

- PRIMENE IMPULSNIH LASERA u FH

Osobine laserskog zračenja:

- Intenzivnost
- Monohromatičnost
- Usmerenost
- Koherentnost

E ; $\Delta\tau_{1/2}$ (ms, μ s, ns, ps, fs, as).

P_p (kW; MW; GW; TW; Peta-W; Exa-W).

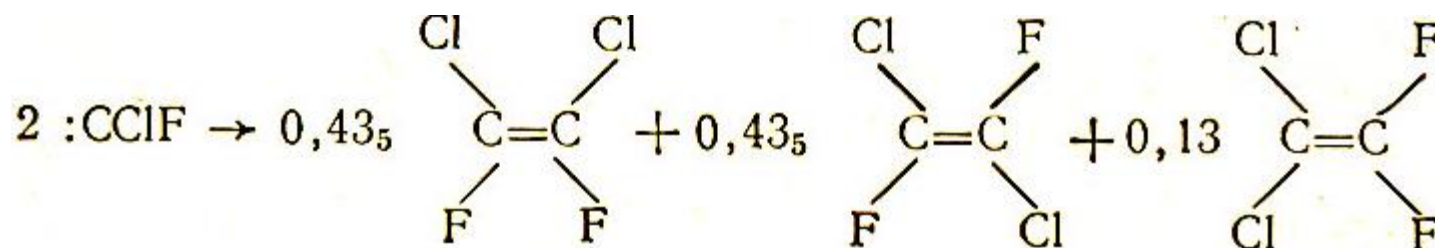
- Las. indukovanje i kontrola hem. reakcija
- Preparativna hemija
- Analitička hemija/Spektrohemijska
- Dijagnostika hemijskih procesa, itd.
- Specifične primene.

- Las. indukovanje i kontrola hem. reakcija

- V i UV; IR laseri.



3.



- Agregatno stanje:

- čvrsti sistem: (matrica, 20K, SF_6 -Argona)

- tečni sistemi: fotoredukcija SmCl_3 /metanol (KrF laser; $\text{Sm}^{+2}/\text{Sm}^{+3}$)

- heterogeni sistemi: adsorb. molekula; tanki slojevi.

- Preparativna hemija

- Lasersko prečiščavanje materijala (LPM)

- Proizvodnja čvrstih preparata (PP)

- Depozicija materijala laserima (LPD)

- Laserska separacija izotopa (LIS)

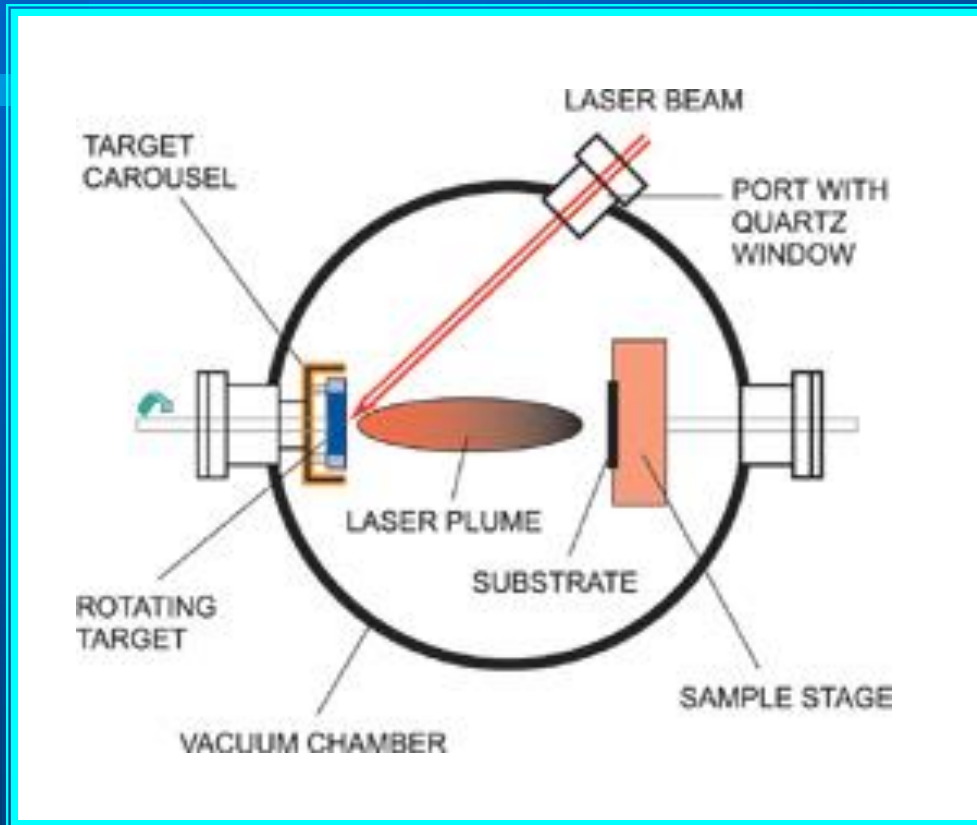
- LPM: a. B_2H_6 iz SiH_4 , (imp. CO_2 laser); $[\text{B}_2\text{H}_6] = 5-10\%$; 5 imp.

b. H_2S (smeša CO i H_2), (ArF); $\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{H}_2 + \text{S}$.

- PP:

a. SiH_4 , NH_3 (CO_2 laser) $\rightarrow \text{Si}_3\text{N}_4$

- LPD metoda/tehnika



Primena: depozicija materijala
(*tankih filmova*) na substratu.

(*D- mikronski i sub-mikronski
domen; npr. TiN/steel; Si- sub.*).

Slika 1. Šematski prikaz LPD metode.

- LIS: $^{32,34}\text{S}$; $^{10,11}\text{B}$; $^{235,238}\text{U}$, itd.

$^{32,33,34,36}\text{S}$

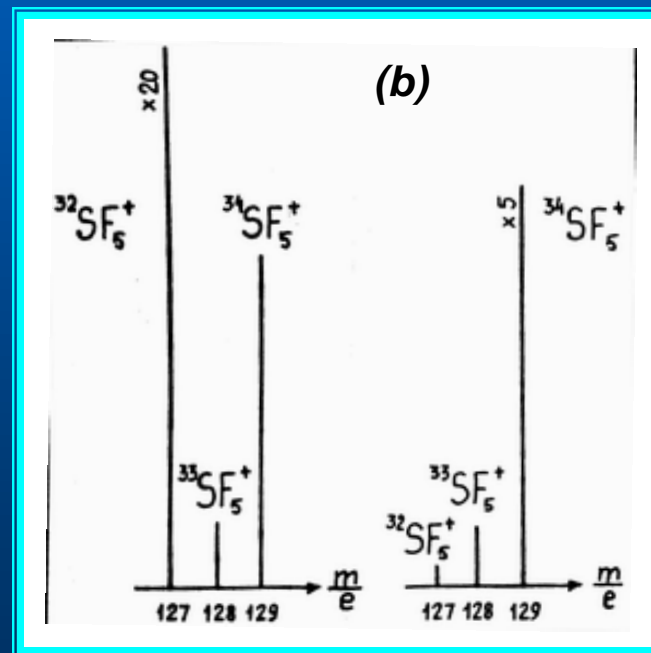
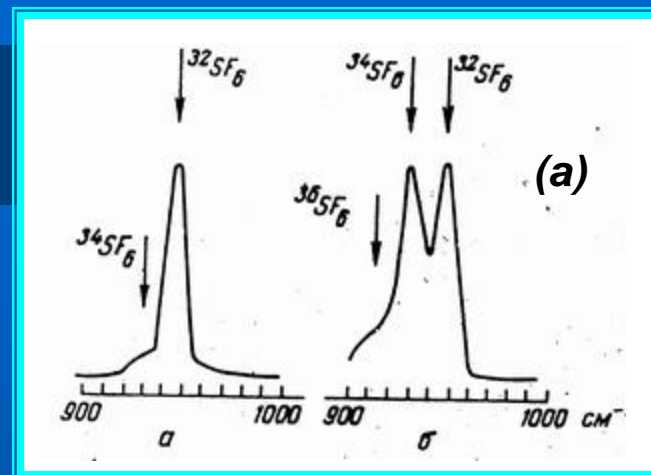
^{32}S - 95%; ^{33}S - 0,75%; ^{34}S - 4,2%; ^{36}S - 0,017%.

$^{32,34}\text{SF}_6$, IR spektar, $\Delta\nu = 17 \text{ cm}^{-1}$;

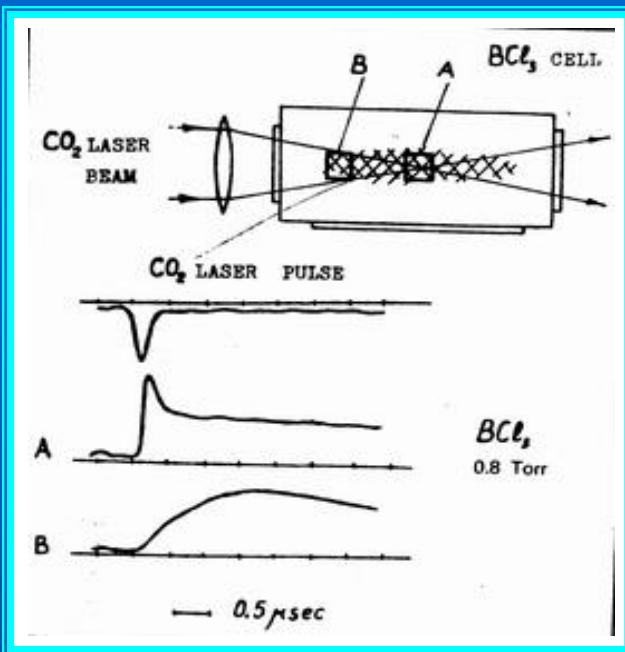
$^{32,34}\text{SF}_6 (\nu_3) \rightarrow (\text{nh}\nu, \text{TEA CO}_2 \text{ laser}; ^{32}\text{S}- 10,56 \mu\text{m}) \rightarrow$
 $\rightarrow \text{SF}_4 + \text{F}_2$

$$\beta(34/32) = \frac{[^{34}\text{SF}_6]^* [^{32}\text{SF}_6]_0}{[^{32}\text{SF}_6]^* [^{34}\text{SF}_6]_0} = 22$$

- ^{34}S , 4,2 \rightarrow 93%; Selective MPD.



Slika 1*. IR (a) i maseni spektar (b) SF_6 pre i nakon ozračivanja.



Slika 2. LIS eksperiment BCl_3 ili SF_6 .

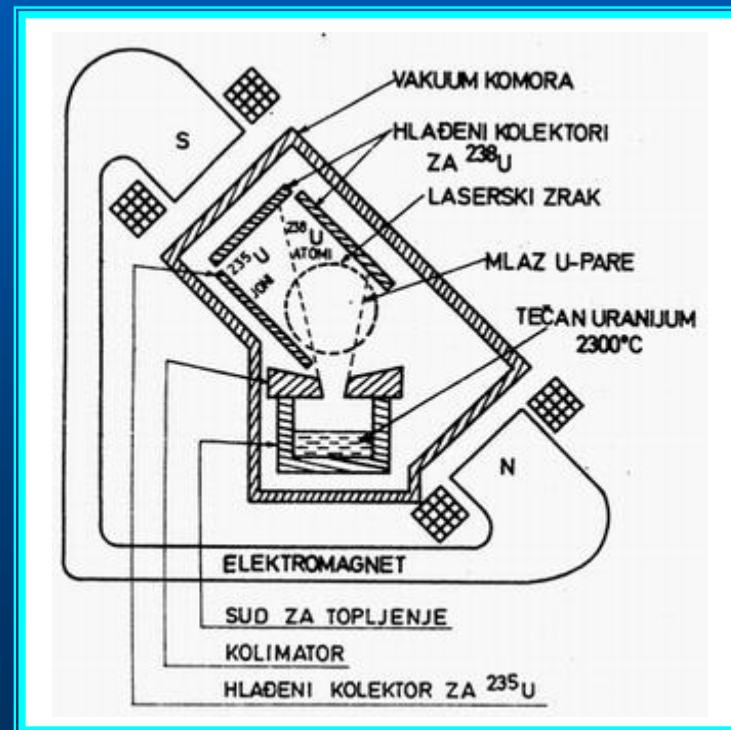
$^{234}\text{U}, ^{235}\text{U}, ^{238}\text{U}$

^{234}U - 0,006%; ^{235}U - 0,71%; ^{238}U - 99,28%

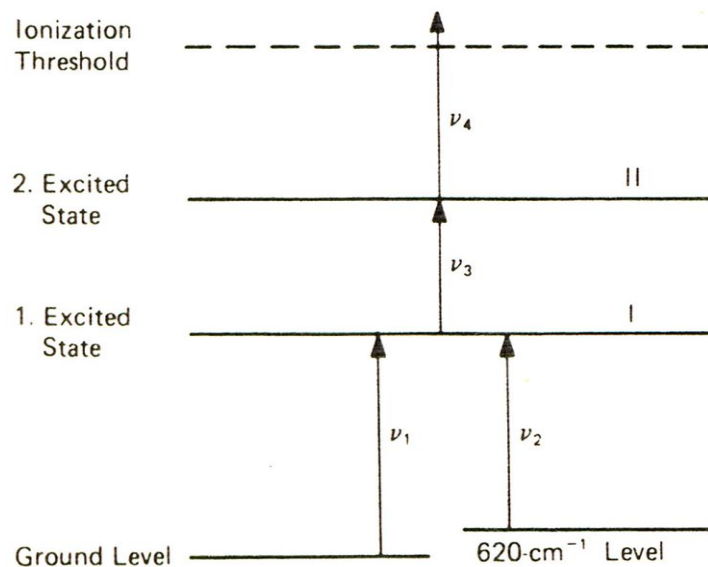
- AVLIS
- MLIS

- Eksp. uslovi: $p = 0,18$ torr $\text{SF}_6 + 2$ torr H_2 ;
 $I = 1-2 \text{ GW/cm}^2$ (fokus).

- AVLIS metoda.

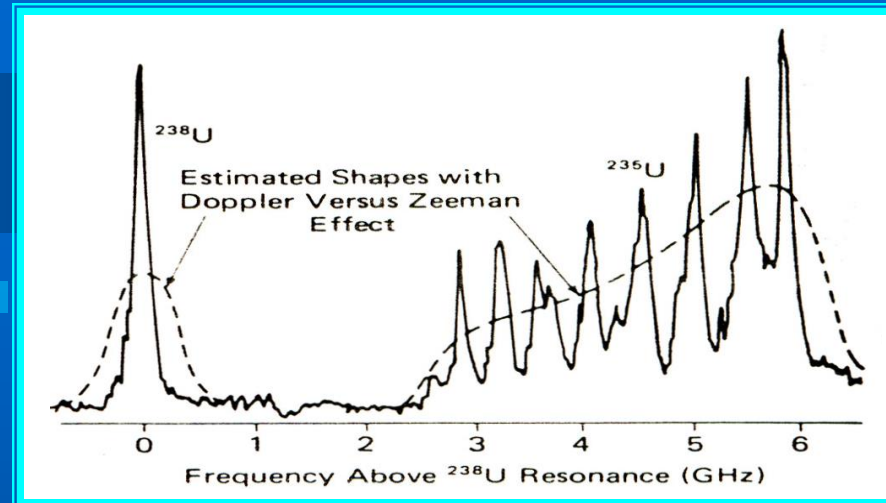


Slika 3. AVLIS eksperiment.

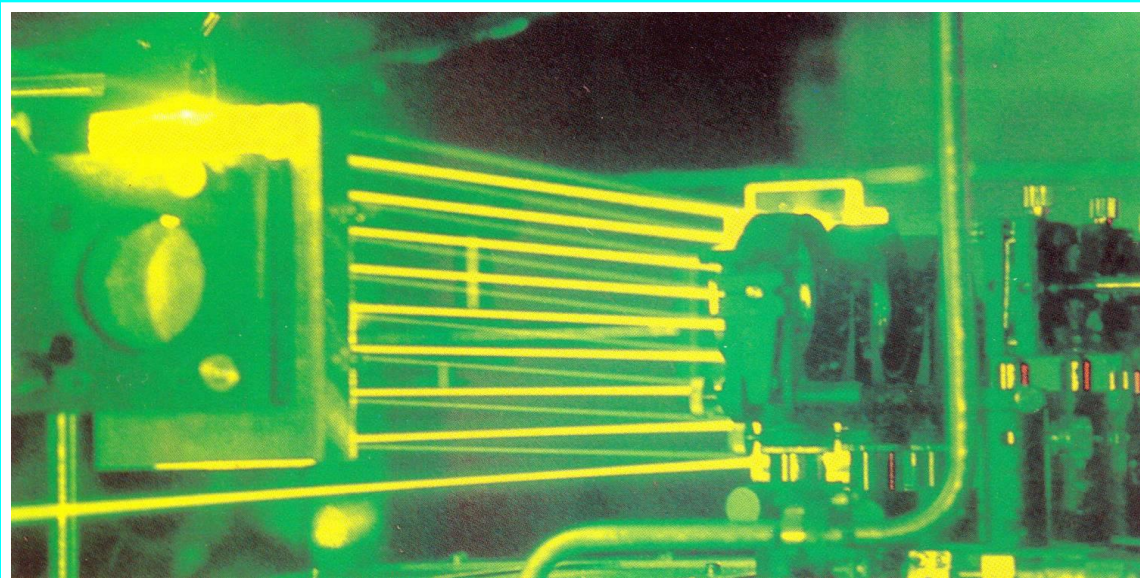


Slika 4. Relevantni nivoi U-izotopa.

- Obogaćivanje: 70%.



Slika 5. Selektivne las. frekvencije.

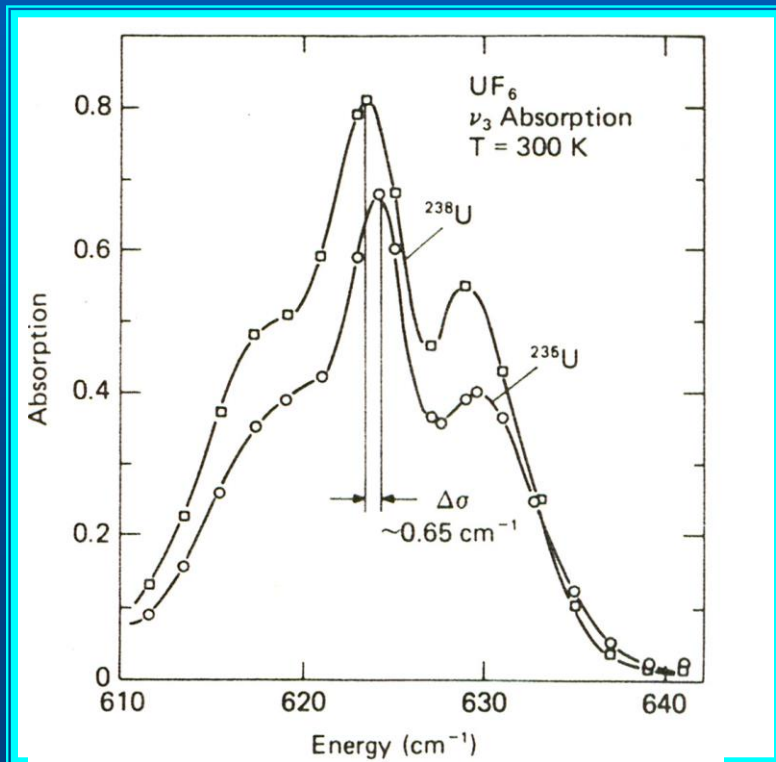


Slika 6. Foto AVLIS eksperimenta.

- MLIS metoda.

$^{235,238}\text{UF}_6$; $^{235,238}\text{U}(\text{OCH}_3)_6$; itd.

$^{235,238}\text{UF}_6$, IR spektar, $\Delta\nu = 0,65 \text{ cm}^{-1}$, ($nh\nu$, $p\text{-H}_2$, $16 \mu\text{m}$; TEA CO_2 laser).



$^{235,238}\text{U}(\text{OCH}_3)_6$,

IR spektar, $\Delta\nu = 0,75 \text{ cm}^{-1}$, ($nh\nu$, TEA CO_2 las.).

Slika 7. IR spektar $^{235,238}\text{UF}_6$.

- Analitička hemija/Spektrohemijska

- HEMIJSKA SPEKTROSKOPIJA SA LASERIMA:

1. Apsorpciona spektroskopija
 - 1.1. Konvencionalna apsorpciona spektroskopija
 - 1.2. Selektivna unutar-rezonatorska spektrosk.
 - 1.3. LIDAR
2. Specijalizovane apsorpcione metode/tehnike
 - 2.1. Ekscitaciona spektroskopija
 - 2.2. Jonizaciona spektroskopija
 - 2.3. Spektroskopija termalnog sočiva
 - 2.4. Fotoakustička spektroskopija
 - 2.5. Optogalvanska spektroskopija
 - 2.6. Laserska magnetna spektroskopija
 - 2.7. Laserska Štarkova spektroskopija
 - 2.8. Druge visoko rezolativne metode

3. Fluorescentna spektroskopija

3.1. Laser-indukovana atomska fluorescen.

3.2. Laser-indukovana molekulska fluores.

4. Raman-ova spektroskopija

5. Specijalizovane Ramanske metode/tehnike

5.1. Rezonantna Ramanova spektroskopija

5.2. Stimulisana Ramanova spektroskopija

5.3. Inverzna Ramanova spektroskopija

5.4. CARS spektroskopija

5.5. Površinska “enhanced” Raman. spek.

5.6. “Raman optical activity”

6. Multifotonska spektroskopija

6.1. “Single-beam two-photon absorption”

6.2. “Double-beam two-photon absorption”

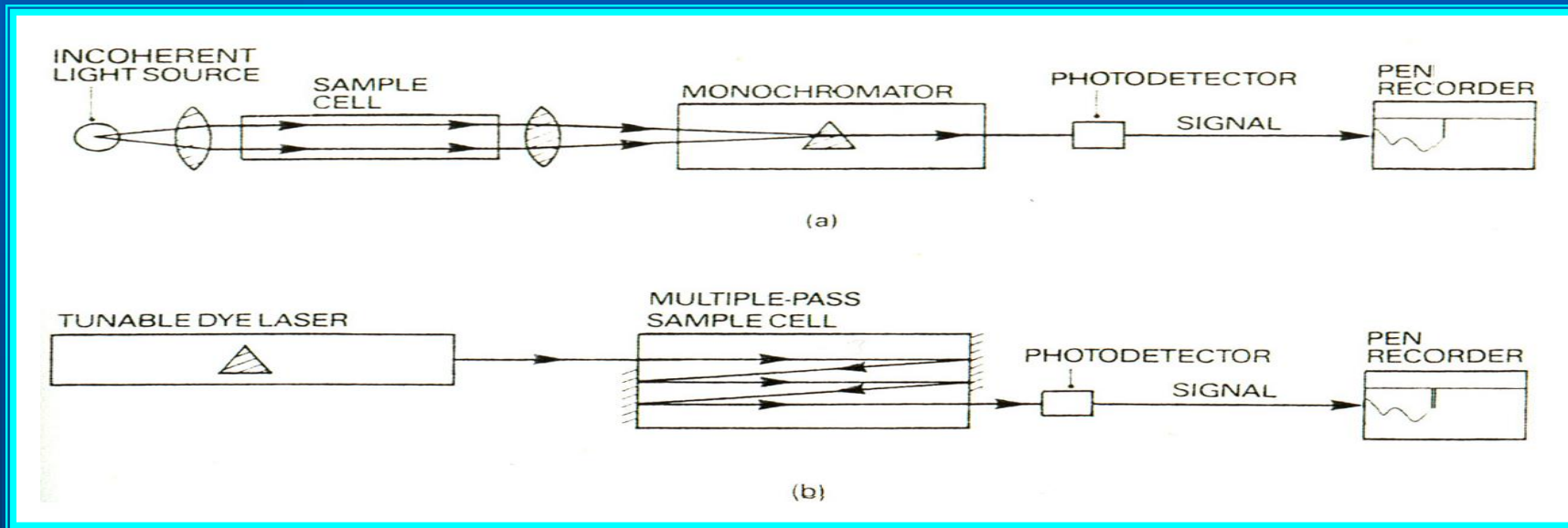
6.3. Multifotonska apsorpciona spek .

6.4. Hiper-Ramanova spektroskopija

7. Laserska masena spektrometrija

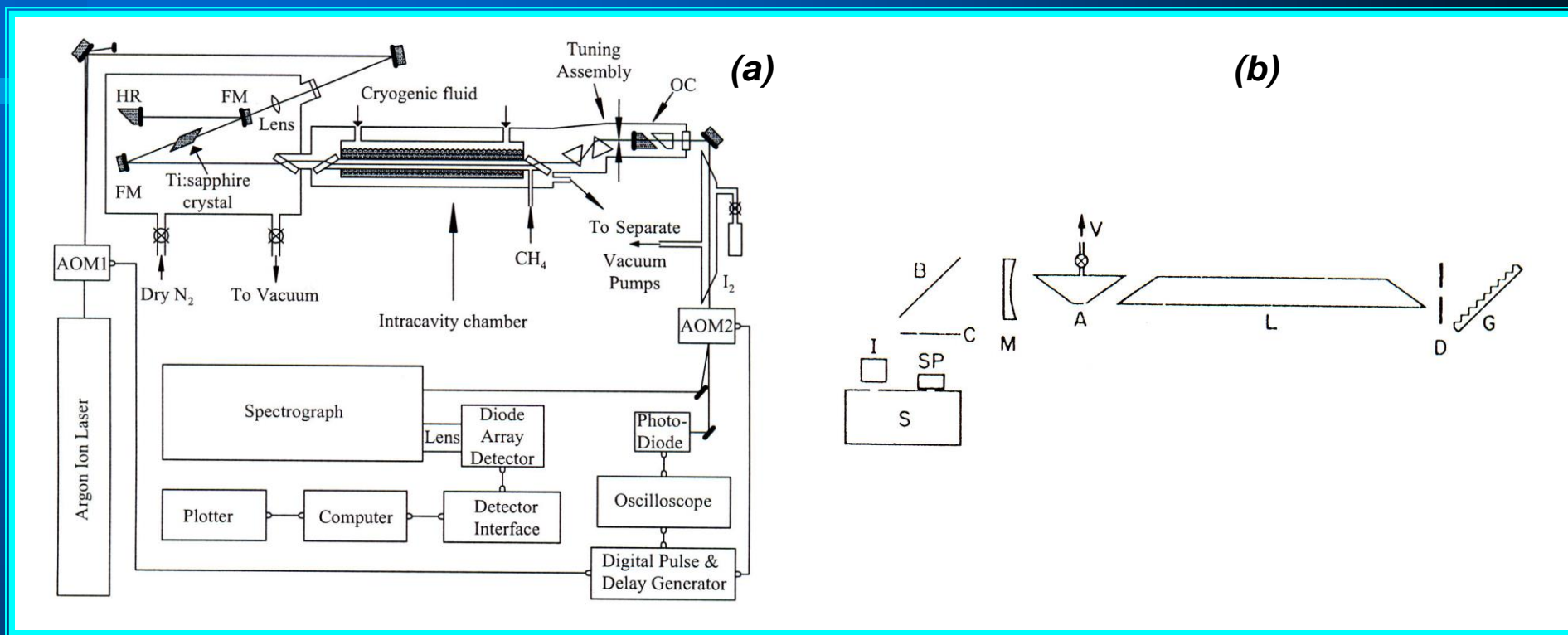
8. “Laser-induced breakdown” spektroskopija

- Konvencionalna apsorpciona spektroskopija



Slika 8. Konvencionalni (a) i laserski (b) spektrometar.

- Selektivna unutar-rezonatorska spektroskopija



Slika 9. SAUL na bazi čvrstotel. (a) i gasnog (b) lasera.

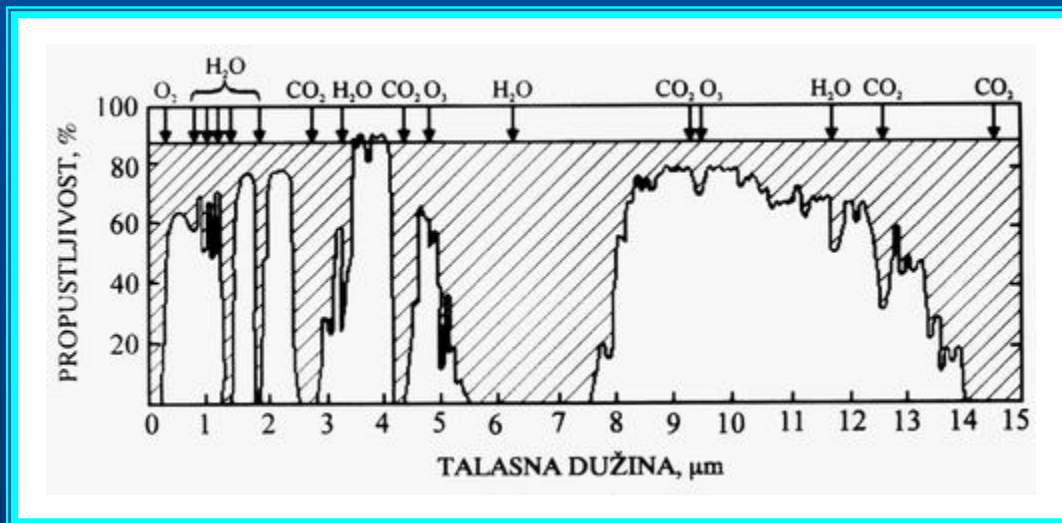
- $n = 1/(1-R)$, (100%, R). R= 99%, $n = 100$. $L = 10\text{cm}$, $L_{\text{eff}} = 10\text{m}$.
- visoka osetljivost: ppm/ppb.

- **LIDAR:**

- **Light Detection And Ranging** (metoda daljinske detekcije; Dye, Nd:YAG, TEA CO₂ laser, itd.).

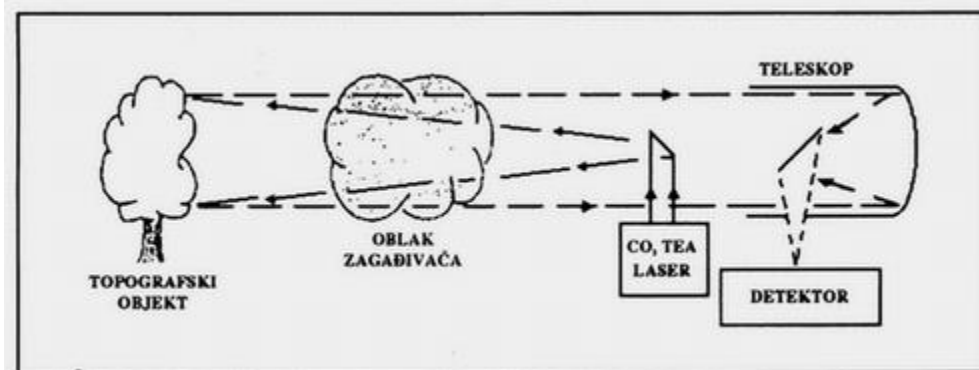
- **Parametri atmosfere:** (i) Sastav atm., (ii) turbulencija atm.,
(iii) temperatura atmosfere.

- **Kvantitativna analiza atmosfere:** TEA CO₂ laser, (C₂H₄, O₃, NH₃, itd.).
(C-C; C-O; C-F; Si-F; S-F; P-O; W-O; S-H; itd.).



Osetljivost metode:
reda ppm do ppb.

Slika 10. Propustljivost atmosfere.



Slika 11. Tipičan LIDAR sistem (topograf. rasejanje).



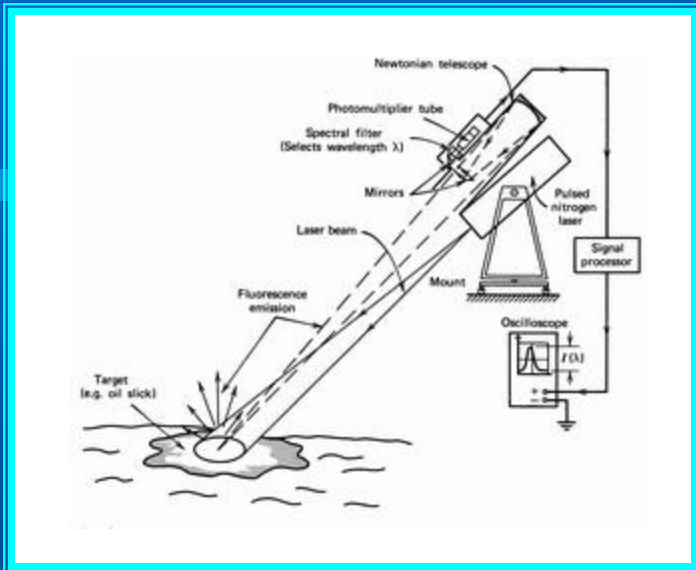
Slika 12. Foto LIDAR-a.

- Metoda DAZ:

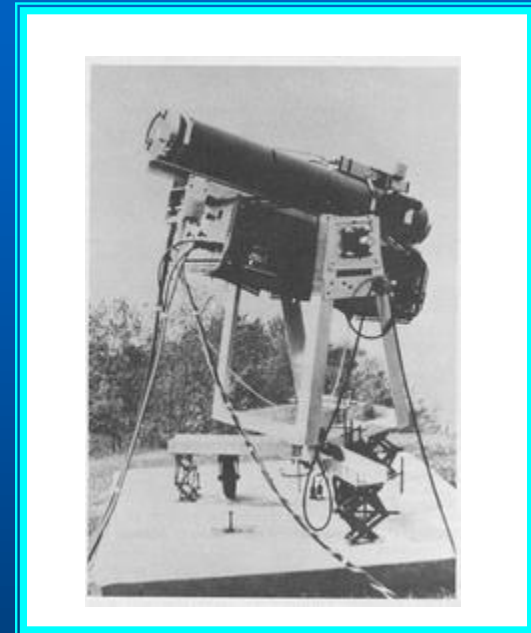
$$p = 1/2L (\alpha_R - \alpha_N) \ln (I_N/I_R).$$

ppm/ppb.

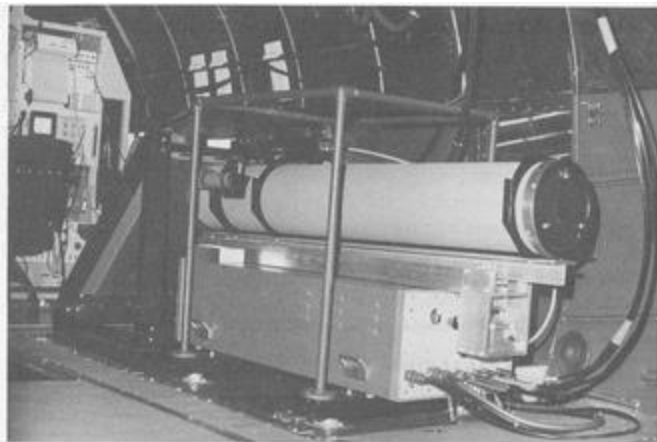
- “Laserski-indukovana fluorescentna” metoda



Slika 13. Šemat. prikaz flurosenzora.

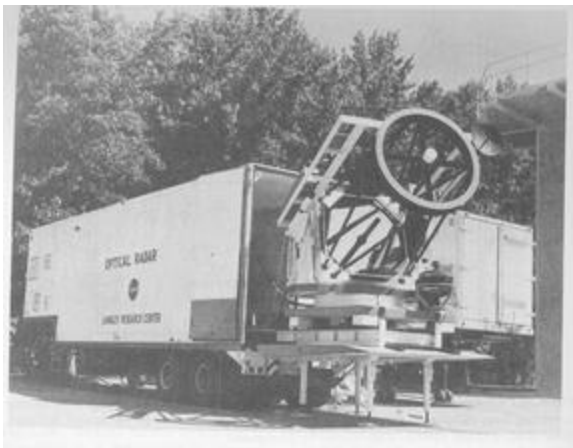


Slika 14. Foto FS.



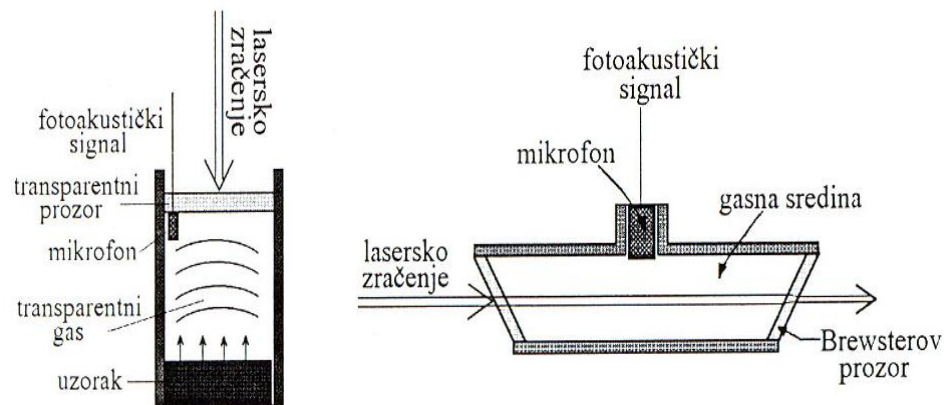
Slika 15. Foto FS.

- Metoda- Ramanovog rasejanja

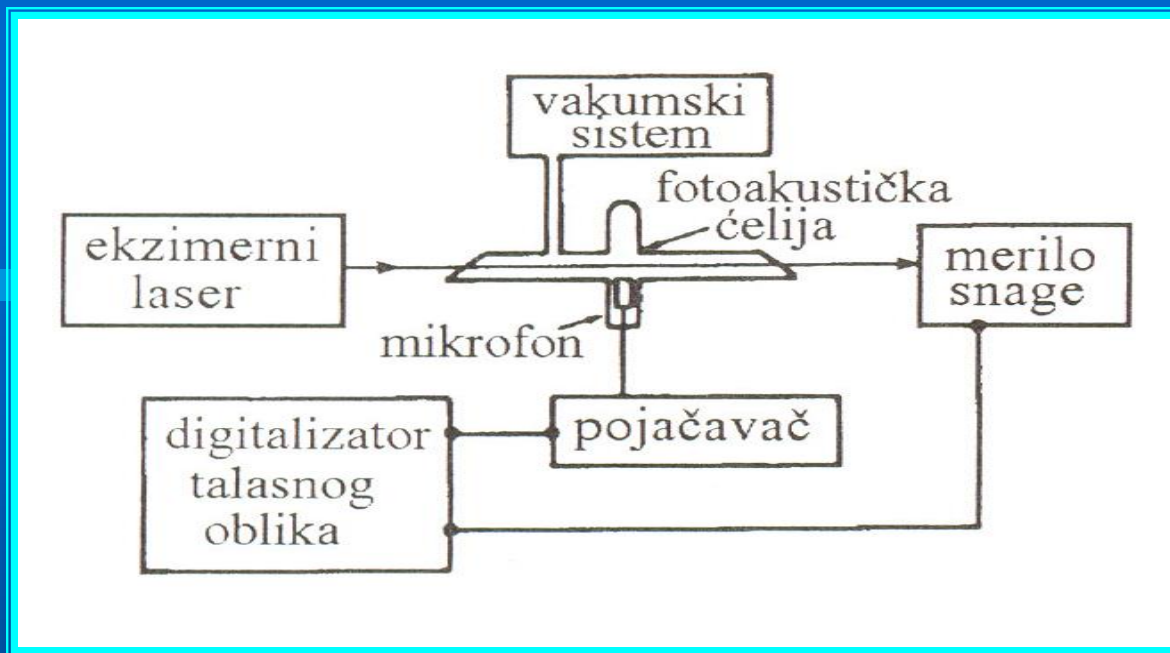


Slika 16. Foto- Sistem sa Ram. rasejanjem.

- Fotoakustička spektroskopija (apsorpciona spektroskopija)



Slika 17. Princip rada FAS.



Slika 18. Laserski FA spektrometar.

- Primena:

- Proučavanje čvrste, tečne, gasovite faze.

(mravlja kiselina- eksc. laser; 30 ppmV).

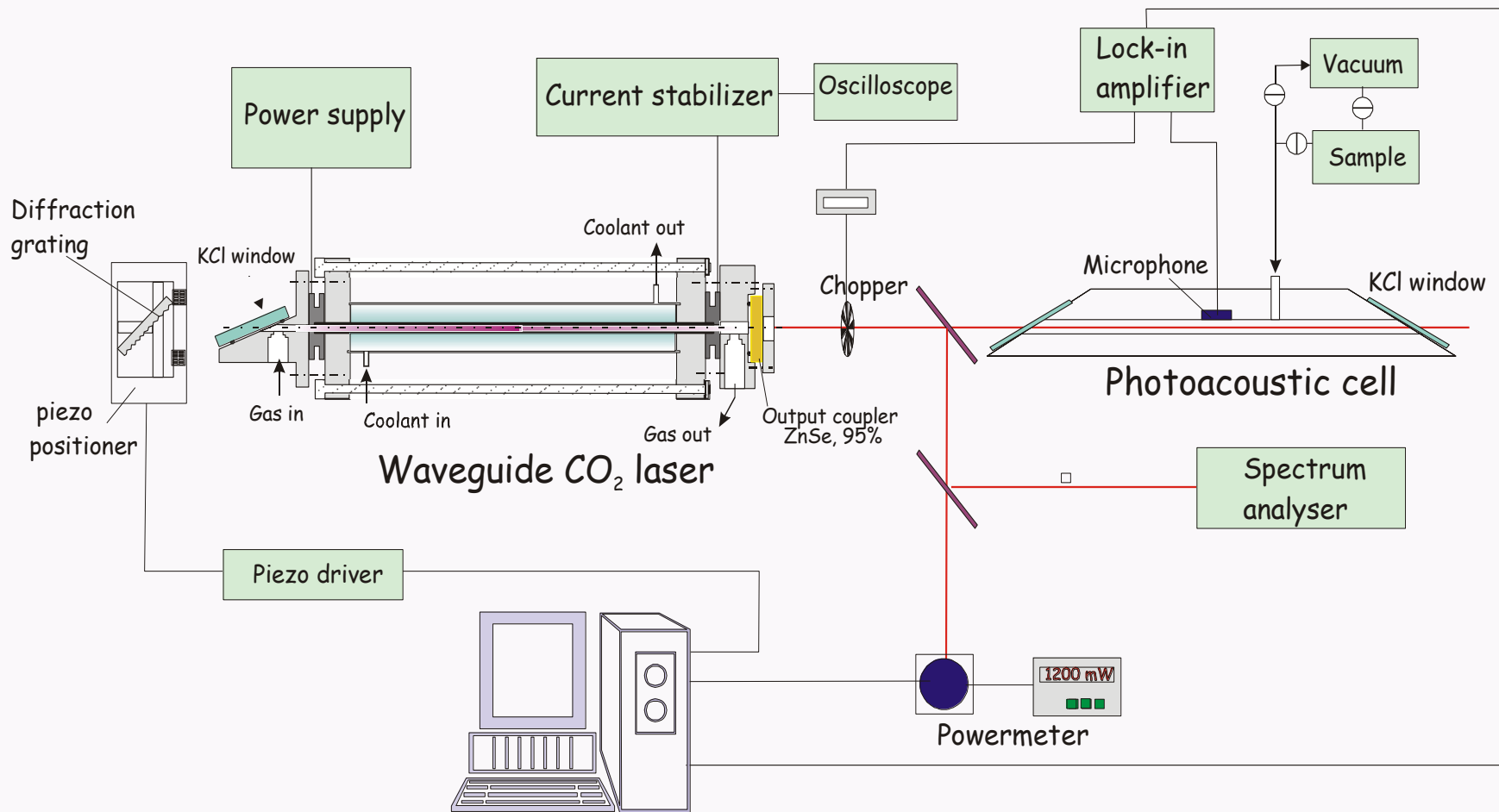


Fig. 19. PA spektrometer baziran na CO₂ laseru.

- Laserski-indukovana molekulska fluorescencija (LIF)

TEA CO₂ las.; MPD C₂H₃CN “propen-nitrile”.

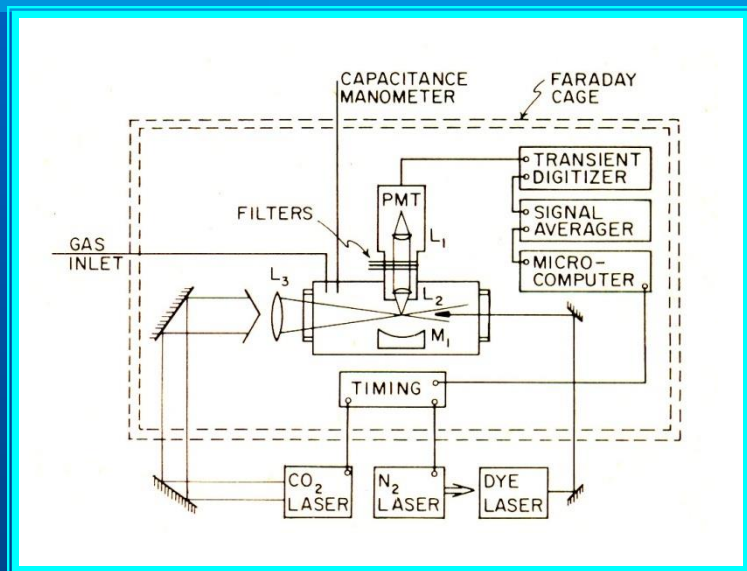


Fig. 20. LIF metoda za monit. CN, C₂ vrste.

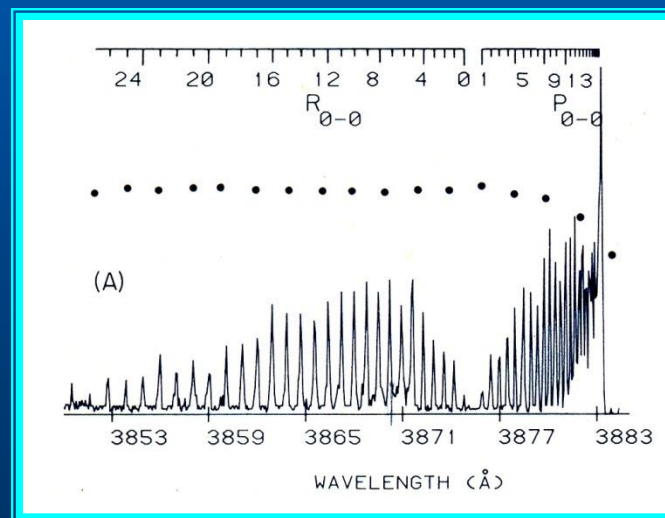
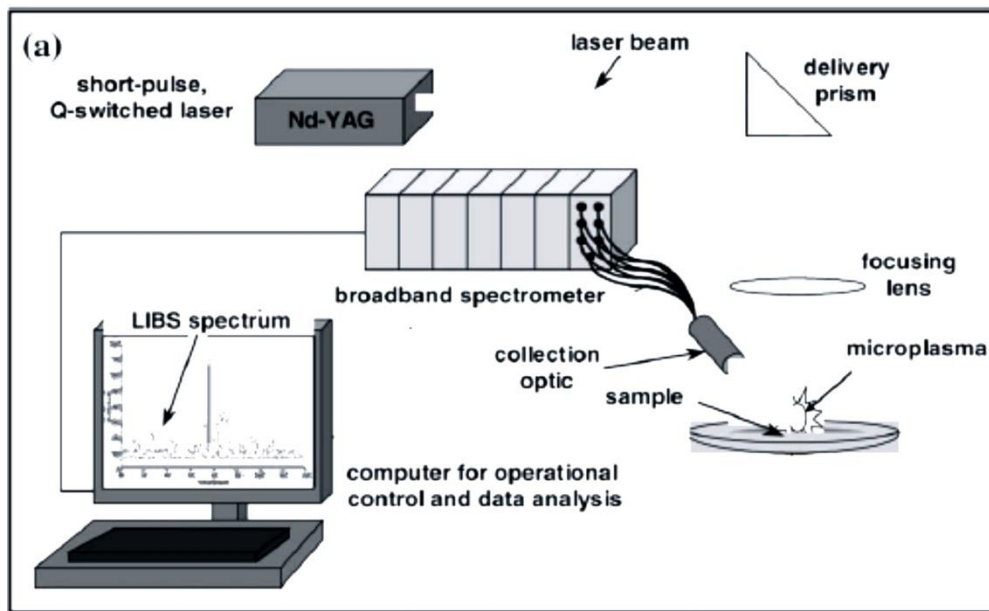


Fig. 21. LIF spektar CN vrste.

- “Laser-induced breakdown” spektroskopija (LIBS)

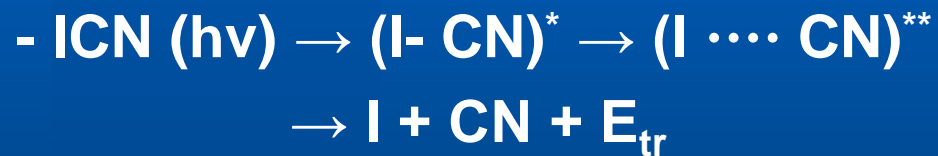


- *Kvalitativna i kvantitativna
analiza elemenata.*

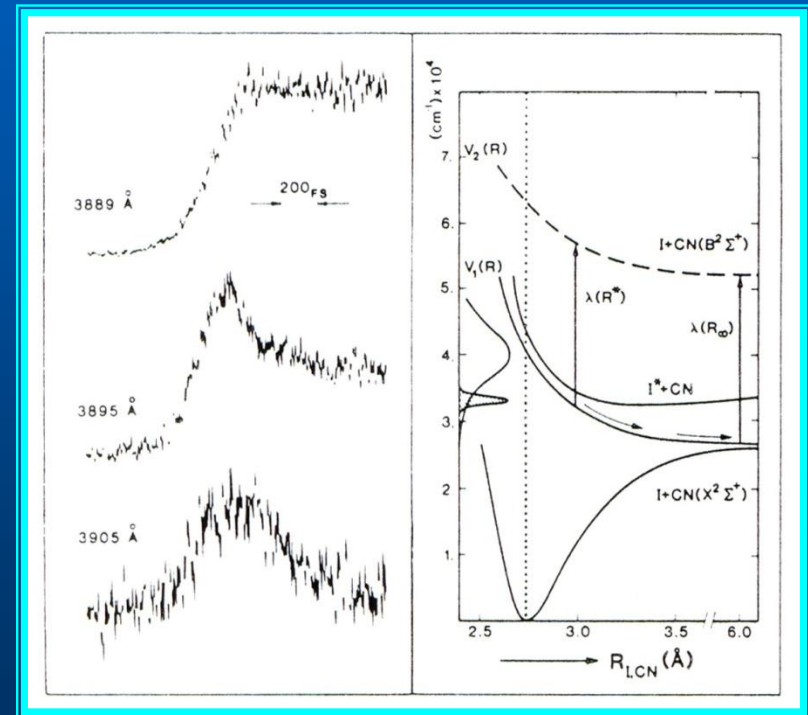
Fig. 22. Šematski prikaz LIBS.

- Dijagnostika hemijskih procesa:

- fs- dijagnostika “transition states” u hemijskim reakcijama



- Zavisnost (t, λ).



Slika 23. Dinamika reakcije dijagnos. fs- laserom.

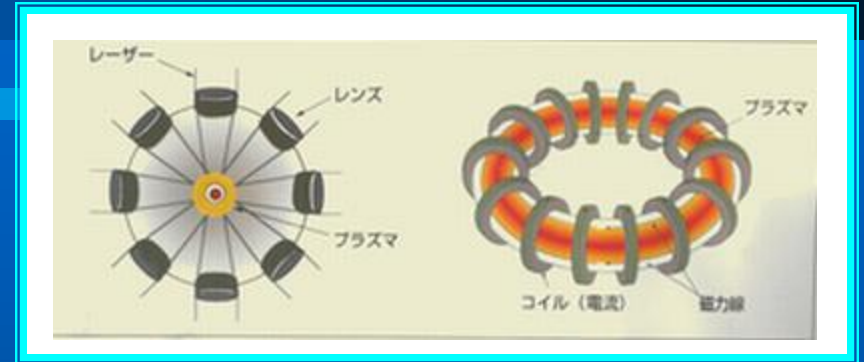
- dodatne **Relevantne primene impulsnih lasera:**

- **Fuzioni eksperiment**
- **Ubrzanje čestica**
- **Modifikacija materijala**

- Fuzioni eksperiment:



Slika 25. Izgled mete.



Slika 24. Inerciona i magnetna konfinirana fuzija.

- Laserske energije:

25 KJ (1ns, 1064 nm)

15 KJ (1ns, 532 nm)

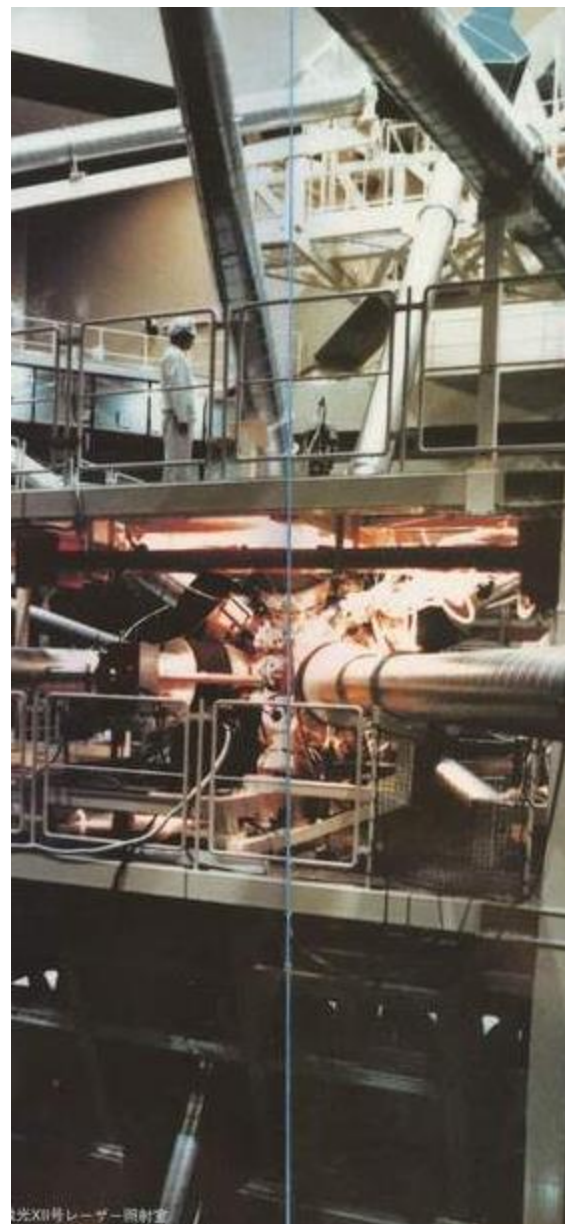
12 KJ (1ns, 350 nm)

- Imp. snaga:

25 TW (1 ns, 1064 nm).



(a)

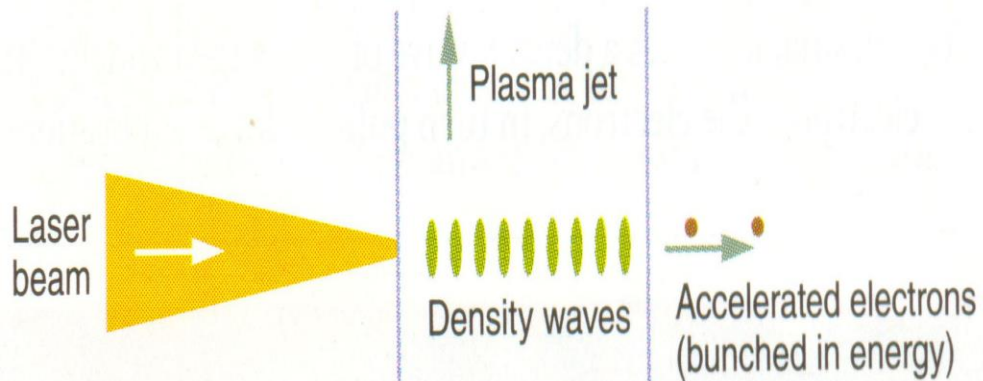


(b)

Slika 26. Postrojenje za fuzioni eksperiment. Laserski sistem (a) i interakc. komora (b).

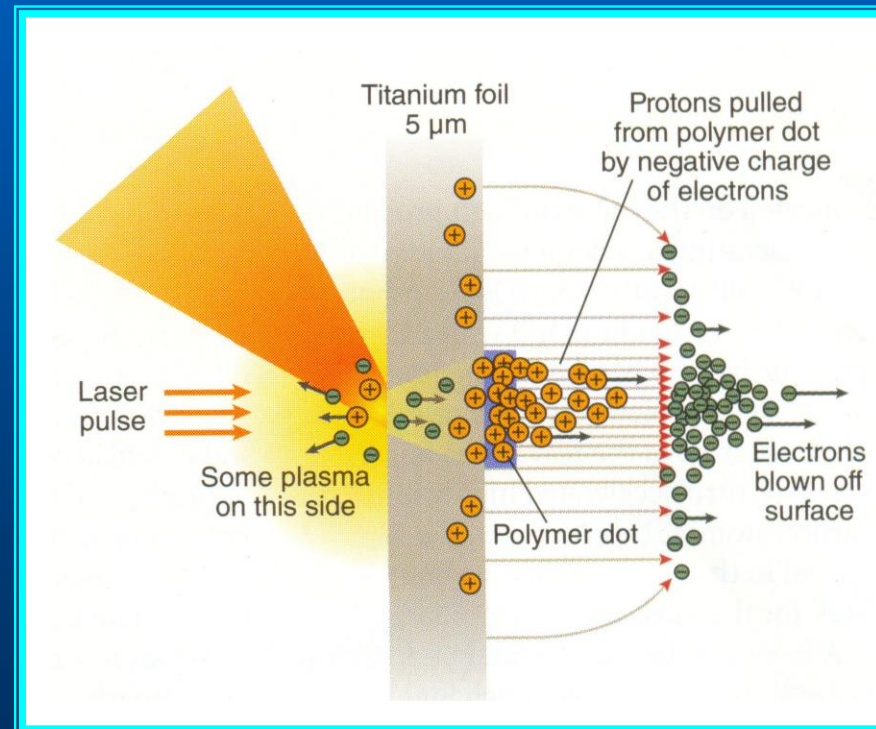
- Ubrzanje čestica:

- $I \geq 10^{19} \text{ W/cm}^2$, fs-laser (80 fs, 10 TW).



Slika 27. Lasersko ubrzanje elektrona.

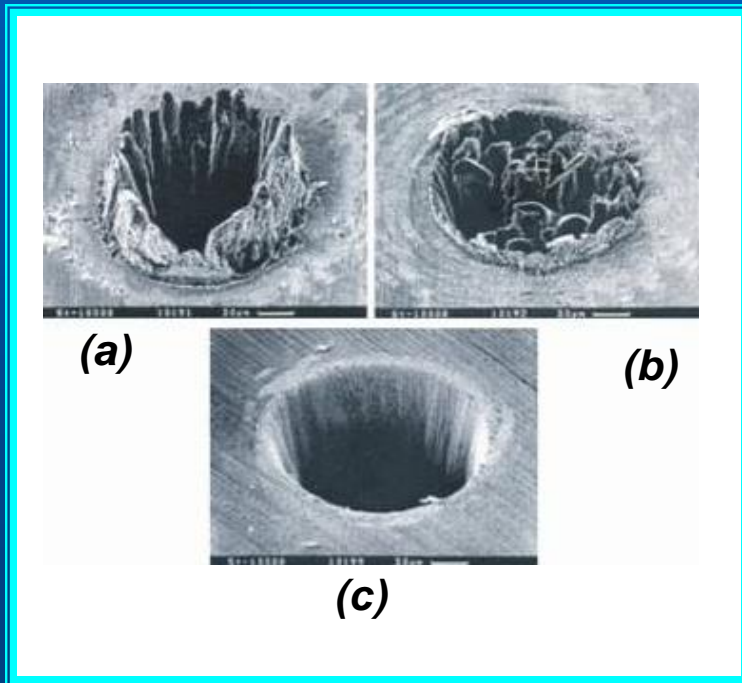
E_e - 100 MeV,
 E_p - 1,2 (173) MeV



Slika 28. Ubrzanje protona.

- Površinska modifikacija materijala:

- Mikro-elektronici
- Senzorskoj tehnologiji
- Radioak. dekonatam., itd.



Slika 29. Modifikacija materijala ns- (a), ps- (b) i fs- (c) laserom.



Slika 30. Površinska dekontaminacija ^{137}Cs laserom.

Zaključak:

- Hemija u laserima.

HVALA NA PAŽNJI.

- NOBELOVCI – laseri/primene:

- A. Prokhorov, N. Basov, C. Townes, (F. 1964.)
- A. Kastler, (F. 1966.)
- D. Gabor, (F. 1971.)
- A. Shawlow, N. Bloemberger, K. Siegbahn, (F. 1981.)
- J. Polanyi, Y. Lee, D. Herschbach, (H. 1986.)
- S. Chu, C. Tannoudji, W. Philips, (F. 1997).
- A. Zewail, (H. 1999.)
- A. Cornell, C. Wieman, K. Wolfgang, (F. 2001.)
- T. Hansch, J. Hall, J. Galuber, (F. 2005.)

