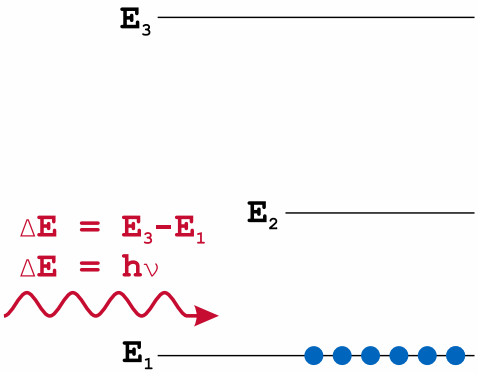
Laser

Procesy v aktivním prostředí



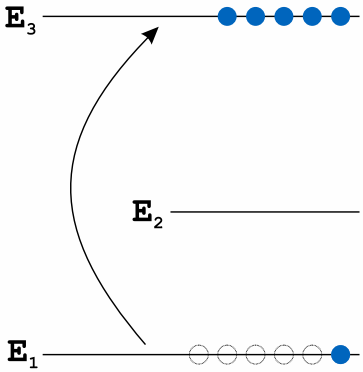
Laser

Procesy v aktivním prostředí



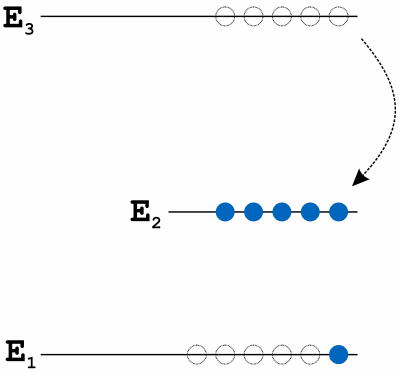
Laser

Procesy v aktivním prostředí



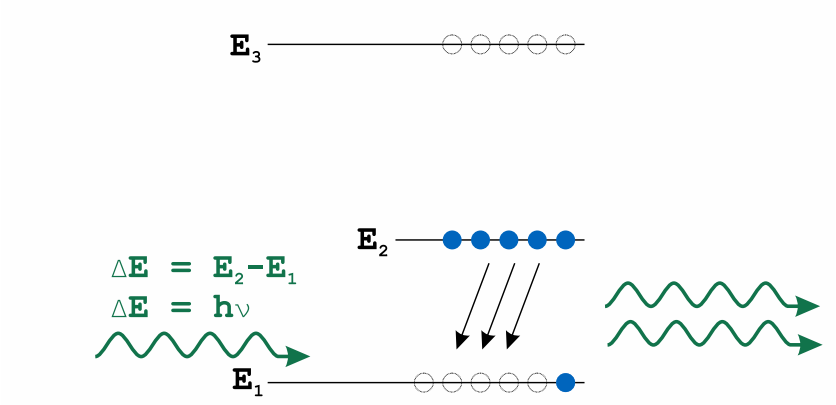
Laser

Procesy v aktivním prostředí



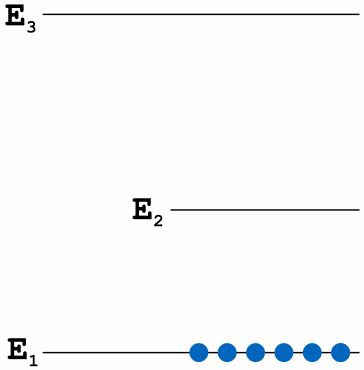
Laser

Procesy v aktivním prostředí



Laser

Procesy v aktivním prostředí



Aplikace laserů

Aplikace a využití laserů

- Základní výzkum
- Obrábění materiálu (řezání,sváření,vrtání, . . .)
- Energetika
- Biologie (diagnostika, inicializace růstu)
- Chemie (separace izotopů, měření relaxačních dob)
- Komunikace a výpočetní technika (technika spojů – vlákna)
- Metrologie, měření rychlosti, vzdálenosti, znečištění ovzduší
- Mikroelektronika (dostavování odporů,kondenzátorů, litografie..)
- Zábavní technika
- Vojenská technika
- Astronomie, kosmický výzkum, geodezie
- Medicína (terapie, diagnostika)

Umění, design a hudba

Umění

- 3D skeny objektů, holografie
- Skenování obrazů a maleb
- Restaurování

Design

- Gravírování
- Laserové projekce

Hudba

- Laser show

Umění, design a hudba

Umění

- 3D skeny objektů, holografie
- Skenování obrazů a maleb
- Restaurování

Design

- Gravírování
- Laserové projekce

Hudba

- Laser show

Umění, design a hudba

Umění

- 3D skeny objektů, holografie
- Skenování obrazů a maleb
- Restaurování

Design

- Gravírování
- Laserové projekce

Hudba

- Laser show

Umění, design a hudba

Umění

- 3D skeny objektů, holografie
- Skenování obrazů a maleb
- Restaurování

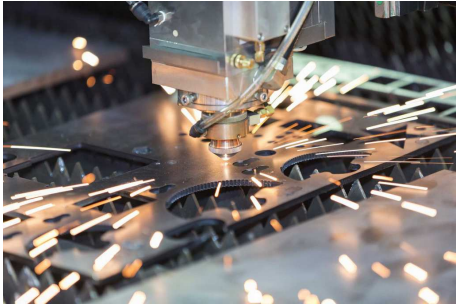
Design

- Gravírování
- Laserové projekce

Hudba

- Laser show

Průmysl



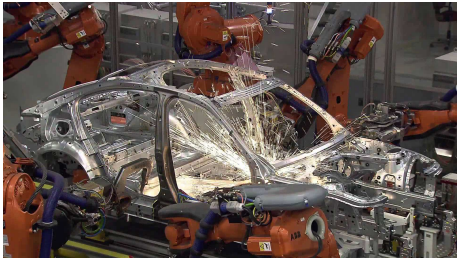
Strojírenství

- Vrtání, řezání
- Sváření, pájení
- Značkování
- Kalení, naprašování

Elektronika

- Litografie
- Depozice tenkých vrstev
- Ladění přesných elektronických součástek

Průmysl



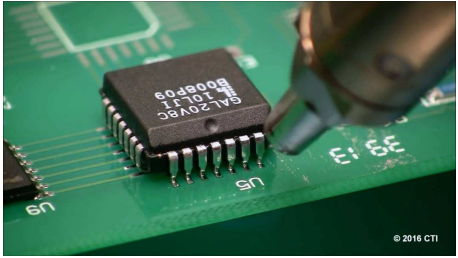
Strojírenství

- Vrtání, řezání
- Sváření, pájení
- Značkování
- Kalení, naprašování

Elektronika

- Litografie
- Depozice tenkých vrstev
- Ladění přesných elektronických součástek

Průmysl



Strojírenství

- Vrtání, řezání
- Sváření, pájení
- Značkování
- Kalení, naprašování

Elektronika

- Litografie
- Depozice tenkých vrstev
- Ladění přesných elektronických součástek

Průmysl

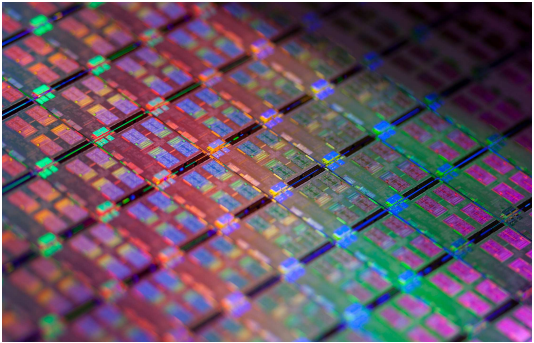
Strojírenství

- Vrtání, řezání
- Sváření, pájení
- Značkování
- Kalení, naprašování

Elektronika

- Litografie
- Depozice tenkých vrstev
- Ladění přesných elektronických součástek

Průmysl



Strojírenství

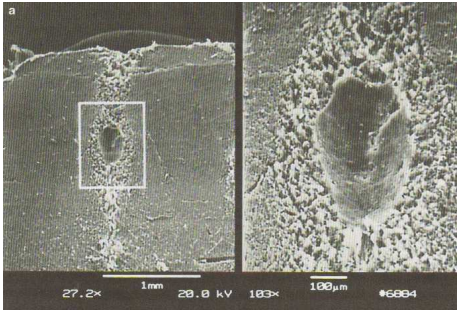
- Vrtání, řezání
- Svařování, pájení
- Značkování
- Kalení, naprašování

Elektronika

- Litografie
- Depozice tenkých vrstev
- Ladění přesných elektronických součástek

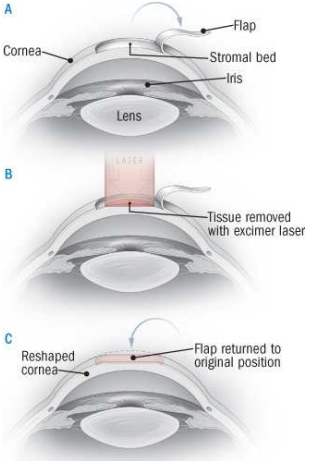
Medicína

- Neurologie
- Oftalmologie
- Stomatologie
- Dermatologie
- Ortopedie
- Kardiologie
- Urologie



Medicína

- Neurologie
- Oftalmologie
- Stomatologie
- Dermatologie
- Ortopedie
- Kardiologie
- Urologie



Medicína

- Neurologie
- Oftalmologie
- Stomatologie
- Dermatologie
- Ortopedie
- Kardiologie
- Urologie

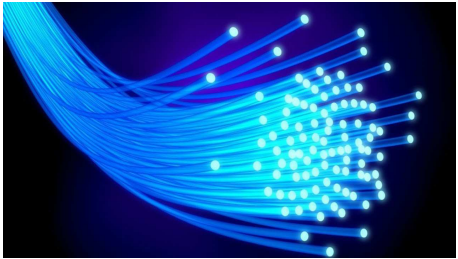
Medicína

- Neurologie
- Oftalmologie
- Stomatologie
- Dermatologie
- Ortopedie
- Kardiologie
- Urologie

Medicína

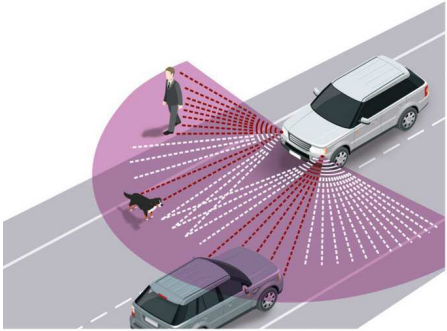
- Neurologie
- Oftalmologie
- Stomatologie
- Dermatologie
- Ortopedie
- Kardiologie
- Urologie

Komunikace a Bezpečnost



- Optická vlákna (1550 nm)
- Optické mechaniky (405, 650 nm)
- Přenos volným prostorem (1559 nm)
- LIDAR (1550 nm)
- Odposlechy, 3D modely
- Detekce a zobrazování (THz)

Komunikace a Bezpečnost



- Optická vlákna (1550 nm)
- Optické mechaniky (405, 650 nm)
- Přenos volným prostorem (1559 nm)
- LIDAR (1550 nm)
- Odposlechy, 3D modely
- Detekce a zobrazování (THz)

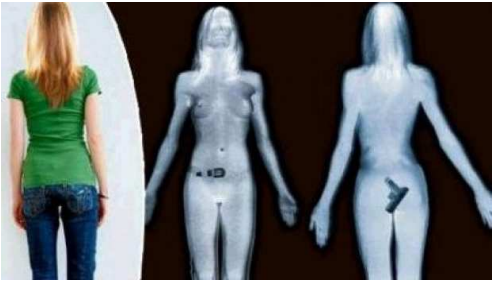
Komunikace a Bezpečnost

- Optická vlákna (1550 nm)
- Optické mechaniky (405, 650 nm)
- Přenos volným prostorem (1559 nm)
- LIDAR (1550 nm)
- Odposlechy, 3D modely
- Detekce a zobrazování (THz)

Komunikace a Bezpečnost

- Optická vlákna (1550 nm)
- Optické mechaniky (405, 650 nm)
- Přenos volným prostorem (1559 nm)
- LIDAR (1550 nm)
- Odposlechy, 3D modely
- Detekce a zobrazování (THz)

Komunikace a Bezpečnost



- Optická vlákna (1550 nm)
- Optické mechaniky (405, 650 nm)
- Přenos volným prostorem (1559 nm)
- LIDAR (1550 nm)
- Odposlechy, 3D modely
- Detekce a zobrazování (THz)

Armáda

- Bojové simulace (IR)
- Detekce plynů (MID-IR)
- Navádění a sledování (IR)
- Destrukce (1030 nm)

Armáda

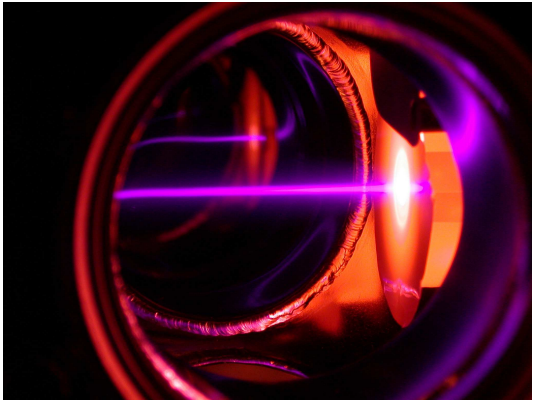
- Bojové simulace (IR)
- Detekce plynů (MID-IR)
- Navádění a sledování (IR)
- Destrukce (1030 nm)

Armáda

- Bojové simulace (IR)
- Detekce plynů (MID-IR)
- Navádění a sledování (IR)
- Destrukce (1030 nm)

Zajímavé aplikace

Laserové chlazení hmoty



- Dopplerovské chlazení (limit 40 μK)
- Brzdění atomu laserovým svazkem
- 10×1 μm ochlazen pod 100 mK
- Nejnižší dosažená teplota pK
- Speciální metody chlazení atomů v magnetickém poli

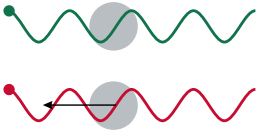
Zajímavé aplikace

Laserové chlazení hmoty

- Laser s vhodnou vlnovou délkou
- "Stacionární atom" nedochází k absorpci
- Atom se šíří stejným směrem jako foton "red-shift (červený posun)" – nedochází k absorpci
- Atom se šíří proti fotonu "blue-shift (modrý posun)" – absorpce fotonu
- Foton excituje atom (změna kvantového stavu)
- Atom emituje foton (v 3D je šíření náhodné)

Zajímavé aplikace

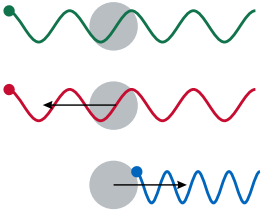
Laserové chlazení hmoty



- Laser s vhodnou vlnovou délkou
- "Stacionární atom" nedochází k absorpci
- Atom se šíří stejným směrem jako foton "red-shift (červený posun)" – nedochází k absorpci
- Atom se šíří proti fotonu "blue-shift (modrý posun)" – absorpce fotonu
- Foton excituje atom (změna kvantového stavu)
- Atom emituje foton (v 3D je šíření náhodné)

Zajímavé aplikace

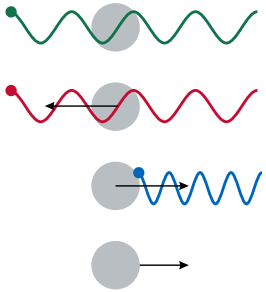
Laserové chlazení hmoty



- Laser s vhodnou vlnovou délkou
- "Stacionární atom" nedochází k absorpci
- Atom se šíří stejným směrem jako foton "red-shift (červený posun)" – nedochází k absorpci
- Atom se šíří proti fotonu "blue-shift (modrý posun)" – absorpce fotonu
- Foton excituje atom (změna kvantového stavu)
- Atom emituje foton (v 3D je šíření náhodné)

Zajímavé aplikace

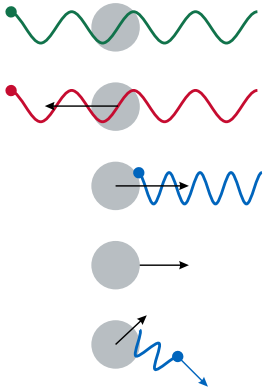
Laserové chlazení hmoty



- Laser s vhodnou vlnovou délkou
- "Stacionární atom" nedochází k absorpci
- Atom se šíří stejným směrem jako foton "red-shift (červený posun)" – nedochází k absorpci
- Atom se šíří proti fotonu "blue-shift (modrý posun)" – absorpce fotonu
- Foton excituje atom (změna kvantového stavu)
- Atom emituje foton (v 3D je šíření náhodné)

Zajímavé aplikace

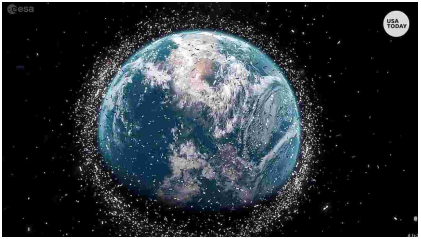
Laserové chlazení hmoty



- Laser s vhodnou vlnovou délkou
- "Stacionární atom" nedochází k absorpci
- Atom se šíří stejným směrem jako foton "red-shift (červený posun)" – nedochází k absorpci
- Atom se šíří proti fotonu "blue-shift (modrý posun)" – absorpce fotonu
- Foton excituje atom (změna kvantového stavu)
- Atom emituje foton (v 3D je šíření náhodné)

Zajímavé aplikace

Likvidace vesmírného smetí



- Problémem jsou malé objekty 1 - 10 cm
- Rychlost smetí až 8050 m·s^{-1}
- Nebezpečí poškození aktivních objektů (satelity, družice, ISS)
- Kinetická energie $E_k = \frac{1}{2} \cdot m\,v^2$

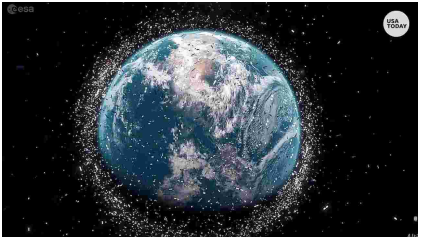
- Samopal vz. 58
- m = 1,5 g
- v = 705 m·s^{-1}
- E ≈ 2 ·10^3 J

- Tenisový míček
- m = 60 g
- v = 73 m·s^{-1}
- E ≈ 160 J

- Al kulička 22 cm^3
- m = 60 g
- v = 8050 m·s^{-1}
- E ≈ 2 ·10^6 J

Zajímavé aplikace

Likvidace vesmírného smetí



- Problémem jsou malé objekty 1 - 10 cm
- Rychlost smetí až 8050 m·s^{-1}
- Nebezpečí poškození aktivních objektů (satelity, družice, ISS)
- Kinetická energie $E_k = \frac{1}{2} \cdot m\,v^2$

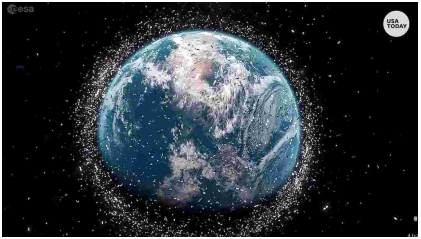
- Samopal vz. 58
- m = 1,5 g
- v = 705 m·s^{-1}
- E ≈ 2 ·10^3 J

- Tenisový míček
- m = 60 g
- v = 73 m·s^{-1}
- E ≈ 160 J

- Al kulička 22 cm^3
- m = 60 g
- v = 8050 m·s^{-1}
- E ≈ 2 ·10^6 J

Zajímavé aplikace

Likvidace vesmírného smetí



- Problémem jsou malé objekty 1 - 10 cm
- Rychlost smetí až 8050 m·s^{-1}
- Nebezpečí poškození aktivních objektů (satelity, družice, ISS)
- Kinetická energie $E_k = \frac{1}{2} \cdot m\,v^2$

- Samopal vz. 58
- m = 1,5 g
- v = 705 m·s^{-1}
- E ≈ 2 ·10^3 J

- Tenisový míček
- m = 60 g
- v = 73 m·s^{-1}
- E ≈ 160 J

- Al kulička 22 cm^3
- m = 60 g
- v = 8050 m·s^{-1}
- E ≈ 2 ·10^6 J

Zajímavé aplikace

Likvidace vesmírného smetí

- Problémem jsou malé objekty 1 - 10 cm
- Rychlost smetí až 8050 $m \cdot s^{-1}$
- Nebezpečí poškození aktivních objektů (satelity, družice, ISS)
- Kinetická energie $E_k = \frac{1}{2} \cdot m\,v^2$

- Samopal vz. 58
- m = 1,5 g
- v = 705 $m \cdot s^{-1}$
- E ≈ 2 ·10^3 J

- Tenisový míček
- m = 60 g
- v = 73 $m \cdot s^{-1}$
- E ≈ 160 J

- Al kulička 22 cm^3
- m = 60 g
- v = 8050 $m \cdot s^{-1}$
- E ≈ 2 ·10^6 J

Zajímavé aplikace

Likvidace vesmírného smetí

- Problémem jsou malé objekty 1 - 10 cm
- Rychlost smetí až 8050 m·s^{-1}
- Nebezpečí poškození aktivních objektů (satelity, družice, ISS)
- Kinetická energie $E_k = \frac{1}{2} \cdot m\,v^2$

- Samopal vz. 58
- m = 1,5 g
- v = 705 m·s^{-1}
- E ≈ 2 ·10^3 J

- Tenisový míček
- m = 60 g
- v = 73 m·s^{-1}
- E ≈ 160 J

- Al kulička 22 cm^3
- m = 60 g
- v = 8050 m·s^{-1}
- E ≈ 2 ·10^6 J

Zajímavé aplikace

Likvidace vesmírného smetí

- Problémem jsou malé objekty 1 - 10 cm
- Rychlost smetí až 8050 m·s^{-1}
- Nebezpečí poškození aktivních objektů (satelity, družice, ISS)
- Kinetická energie $E_k = \frac{1}{2} \cdot m\,v^2$

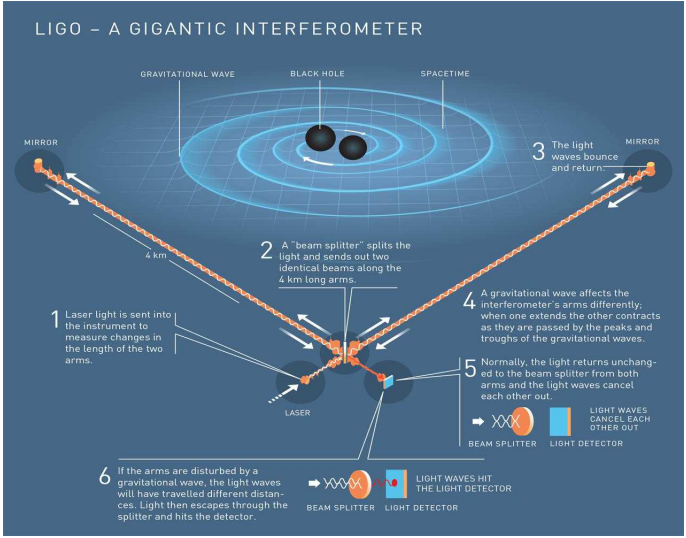
- Samopal vz. 58
- m = 1,5 g
- v = 705 m·s^{-1}
- E ≈ 2 ·10^3 J

- Tenisový míček
- m = 60 g
- v = 73 m·s^{-1}
- E ≈ 160 J

- Al kulička 22 cm^3
- m = 60 g
- v = 8050 m·s^{-1}
- E ≈ 2 ·10^6 J

Výzkum

Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory – LIGO



- Laser Nd:YAG (1064 nm)
- Ramena dlouhá 4 km
- Zrcadla 40 kg, křemenné sklo
- Vakuum 10^{-7} Pa
- Signál na detektoru je ovlivněn změnou délky ramen
- Gravitační vlny (2016)

Výzkum

Fúzní reaktor?

Několik metod udržení fúze

- Bez udržení – vodíková puma (1952 Ivy Mike)
- Magnetické – Tokamak (1958)
- Elektrostatické –Fusor (1964)
- Inerciální – NIF LLNL (2010)

Výzkum

Fúzní reaktor?

Několik metod udržení fúze

- Bez udržení – vodíková puma (1952 Ivy Mike)
- Magnetické – TOKAMAK (1958)
- Elektrostatické –FUSOR (1964)
- Inerciální – NIF LLNL (2010)

Výzkum

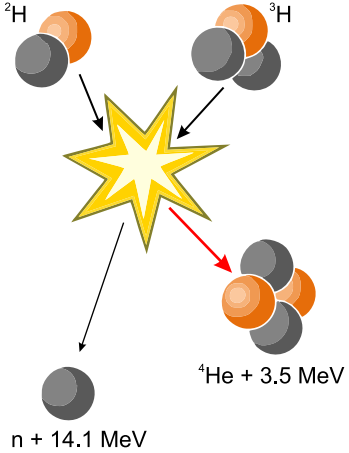
Fúzní reaktor?

Několik metod udržení fúze

- Bez udržení – vodíková puma (1952 Ivy Mike)
- Magnetické – TOKAMAK (1958)
- Elektrostatické –FUSOR (1964)
- Inerciální – NIF LLNL (2010)

Výzkum

National Ignition Facility – NIF



Inerciální fúze

- Slučování jader lehkých prvků
- Terčová komora – interakce fotonů s palivem
- Laser Nd:Sklo (1064 nm) → zesílení → generace 3-tí harmonické
- Vlnová délka 354 nm interaguje s kapslí
- Konverze do X-ray a interakce s palivem

Výzkum

National Ignition Facility – NIF

Inerciální fúze

- Slučování jader lehkých prvků
- Terčová komora – interakce fotonů s palivem
- Laser Nd:Sklo (1064 nm) → zesílení → generace 3-tí harmonické
- Vlnová délka 354 nm interaguje s kapslí
- Konverze do X-ray a interakce s palivem

Výzkum

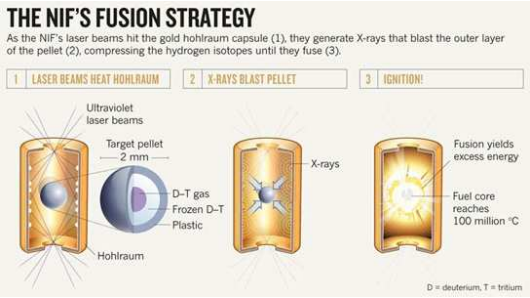
National Ignition Facility – NIF

Inerciální fúze

- Slučování jader lehkých prvků
- Terčová komora – interakce fotonů s palivem
- Laser Nd:Sklo (1064 nm) $\rightarrow$ zesílení $\rightarrow$ generace 3-tí harmonické
- Vlnová délka 354 nm interaguje s kapslí
- Konverze do X-ray a interakce s palivem

Výzkum

National Ignition Facility – NIF

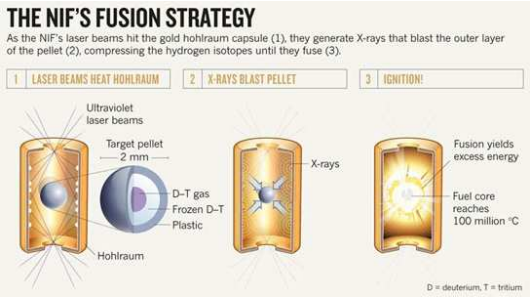


Inerciální fúze

- Slučování jader lehkých prvků
- Terčová komora – interakce fotonů s palivem
- Laser Nd:Sklo (1064 nm) $\rightarrow$ zesílení $\rightarrow$ generace 3-tí harmonické
- Vlnová délka 354 nm interaguje s kapslí
- Konverze do X-ray a interakce s palivem

Výzkum

National Ignition Facility – NIF

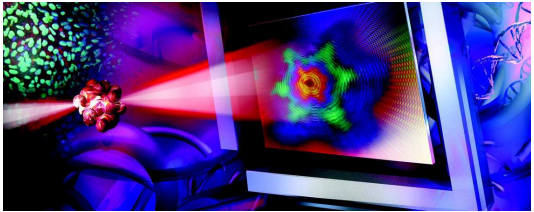


Inerciální fúze

- Slučování jader lehkých prvků
- Terčová komora – interakce fotonů s palivem
- Laser Nd:Sklo (1064 nm) $\rightarrow$ zesílení $\rightarrow$ generace 3-tí harmonické
- Vlnová délka 354 nm interaguje s kapslí
- Konverze do X-ray a interakce s palivem

Výzkum

ELI – Extreme Light Infrastructure, HiLASE



ELI

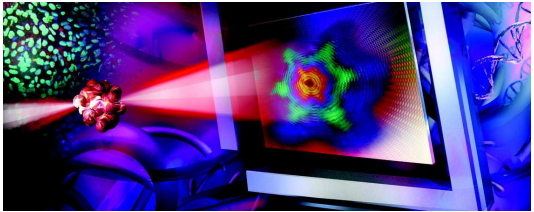
- Generace pikosekundových pulsů
- Špičkový výkon 10 PW = 10^{16}W
- Nové možnosti zkoumání hmoty
- Fyzika plasmatu, X-ray zdroje, lasery

HiLASE

- Vývoj pevnolátkových laserů s vysokým středním výkonem
- Aplikace pro průmysl (tvrzení materiálů, mikroobrábění)
- Testy odolnosti optických součástek

Výzkum

ELI – Extreme Light Infrastructure, HiLASE



ELI

- Generace pikosekundových pulsů
- Špičkový výkon 10 PW = 10^{16}W
- Nové možnosti zkoumání hmoty
- Fyzika plasmatu, X-ray zdroje, lasery

HiLASE

- Vývoj pevnolátkových laserů s vysokým středním výkonem
- Aplikace pro průmysl (tvrzení materiálů, mikroobrábění)
- Testy odolnosti optických součástek

Shrnutí

- Teoretický základ laseru – 20. léta 20 století (Albert Einstein)
- Vznik laseru je spojen se začátky kvantové mechaniky
- První funkční laser – rok 1960 (Theodore Maiman)
- Kvantový generátor světla využívající procesů absorpce, emise a stimulované emise
- Aktivní prostředí, rezonátor, buzení a chlazení
- Laser generuje – koherentní a monochromatické záření s velkým jasem a malou divergencí
- Využití ve většině odvětví lidské činnosti!
- Průmysl, medicína, základní výzkum, armáda, policie

Shrnutí

- Teoretický základ laseru – 20. léta 20 století (Albert Einstein)
- Vznik laseru je spojen se začátky kvantové mechaniky
- První funkční laser – rok 1960 (Theodore Maiman)
- Kvantový generátor světla využívající procesů absorpce, emise a stimulované emise
- Aktivní prostředí, rezonátor, buzení a chlazení
- Laser generuje – koherentní a monochromatické záření s velkým jasem a malou divergencí
- Využití ve většině odvětví lidské činnosti!
- Průmysl, medicína, základní výzkum, armáda, policie

Shrnutí

- Teoretický základ laseru – 20. léta 20 století (Albert Einstein)
- Vznik laseru je spojen se začátky kvantové mechaniky
- První funkční laser – rok 1960 (Theodore Maiman)
- Kvantový generátor světla využívající procesů absorpce, emise a stimulované emise
- Aktivní prostředí, rezonátor, buzení a chlazení
- Laser generuje – koherentní a monochromatické záření s velkým jasem a malou divergencí
- Využití ve většině odvětví lidské činnosti!
- Průmysl, medicína, základní výzkum, armáda, policie

Shrnutí

- Teoretický základ laseru – 20. léta 20 století (Albert Einstein)
- Vznik laseru je spojen se začátky kvantové mechaniky
- První funkční laser – rok 1960 (Theodore Maiman)
- Kvantový generátor světla využívající procesů absorpce, emise a stimulované emise
- Aktivní prostředí, rezonátor, buzení a chlazení
- Laser generuje – koherentní a monochromatické záření s velkým jasem a malou divergencí
- Využití ve většině odvětví lidské činnosti!
- Průmysl, medicína, základní výzkum, armáda, policie

Shrnutí

- Teoretický základ laseru – 20. léta 20 století (Albert Einstein)
- Vznik laseru je spojen se začátky kvantové mechaniky
- První funkční laser – rok 1960 (Theodore Maiman)
- Kvantový generátor světla využívající procesů absorpce, emise a stimulované emise
- Aktivní prostředí, rezonátor, buzení a chlazení
- Laser generuje – koherentní a monochromatické záření s velkým jasem a malou divergencí
- Využití ve většině odvětví lidské činnosti!
- Průmysl, medicína, základní výzkum, armáda, policie

Shrnutí

- Teoretický základ laseru – 20. léta 20 století (Albert Einstein)
- Vznik laseru je spojen se začátky kvantové mechaniky
- První funkční laser – rok 1960 (Theodore Maiman)
- Kvantový generátor světla využívající procesů absorpce, emise a stimulované emise
- Aktivní prostředí, rezonátor, buzení a chlazení
- Laser generuje – koherentní a monochromatické záření s velkým jasem a malou divergencí
- Využití ve většině odvětví lidské činnosti!
- Průmysl, medicína, základní výzkum, armáda, policie

Shrnutí

- Teoretický základ laseru – 20. léta 20 století (Albert Einstein)
- Vznik laseru je spojen se začátky kvantové mechaniky
- První funkční laser – rok 1960 (Theodore Maiman)
- Kvantový generátor světla využívající procesů absorpce, emise a stimulované emise
- Aktivní prostředí, rezonátor, buzení a chlazení
- Laser generuje – koherentní a monochromatické záření s velkým jasem a malou divergencí
- Využití ve většině odvětví lidské činnosti!
- Průmysl, medicína, základní výzkum, armáda, policie

Shrnutí

- Teoretický základ laseru – 20. léta 20 století (Albert Einstein)
- Vznik laseru je spojen se začátky kvantové mechaniky
- První funkční laser – rok 1960 (Theodore Maiman)
- Kvantový generátor světla využívající procesů absorpce, emise a stimulované emise
- Aktivní prostředí, rezonátor, buzení a chlazení
- Laser generuje – koherentní a monochromatické záření s velkým jasem a malou divergencí
- Využití ve většině odvětví lidské činnosti!
- Průmysl, medicína, základní výzkum, armáda, policie

Shrnutí

- Teoretický základ laseru – 20. léta 20 století (Albert Einstein)
- Vznik laseru je spojen se začátky kvantové mechaniky
- První funkční laser – rok 1960 (Theodore Maiman)
- Kvantový generátor světla využívající procesů absorpce, emise a stimulované emise
- Aktivní prostředí, rezonátor, buzení a chlazení
- Laser generuje – koherentní a monochromatické záření s velkým jasem a malou divergencí
- Využití ve většině odvětví lidské činnosti!
- Průmysl, medicína, základní výzkum, armáda, policie

DĚKUJI ZA POZORNOST

LASER – kvantový generátor světla

Univerzita třetího věku

Richard Švejkar

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
Katedra fyzikální elektroniky

richard.svejkar@fjfi.cvut.cz