



Fizikalni eksperimenti I. in II.

Uvodno predavanje

Peter Križan

Spletna stran: <http://www-f9.ijs.si/~krizan/sola/p4/fiz-eks.html>

Obseg

- Študent opravi po tri vaje, ki jih izbere izmed vaj, ki so na voljo.
- Ob meritvi vodi dnevnik (v zvezku).
- O vsaki opravljeni vaji napiše poročilo v obsegu kratkega eksperimentalnega članka.
- Ob koncu leta zagovarja vaje, eno izmed opravljenih vaj pa predstavi sošolcem.

Napotki

Poleg **posebnih navodil** za uporabo eksperimentalnih aparatov pri posamezni vaji velja upoštevati naslednje **splošne napotke**:

Najprej se ob uporabi literature, ki je navedena pri vsaki vaji, seznanimo s fizikalnimi osnovami poskusa. Premisli, kako bi poskus izvedel, ter se o tem pogovori s skrbnikom posamezne vaje ali z vodjo praktikuma.

Da dobiš "občutek" za izvedbo poskusa, najprej opravi približno meritve, tako da spreminjaš več spremenljivk pri poskusu.

Realistična eksperimentalna aparatura ima svoje muhe. Nikar ne pričakuj, da te bo skrbnik vaje opozoril na vse. Nekatere boš moral tudi sam odkriti in aparaturo ustrezno popraviti.

Rezultat poskusa nima nobenega pomena, če ne vsebuje podatka o napaki. Upoštevaj statistično napako, kalibracijske napake instrumentov in morebitne izvore sistematičnih napak.

Napotki

Ko misliš, da si končal z eksperimentalnim delom vaje, se pogovori s skrbnikom vaje o svojem delu, idejah in delovnem dnevniku. Na ta način preveriš, ali nisi morda spregledal kakšnega pomembnega dela poskusa. Posvetuj se tudi, kako opisati vajo (predvsem velja to za poročilo o prvi vaji).

Delovni dnevnik

Pomeben del eksperimentalnega dela je vodenje zapiskov v obliki delovnega dnevnika. Pri raziskavah pogosto še zelo dolgo (mesece!) ne vemo, ali je zapisek pomeben ali ne: vsak opis naj bo točen in zaključen.

Zapiski morajo biti čitljivi tudi za druge.

Vsak zapisek mora biti datiran.

Pomaga tudi številčenje strani in kratko kazalo na prvi strani. V poročilo o vaji bo tako možno sklicevanje na sliko iz delovnega dnevnika.

Citiraj literaturo in zapiši kratke povzetke.

Jasno označi posamezne stopnje pri meritvi, zapiši zakaj si se česa lotil!

Delovni dnevnik

Zapiši rezultat vsake meritve, podatke o aparaturi. Ne uporabljaj listkov! Če si pozabil zvezek doma, piši na list in ga nato nalepi v dnevnik! Včasih je ugodno sproti narisati grob diagram merskih rezultatov (to je posebno enostavno pri zvezkih z nizkim karom).

Zapiši rezultate meritev, ne da bi jih na pamet poskušal pretvarjati (recimo kot odklona v volte) ali upoštevati korekcijske faktorje.

Sproti ocenjuj napako meritve. Premisli, ali lahko sistematsko napako določiš na neodvisen način z dodatno meritvijo.

Če uporabljaš svinčnik, ne briši, ampak prečrtaj (mogoče si boš kasneje še enkrat premislil).

Poročilo o meritvi

Ko si končal z meritvijo, pripravi poročilo o meritvi. To naj bo podrobno poročilo o osnovah meritve in tvojih rezultatih. Vodja praktikuma bo prebral le ta del tvojih zapiskov (seveda pa bo želel preveriti kako podrobnost še v delovnem dnevniku).

Poročilo naj ima obliko eksperimentalne znanstvene publikacije. Priporočam naslednjo strukturo:

- Uvod (motivacija),
- Metoda in opis aparature (vključno z podatki o aparaturah, ki si jih uporabil)
- Rezultati meritev,
- Izvori in velikost napak,
- Zaključek
- Seznam literature

Pomembno: ko pišete poročilo, se vprašajte, kaj bi hoteli vedeti o vaji, če je ne bi sami izvajali, ampak bi samo brali poročilo.

Zagovor

Ko si končal z meritvami in pripravil vsa poročila, jih pošlješ v elektronski obliki vodji predmeta (=meni).

Kakšna dva do tri dni kasneje je potem lahko zagovor vaj.

Pri zagovoru z vodjo predmeta skupaj pogledata

- Poročila
- Delovni dnevnik
- Pri vsaki vaji obdelata par zanimivih podrobnosti (posebno tiste, ki niso našle poti v poročilo...).

Tipično: kako ustvarimo potreben vakuum, kako si detektiral nevtrone...

Literatura

Pregled vaj lahko najdete na:

<http://www-f9.ijs.si/~krizan/sola/p4/fiz-eks-pregled.pdf>

Napotki: <http://www-f9.ijs.si/~krizan/sola/p4/fiz-eks-napotki.pdf>

Ob vsaki vaji je navedena literatura, ki jo skrbnik vaje predlaga kot čtivo pred začetkom vaje.

Splošna literatura:

- A. Likar, Fizikalna merjenja I in II
- W.R. Leo, Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments, Springer, 1987.
- B.P. Roe, Probability and statistics in experimental physics, Springer 1992.

Seznam vaj

- Meritev kompleksne dielektrične konstante, P3 (Z. Kutnjak)
- Optična interferometrija, P3 (T. Mertelj)
- Optična korelacijska spektroskopija, IJS (I. Drevenšek-Olenik)
- Življenjski čas miona, P4 (R. Pestotnik)
- Določitev masne razlike $m(D^*)-m(D)$, IJS (M. Bračko)
- Polprevodniški detektorji, P4 (G. Kramberger)
- Uklonska slika s posameznimi fotoni, P4 (R. Pestotnik)

Seznam vaj

- Pozitronska tomografija (PET), P4 (R. Pestotnik)
- Kontrast pri slikanju z jedrsko magnetno resonanco, IJS (I. Serša)
- Diagnostika plazme z električnimi sondami, Reaktor (T. Gyergyek)
- Metoda PIXE (protonsko vzbujeni žarki X), Reaktor (M. Kavčič)
- Metoda EXAFS: strukturna analiza, IJS (I. Arčon)

Seznam vaj

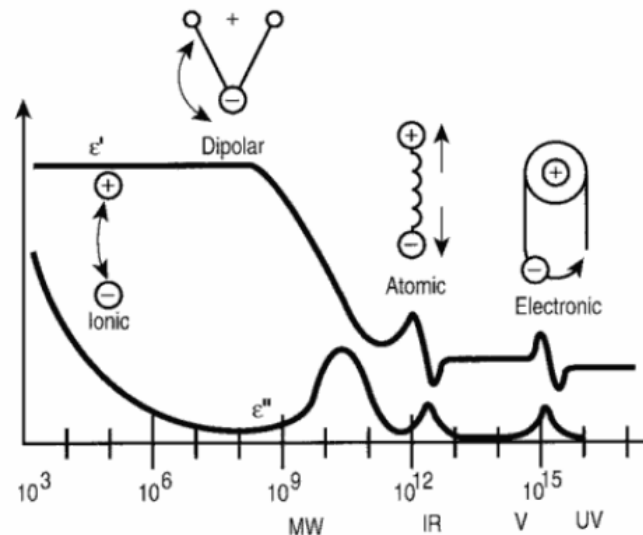
- Atomska zgradba kristalnih površin, IJS (E. Zupanič)
- Reaktor: pulzni eksperiment (L. Snoj)
- Reaktor: Vplivi na reaktivnost reaktorja, Reaktor (L. Snoj)
- Hertzprung-Russelov diagram, Observatorij Golovec (B.Dintinjana)
- LIDAR, IJS (M.Zavrtanik)

Pregled vaj

Merjenje dielektričnosti

1. Merjenje frekvenčne odvisnosti (20 Hz – 1MHz) realnega in imaginarnega dela kompleksne dielektrične funkcije. Določitev relaksacijske frekvence, statične dielektrične konstante in jakosti dielektrične relaksacije.

Vzorca: feroelektrični tekoči kristal v SmC* fazi in keramika *PLZT*.

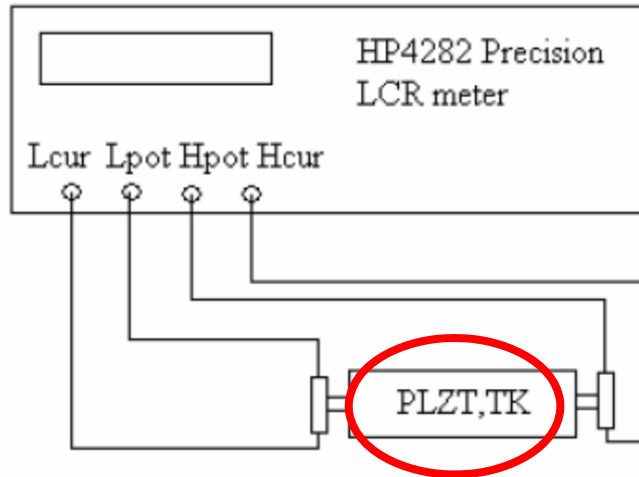


2. Merjenje temperature odvisnosti realnega in imaginarnega dela dielektrične funkcije pri 1kHz.

Vzorec: feroelektrični kristal *triglicin sulfat* – α alanin (TGS)

Merjenje dielektričnosti

1. $\epsilon = \epsilon(\omega)$



$$\epsilon' = C / C_0$$

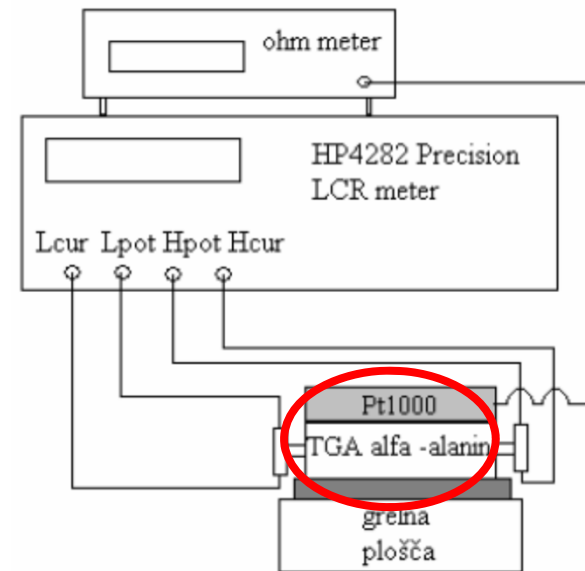
$$\epsilon'(T, \omega) = \epsilon_\infty + \Delta\epsilon(T) / (1 + \omega^2 \tau(T)^2)$$

$$\epsilon'' = G / \omega C_0$$

$$\epsilon''(T, \omega) = \Delta\epsilon(T) \omega \tau(T) / (1 + \omega^2 \tau(T)^2)$$

$$\Delta\epsilon = \epsilon_s - \epsilon_\infty$$

2.



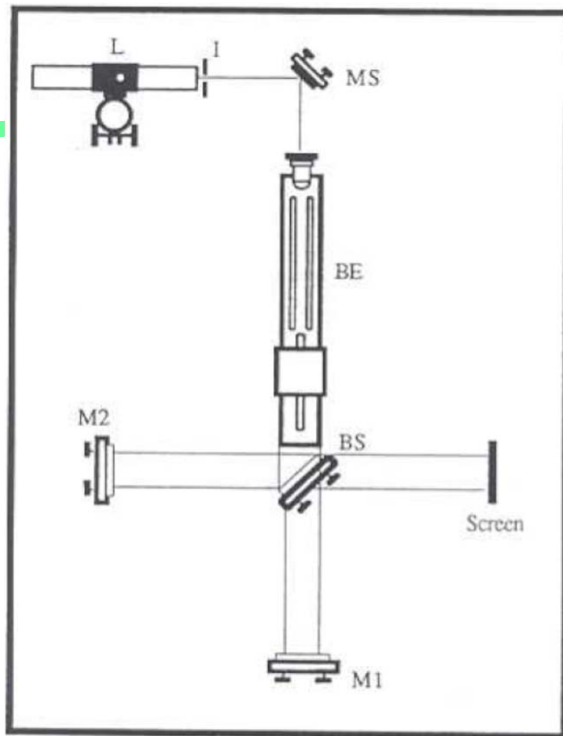
$$\epsilon' = C / C_0 \quad \longrightarrow \quad \epsilon'(T)$$

$$\epsilon'' = G / \omega C_0 \quad \longrightarrow \quad \epsilon''(T)$$

$$T(K) = a + bR_{PT} + cR_{PT}^2$$

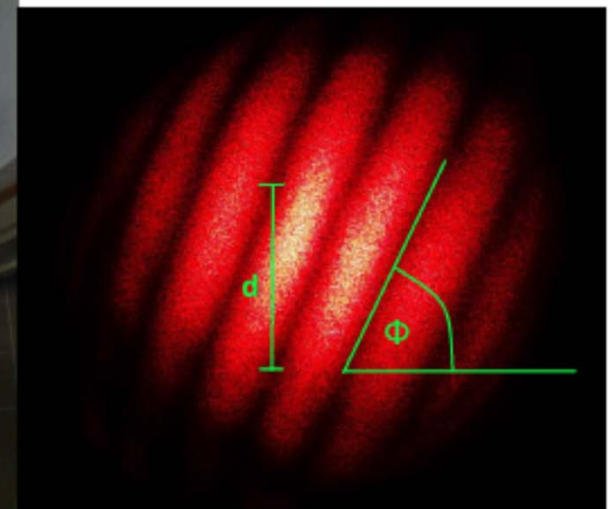
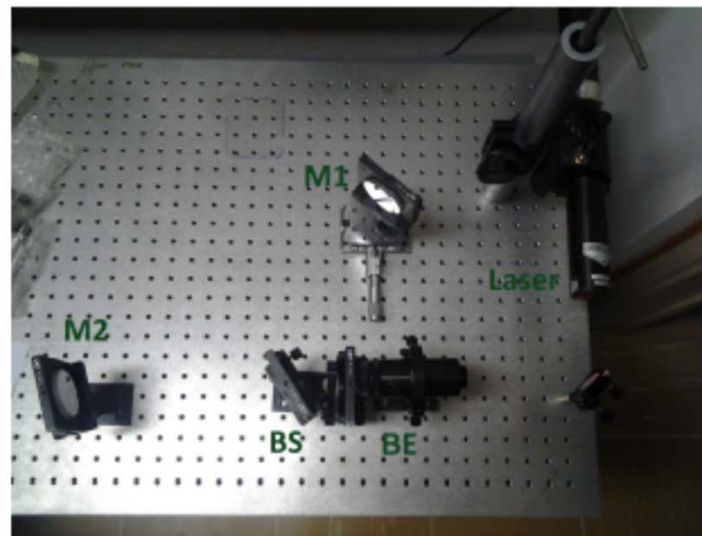
$$R_{PT} = R_m - R_z$$

Optična interferometrija



Interferenčni vzorec, dobljen na izhodu interferometra.

Postavitev cikličnega strižnega interferometra: laser, kolimator (BE), polprepustno zrcalo (BS) ter dve zrcali, M1 in M2.



Fotonska korelacijska spektroskopija

- Metoda za določanje velikosti delcev v suspenziji.
- Red velikosti nm do μm (področje med elektronsko in optično mikroskopijo).
- Deluje za kroglaste delce, interpretacija rezultatov težja za ostale oblikah, a nekaj se da povedati.
- Ključna ideja: delci se Brownovo gibajo, manjši hitreje in večji počasneje. Hitrost translacijske difuzije podaja difuzijska konstanta:

η – viskoznost topila

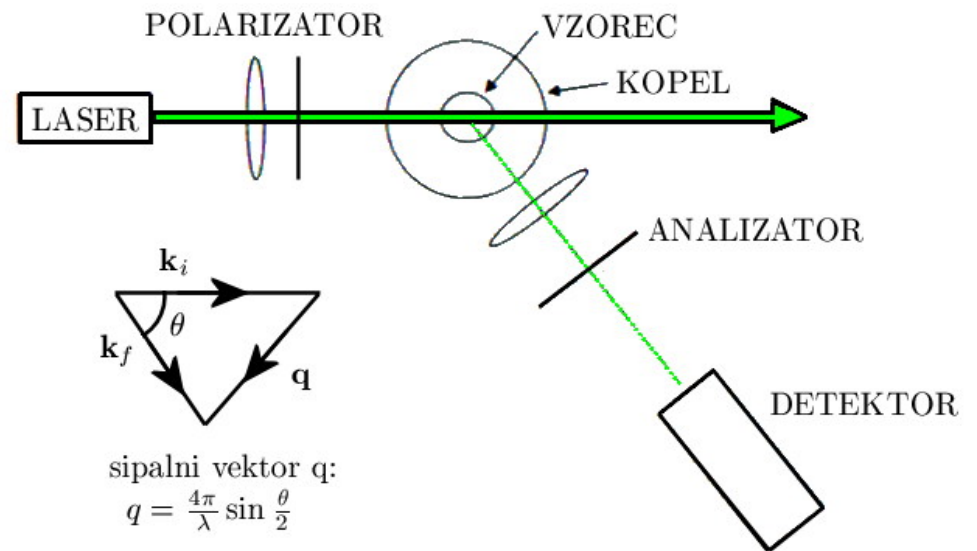
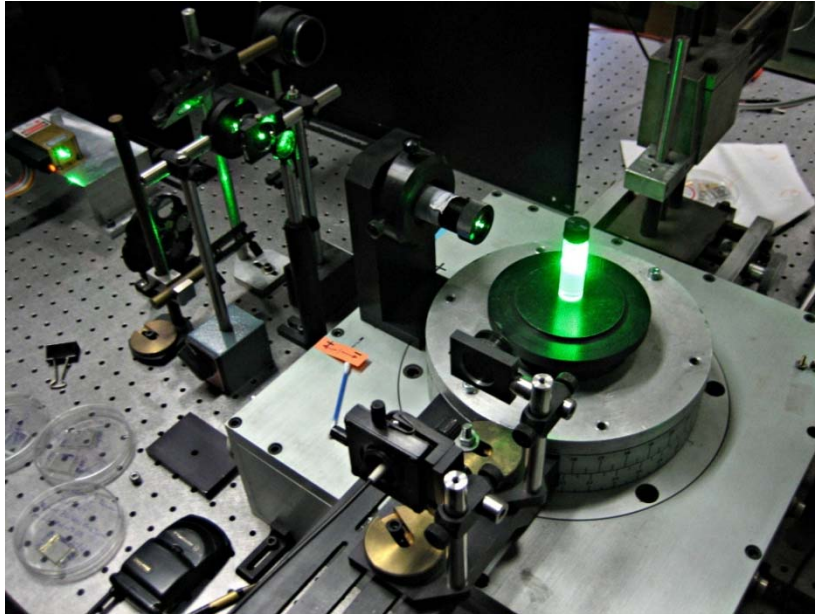
R – hidrodinamski polmer

$$D = \frac{k_B T}{6\pi\eta R} \rightarrow \text{Izmerimo } D \text{ in tako določimo velikost } R!$$

- Sipani valovi interferirajo, fluktuacije signala merimo z avtokorelacijsko funkcija $\mathbf{G}(\tau) = \langle \mathbf{I}(\mathbf{t}) \mathbf{I}(\mathbf{t}+\tau) \rangle$

NALOGA: Pomeriti velikost delcev v znanem in neznanem vzorcu.

Postavitev eksperimenta:



- Izkaže se, da je avtokorelacijska funkcija v primeru velikega števila sipalcev:

$$g(\mathbf{q}, \tau) = e^{-2q^2Dt}$$

- Eksperimentalno dobljeni τ nam ob znanem q^2 podaja D in s tem velikost delcev!

$$\frac{1}{2\tau} = Dq^2$$

Življenjski čas mionov

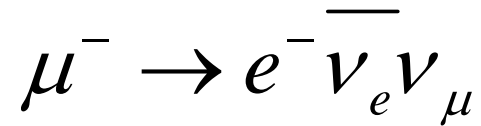
Razpadni čas miona je povezan s sklopitveni konstanto šibke interakcije G – fundamentalno količino

$$\Gamma = \frac{1}{\tau} = \frac{G^2 m^5}{192\pi^3}$$

Razpad miona:

$$\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu$$

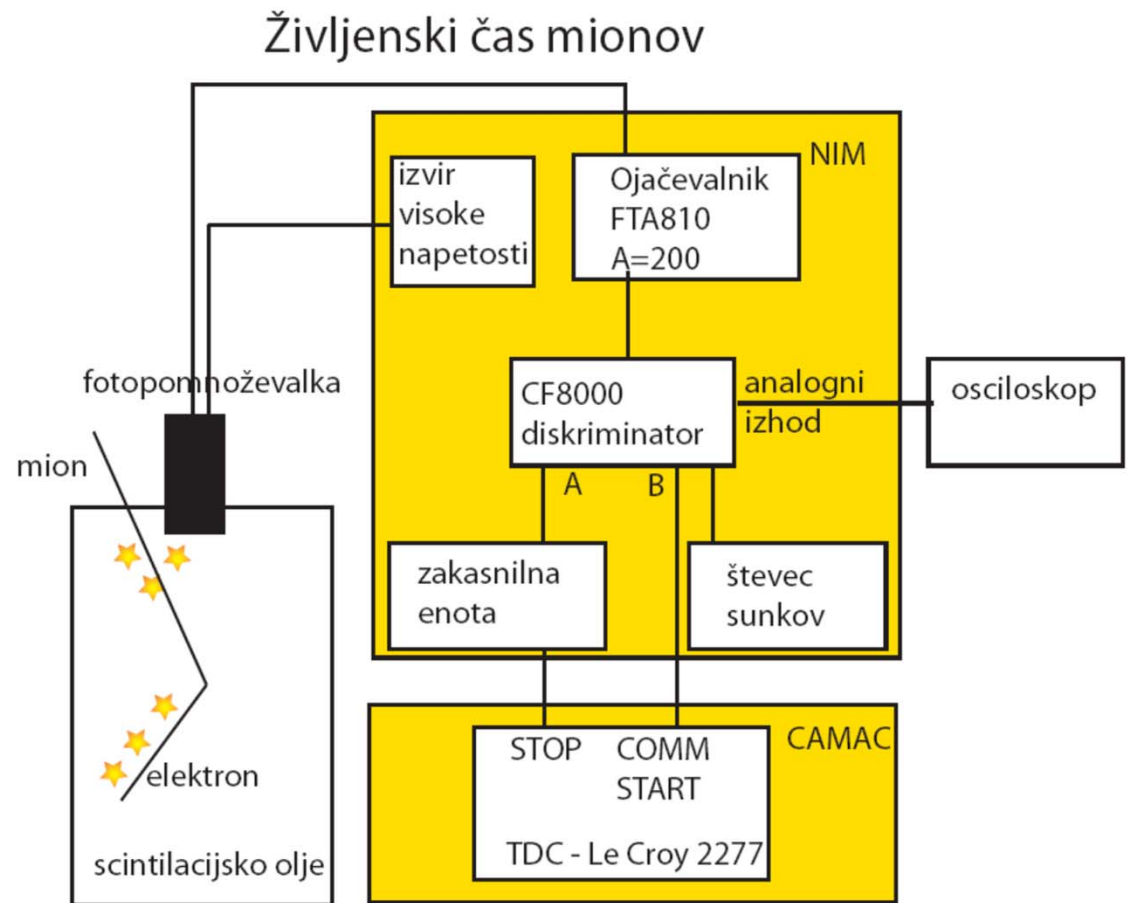
Življenjski čas mionov



Detektor: sod (za vino),
napolnjen s tekočim
scintilatorjem, in
fotopomnoževalka.

Meritev časa:

- Začetek: mionska sled v scintilatorju
- Konec: elektronska sled



Meritev razlike mas za D^{*+} in D^0

D^{*+} in D^0 imata podobno kvarkovsko strukturo: cd in cu

D^{*+} ima spin $J=1$

D^0 ima spin $J=0$

Razlika mas je povezana s hiperfino sklopitvijo kvarkov v mezonu

$$\Delta m \propto \frac{\alpha_s}{m_1 m_2} |\psi(0)|^2 \langle \vec{s}_1 \cdot \vec{s}_2 \rangle$$

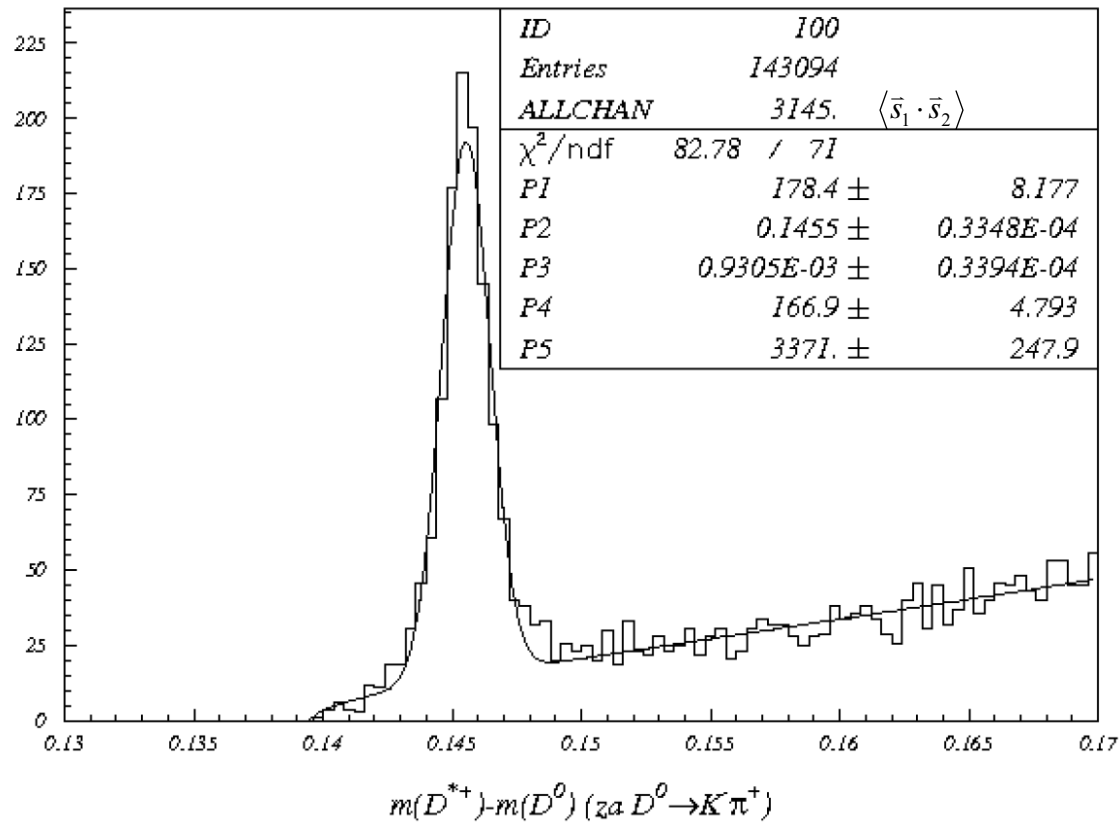
$$\langle \vec{s}_1 \cdot \vec{s}_2 \rangle = f(J)$$

<http://www-f9.ijs.si/~praksa/praktikum4.html>

Meritev razlike mas za D^{*+} in D^0

Trik: masi merimo istočasno, zato se večina eksperimentalnih napak pokrajša.

$$\Delta m = M(\pi^+ K^- \pi^+) - M(K^- \pi^+)$$

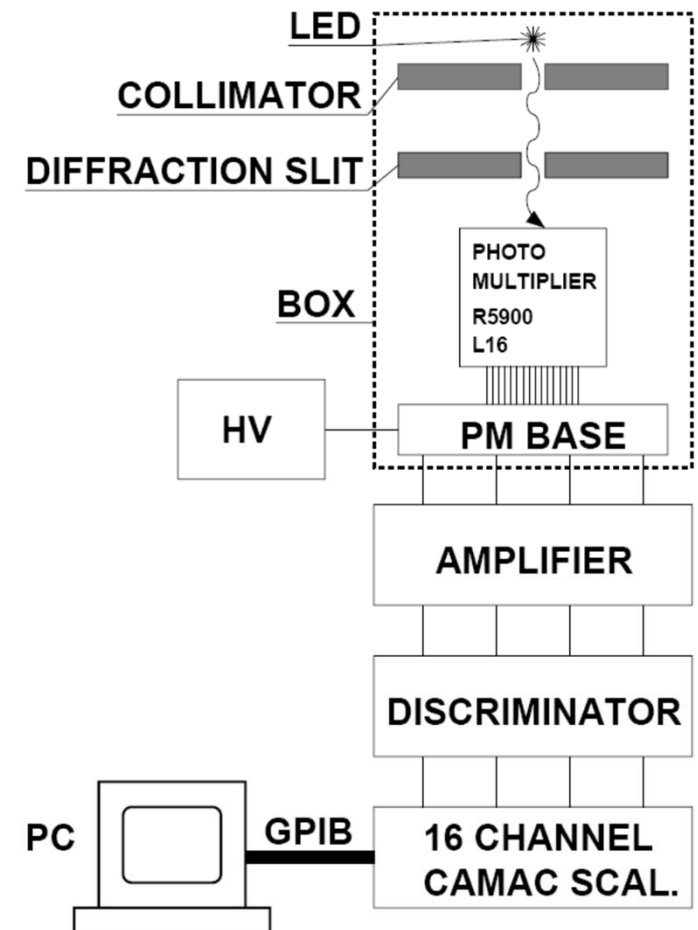
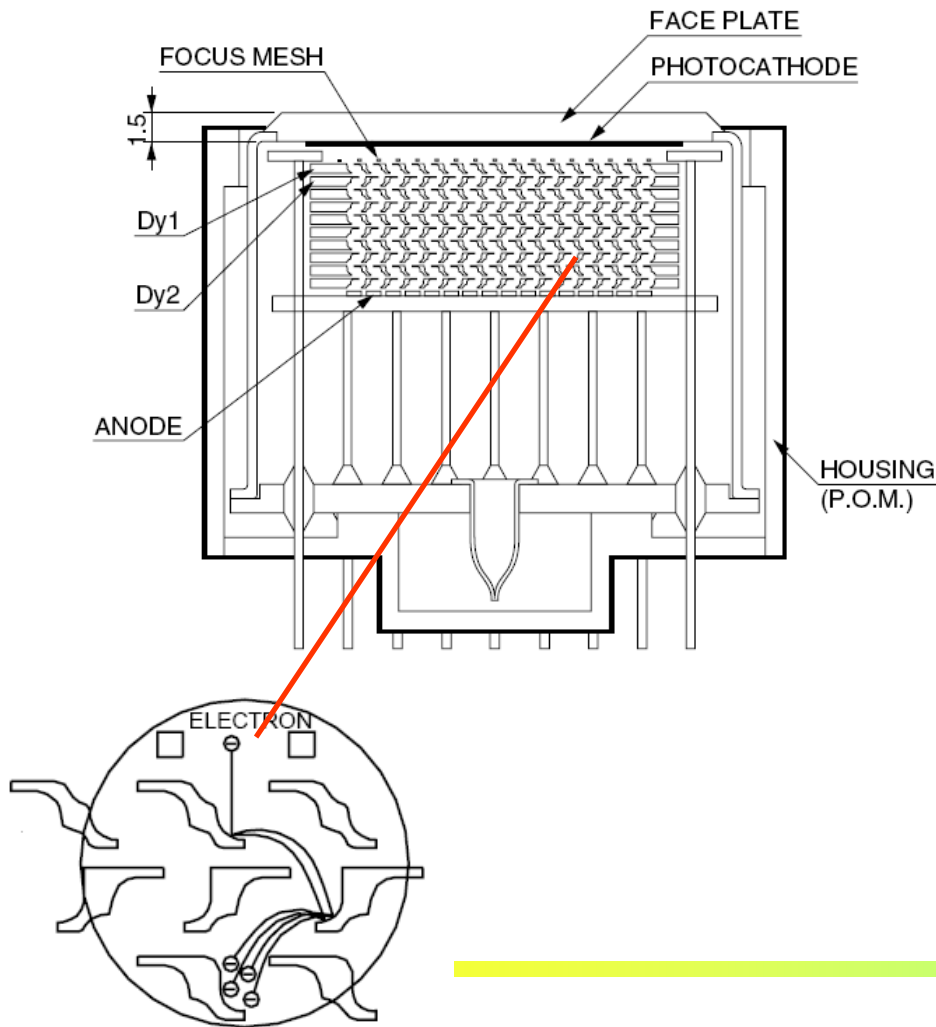


D^{*+}
└

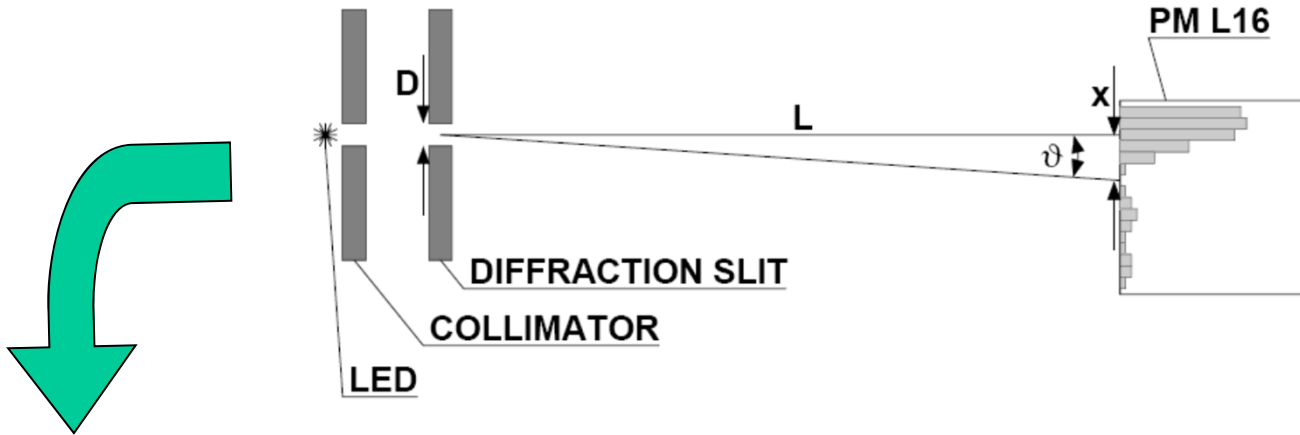
D^0 π^+
└ $K^- \pi^+$
 $K^- \pi^+ \pi^- \pi^+$
 $K_S^0 \pi^+ \pi^-$
└ $(\pi^+ \pi^-)$

Uklonska slika s posameznimi fotoni

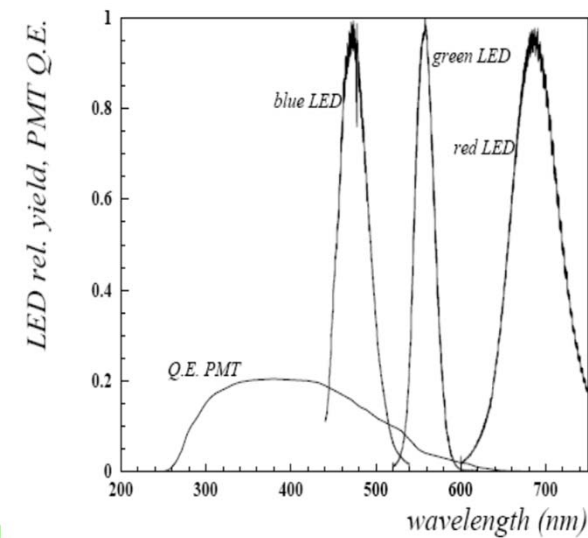
Večanodne ftopomnoževalke:
Hamamatsu, R5900-L16



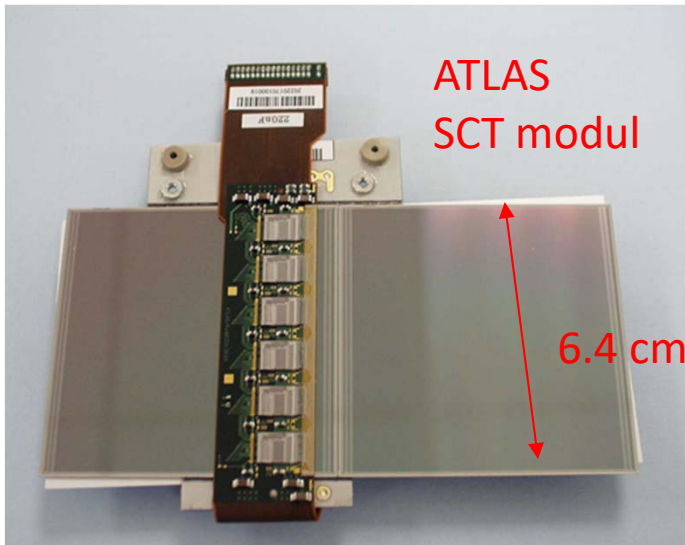
Uklonska slika s posameznimi fotoni 2



$$j(\vartheta) = j_0 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2} \quad \alpha = \frac{\pi D \sin \vartheta}{\lambda}$$



Lastnosti silicijevih detektorjev za nabite delce



S čim se bomo ukvarjali?

Silicijevi detektorji (pasovni-strip in točkovni-pixel) za nabite delce so nepogrešljiv del praktično vseh eksperimentov v fiziki delcev, vedno bolj pa so prisotni tudi v medicini.

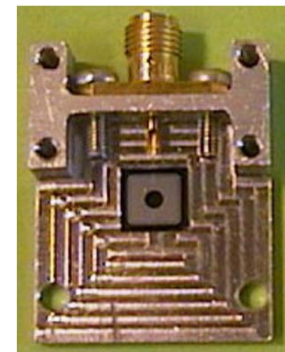
Glavne odlike teh detektorjev so: velika hitrost, odlična energijska in prostorska ločljivost, kompaktnost, zrela polprevodniška tehnologija ...

V osnovi so ti detektorji diode priključene na zaporno napetost, mehanizem zaznave delcev pa je podoben kot v ionizacijski celici.

Kaj bomo merili - naloga?

Določali bomo osnovne lastnosti silicijevih detektorjev in opazovali influencirane tokove – signale - iz detektorjev:

- napetost popolnega osiromašenja detektorja tip detektorja in efektivno koncentracijo prostorskega naboja
- zaporne tokove
- gibljivost elektronov in vrzeli v detektorju
- odvisnost nasičene hitrosti potovanja nosilcev naboja od temperature



Kako bomo merili?

Dva merilna sistema za: **merjenje influenciranih tokov v detektorju** in **merjenje kapacitet in tokov**.

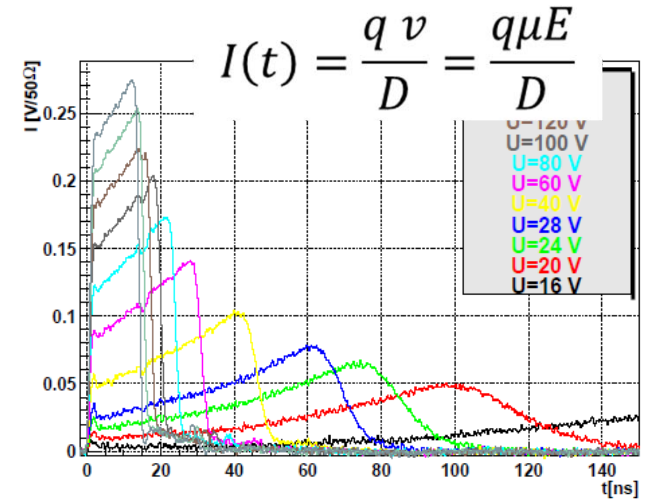
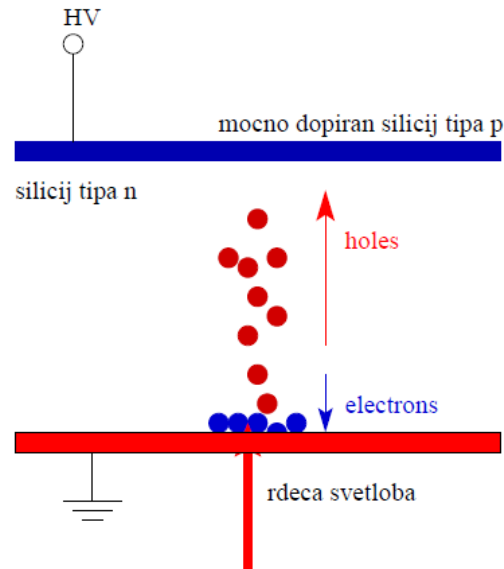
Laserski pulz generira pare elektron vrzel na površini detektorja



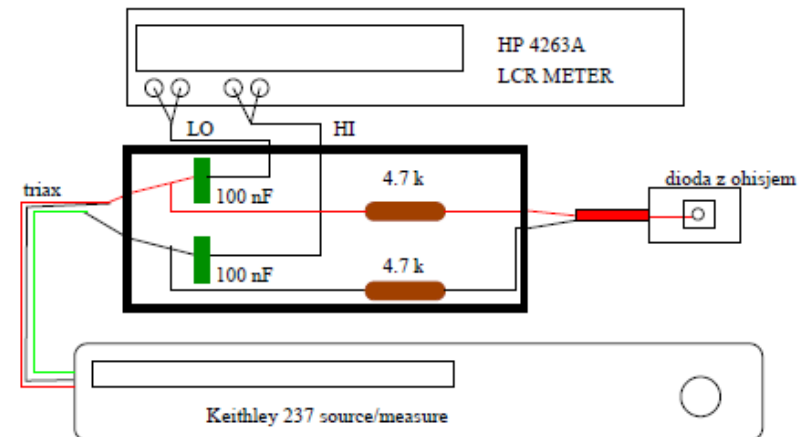
V električnem polju ti potujejo in influencirajo tok v elektrodah.



Iz oblike tokov določimo profil električnega polja.



Meritve kapacitete dektorja in zapornih tokov v odvisnosti od zaporne napetosti

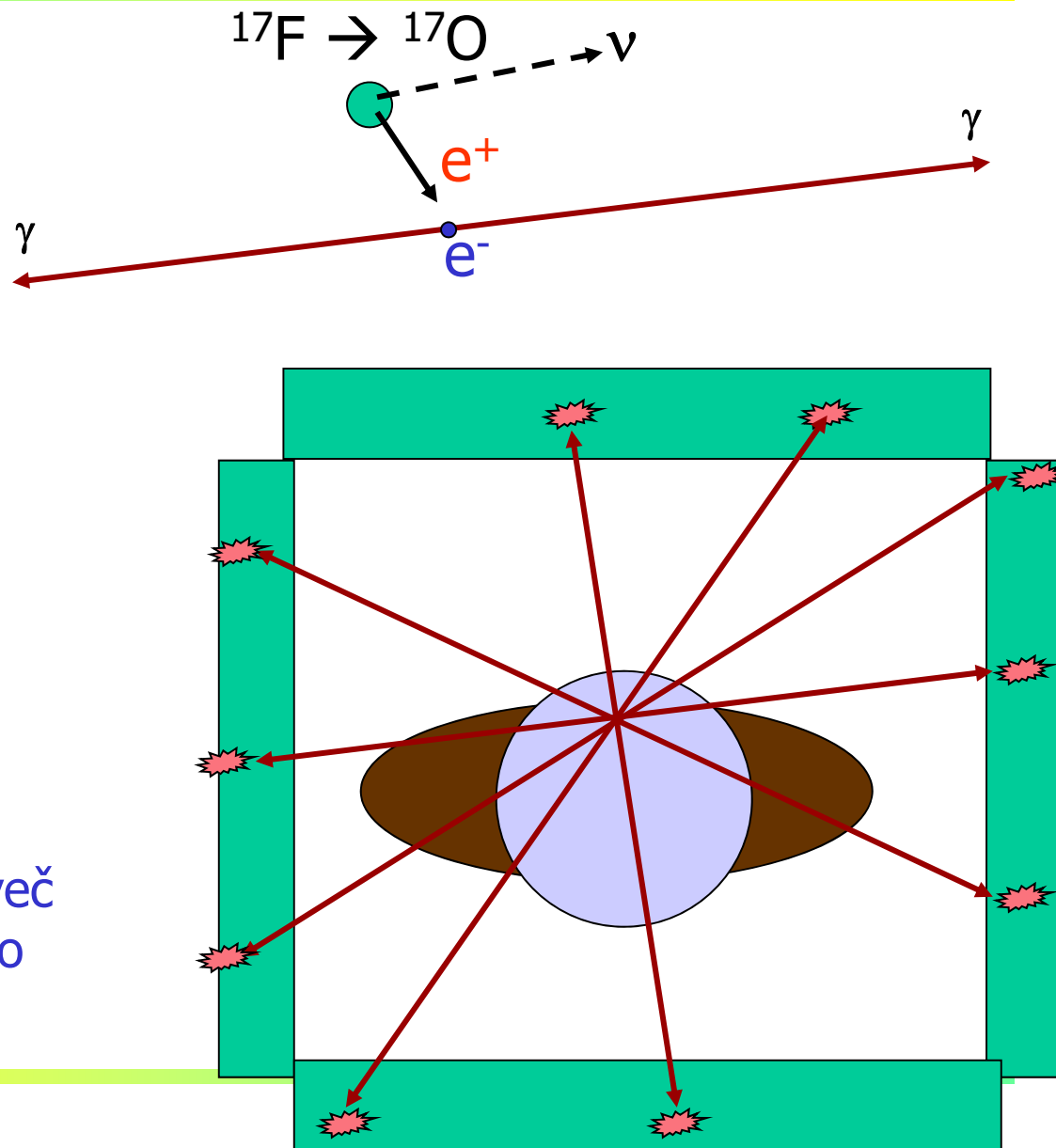


PET: pozitronska tomografija

Radioaktivni fluor razpade z beta+ razpadom na kisik, pozitron in nevtrino

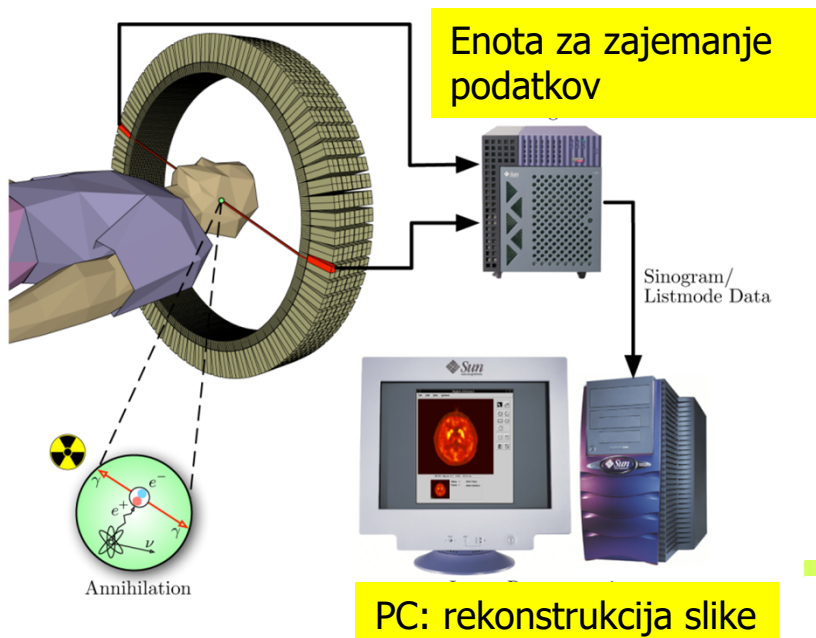
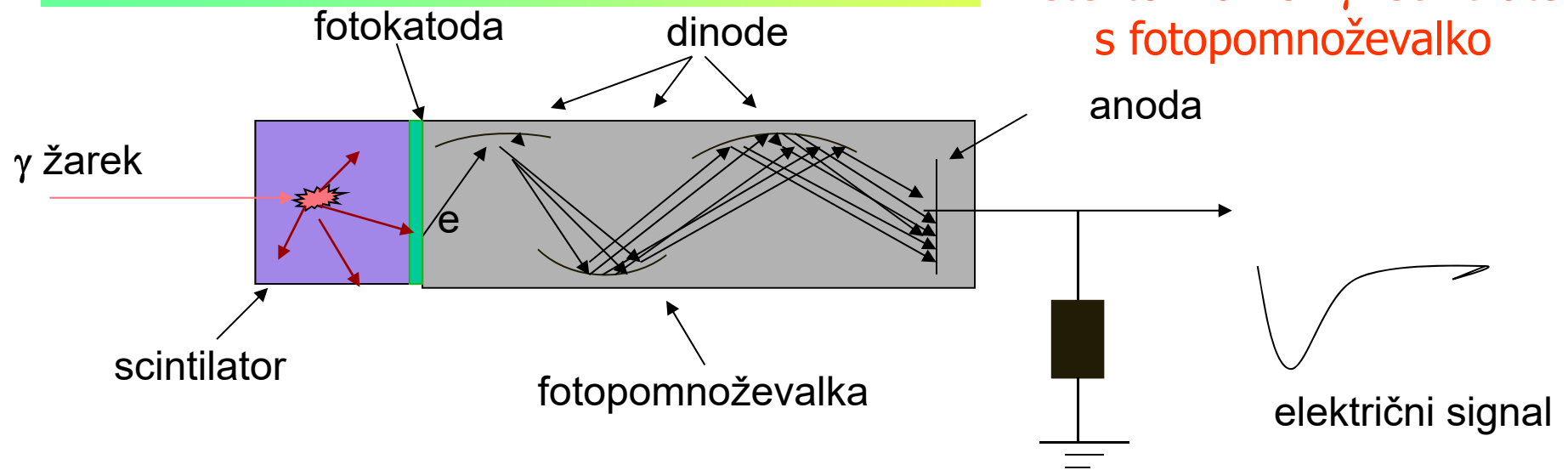
Pozitron se anihilira z elektronom v okoliški snovi, nastaneta dva žarka γ , ki odletita v nasprotnih smereh.

Pacientu vbrizgamo v kri snov, v katero smo vgradili radioaktivni fluor (recimo fluorodeoksiglukoza). Na mestih, kjer se bo nabralo več krvi s to snovjo, bo nastajalo več parov žarkov γ .



PET: pozitronska tomografija

Detektor žarkov γ : scintilator s fotopomnoževalko



Pri tej vaji: poenostavljena verzija tomografa:

- namesto pacienta točkast izvor (Na^{22}),
- detektor: štiri večanodne fotopomnoževalke s scintilatorji.

Kontrast pri slikanju z magnetno resonanco

Pri slikanju z magnetno resonanco se najpogosteje uporablja metoda slikanja s spinskim odmevom, kjer kontrast v sliki zavisi od:

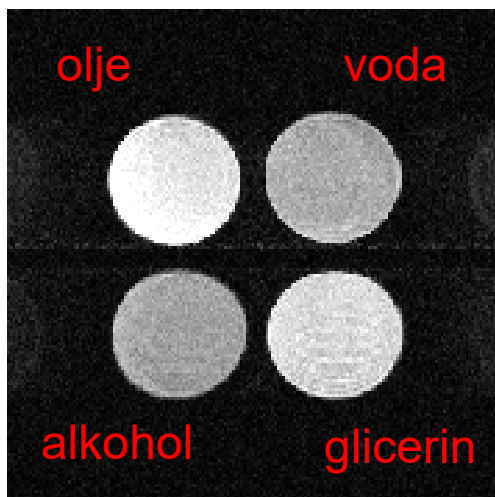
- parametrov slikanja:
 - časa spinskega odmeva (TE)
 - hitrosti ponavljanja slikovnega zaporedja (TR)
- lastnosti vzorca:
 - gostote protonov (ρ)
 - spin-spinskega relaksacijskega časa (T_2)
 - spin-mrežnega relaksacijskega časa (T_1)

$$\text{Signal} \propto \rho * \exp(-TE/T_2) * (1 - \exp(-TR/T_1))$$



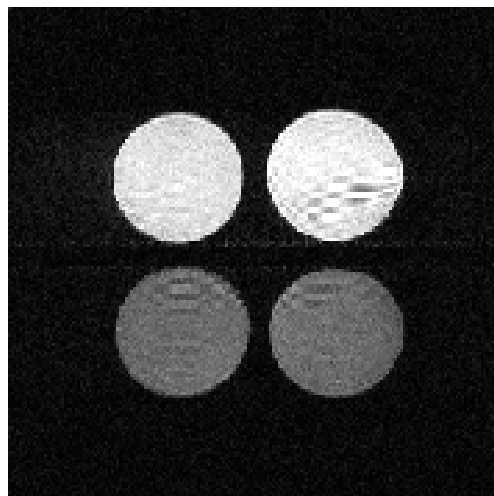
Kontrast pri slikanju z magnetno resonanco

Glede na izbiro parametrov slikanja ločimo tri karakteristične skupine slik:



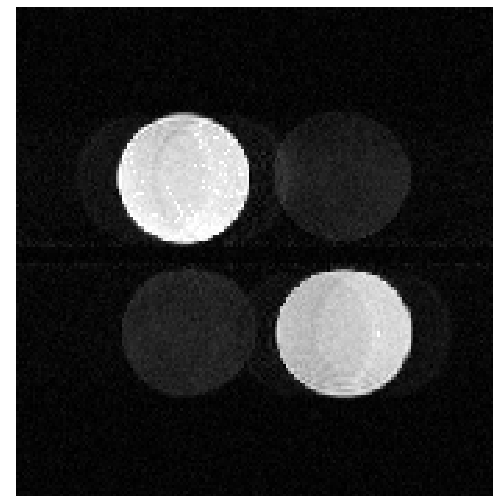
Gostotno obteženo sliko, kjer kontrast zavisi pretežno od gostote protonov

TR - zelo dolg ($TR = 3000$ ms)
 TE – kratek ($TE = 12$ ms)



T2 obteženo sliko, kjer kontrast zavisi pretežno od relaksacijskega časa T_2 :

TR - zelo dolg ($TR = 3000$ ms)
 TE - približno T_2 ($TE = 40$ ms)

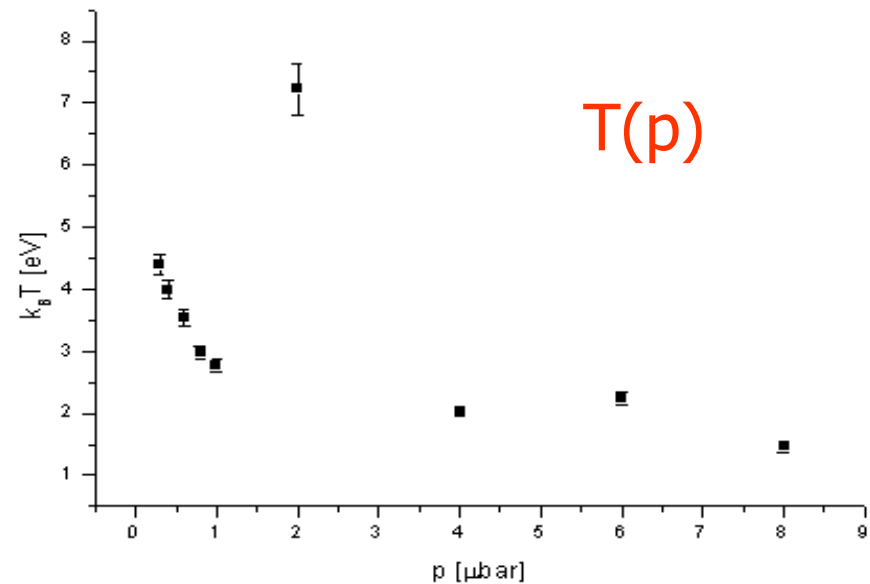
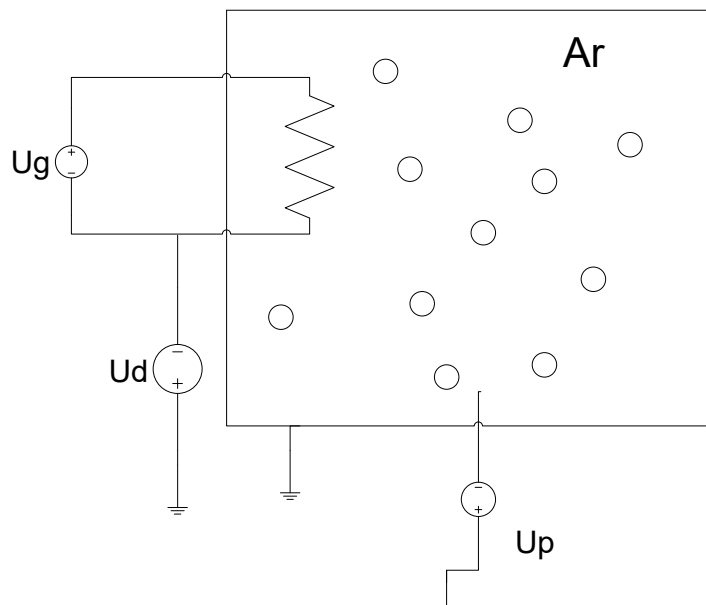


T1 obteženo sliko, kjer kontrast zavisi pretežno od relaksacijskega časa T_1 :

TR - približno T_1 ($TR = 400$ ms)
 TE – kratek ($TE = 12$ ms)

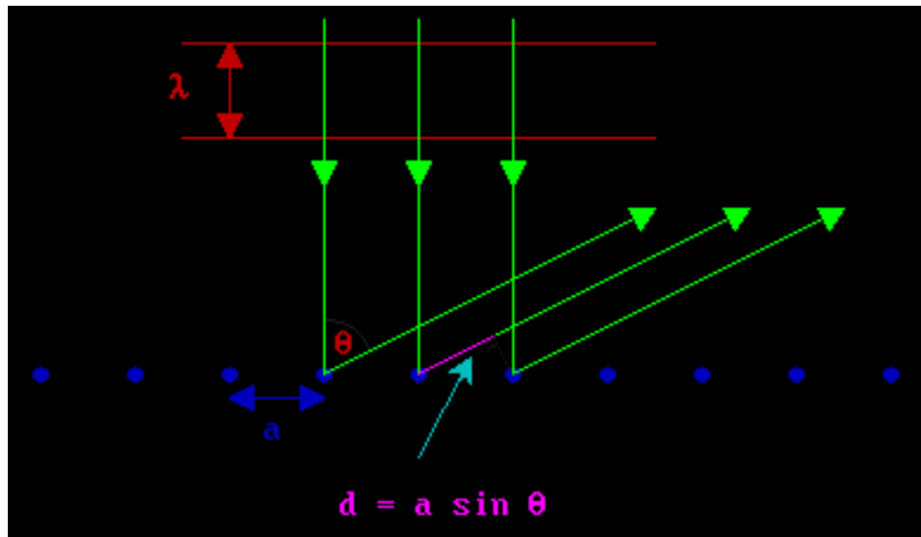
Meritve karakteristik plazme

Plazma predstavlja četrto in najbolj pogosto agregatno stanje snovi. Po nekaterih ocenah naj bi bilo 99% vidne snovi sestavljene iz plazme. To velja tako za zvezde, kot tudi obširen skoraj prazen medplanetarni, medzvezdni in medgalaktični prostor.



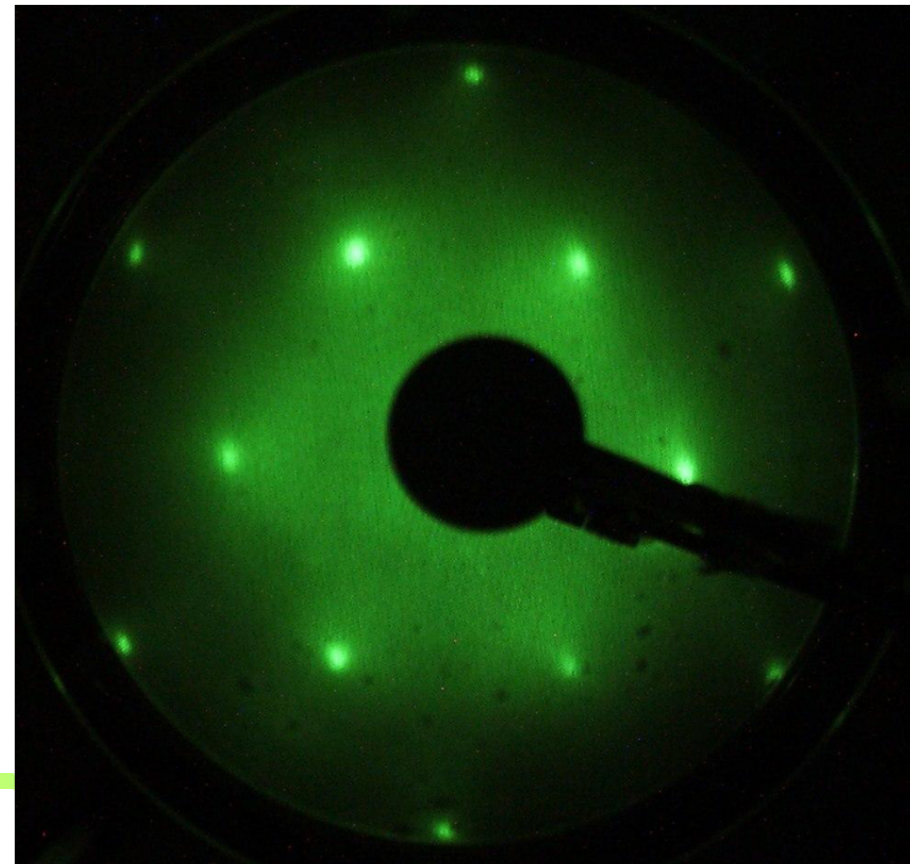
Spreminjamo zunanje parametre, tlak, B , razelektritveno napetost, in merimo tokovno-napetostno karakteristiko plazme
→ gostota plazme, temperatura elektronov, plaz. potencial.

Atomska struktura površin s tunelskim mikroskopom in uklonom nizkoenergijskih elektronov

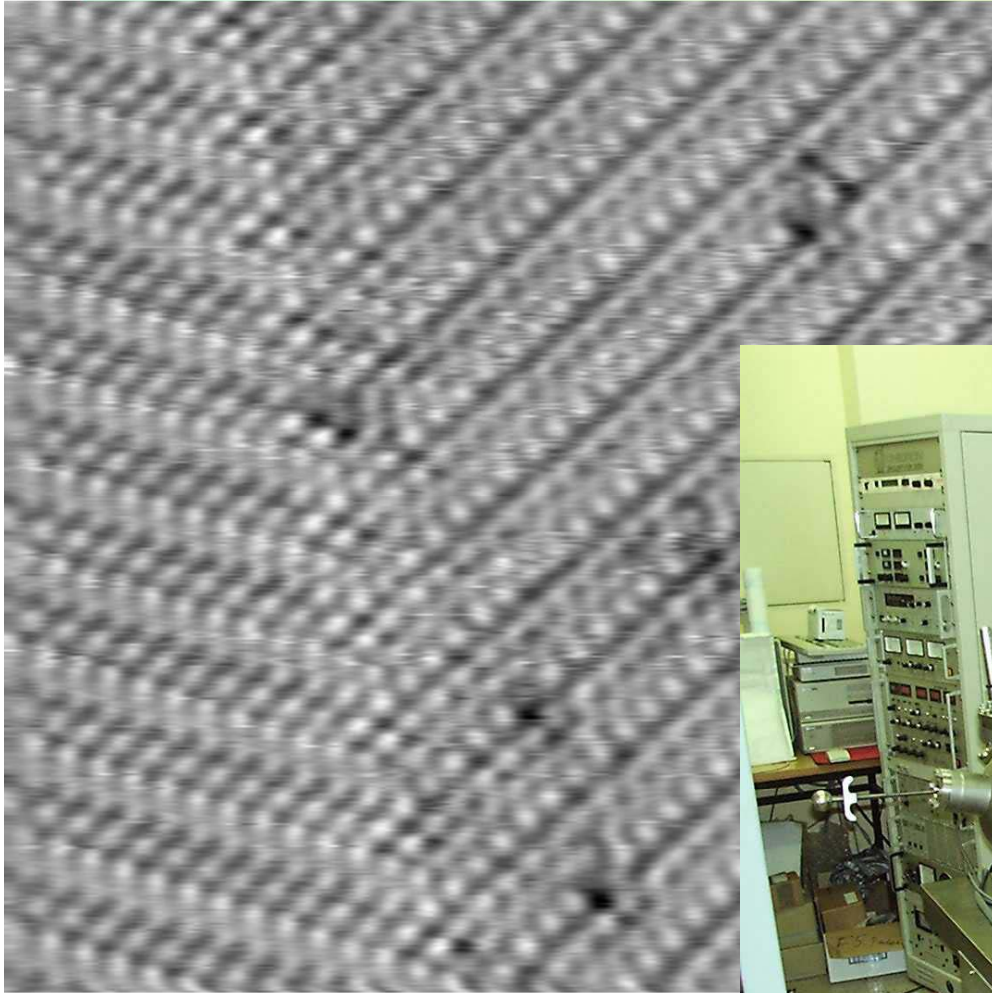


Braggov pogoj v obeh
smereh ravnine

Nizkoenergijski elektroni ne
prodrejo skozi vzorec –
sipljejo se na površini.



Atomska struktura površin s tunelskim mikroskopom in uklonom nizkoenergijskih elektronov

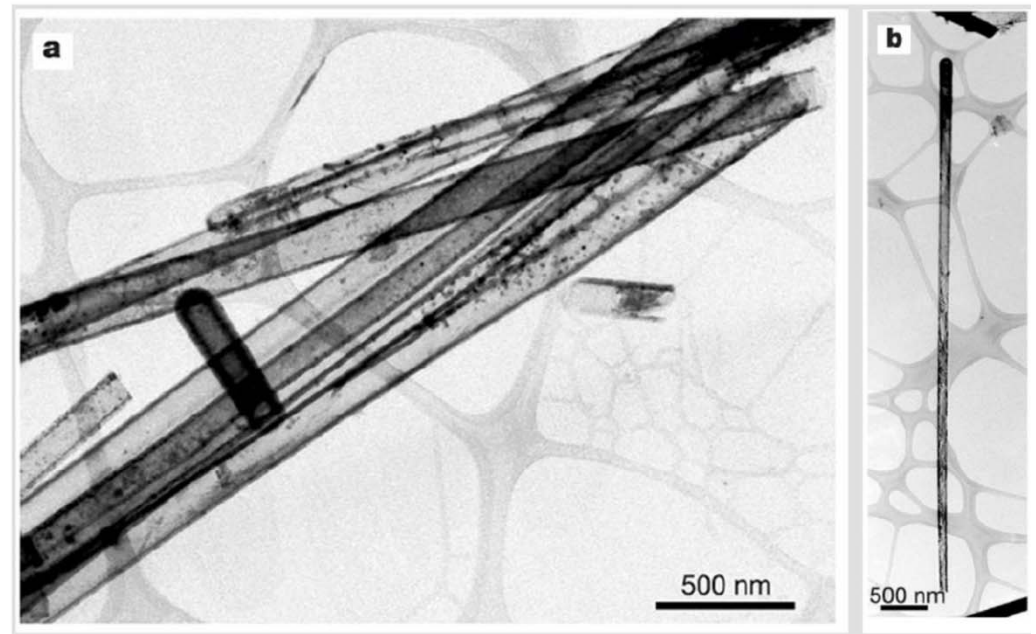
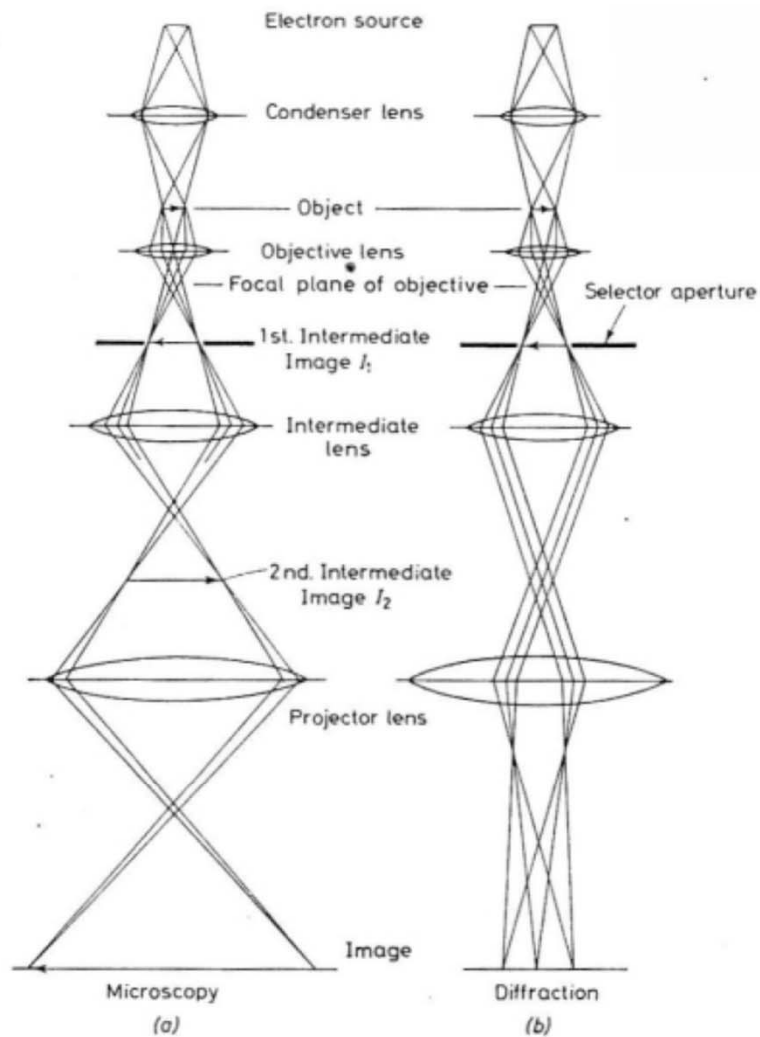


NbTe_2

Tunelski mikroskop



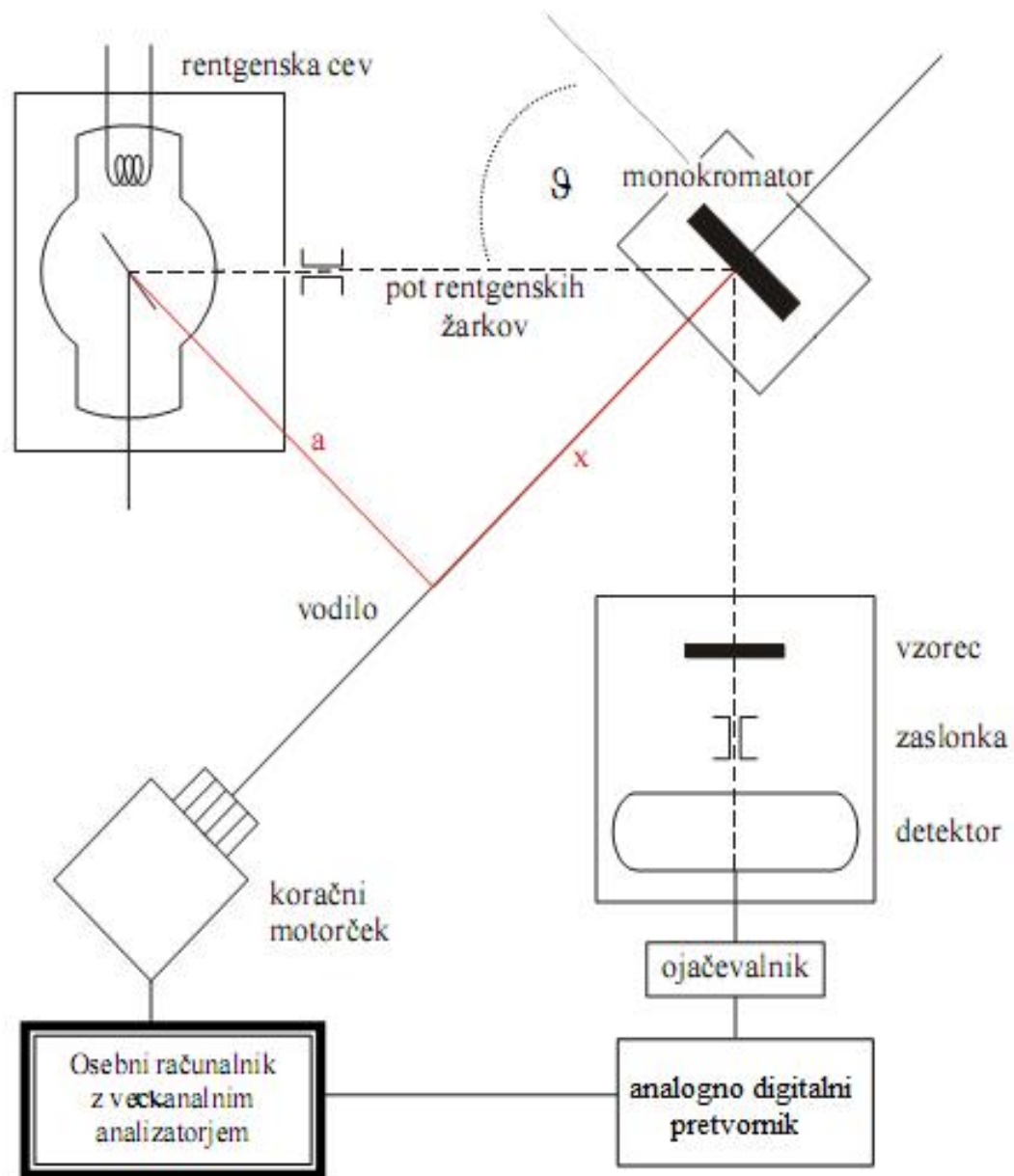
Transmisijski elektronski mikroskop



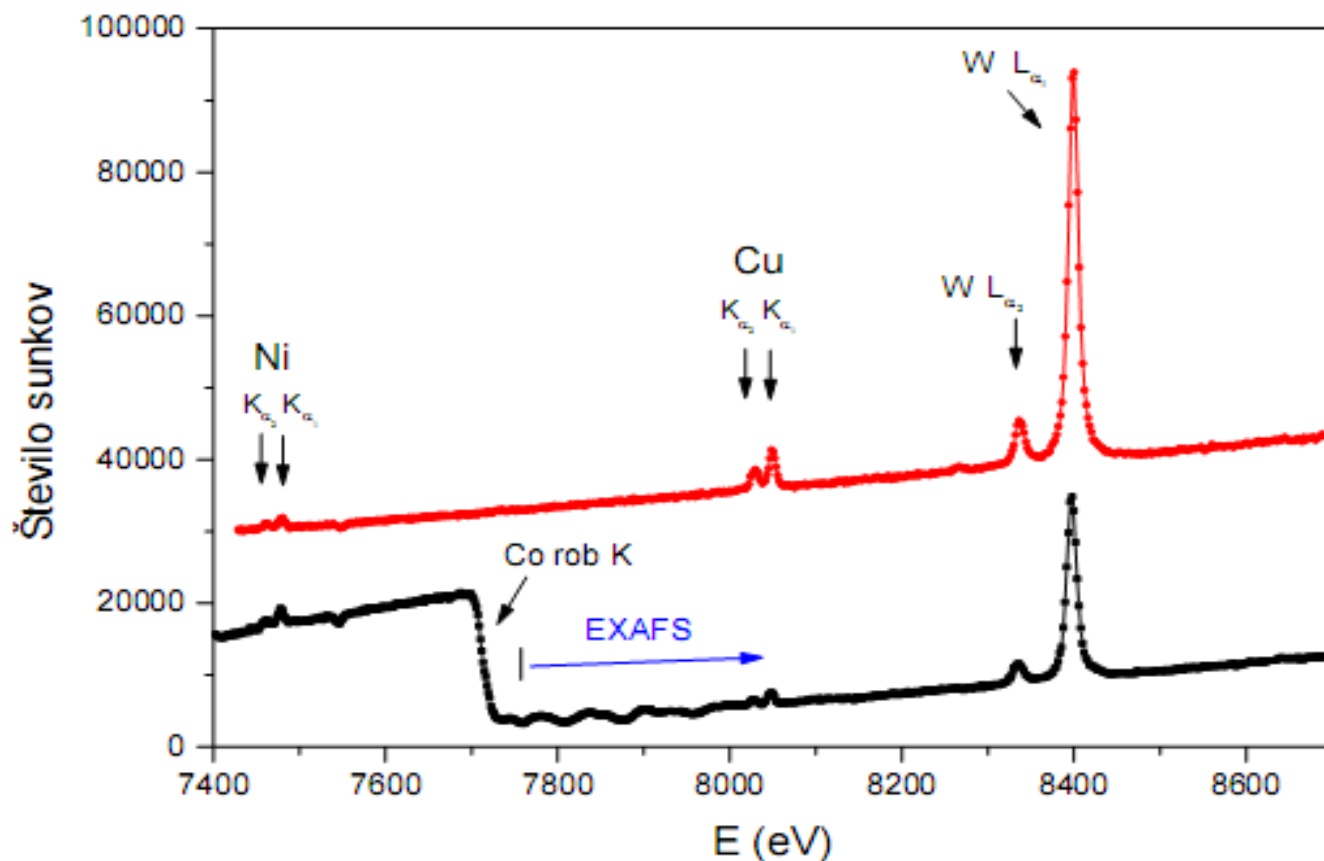
Slika: Shema elektronskega mikroskopa

EXAFS

Študij strukture snovi
preko absorpcijskih
spektrov žarkov X



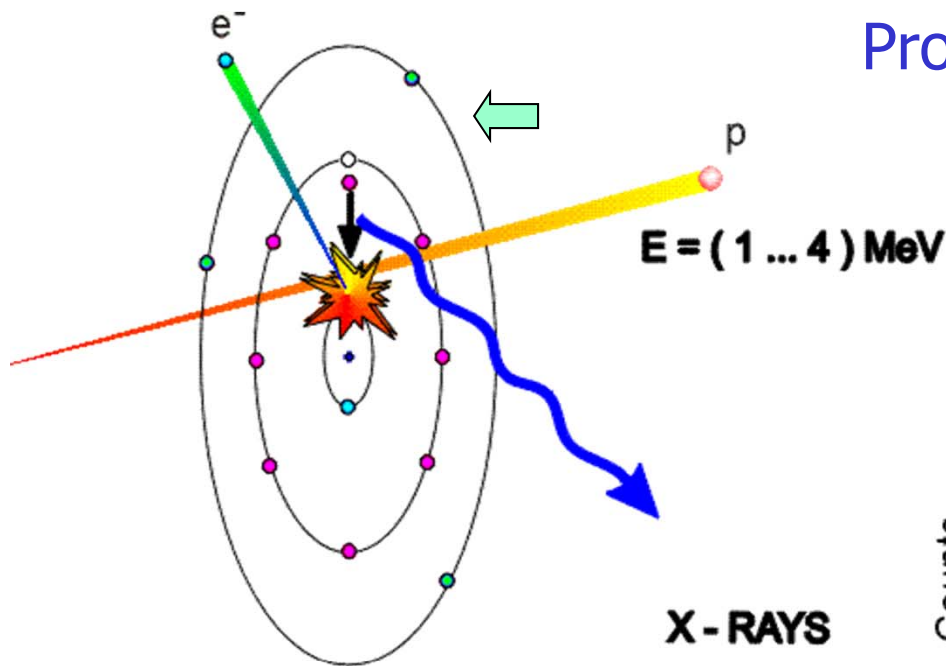
EXAFS



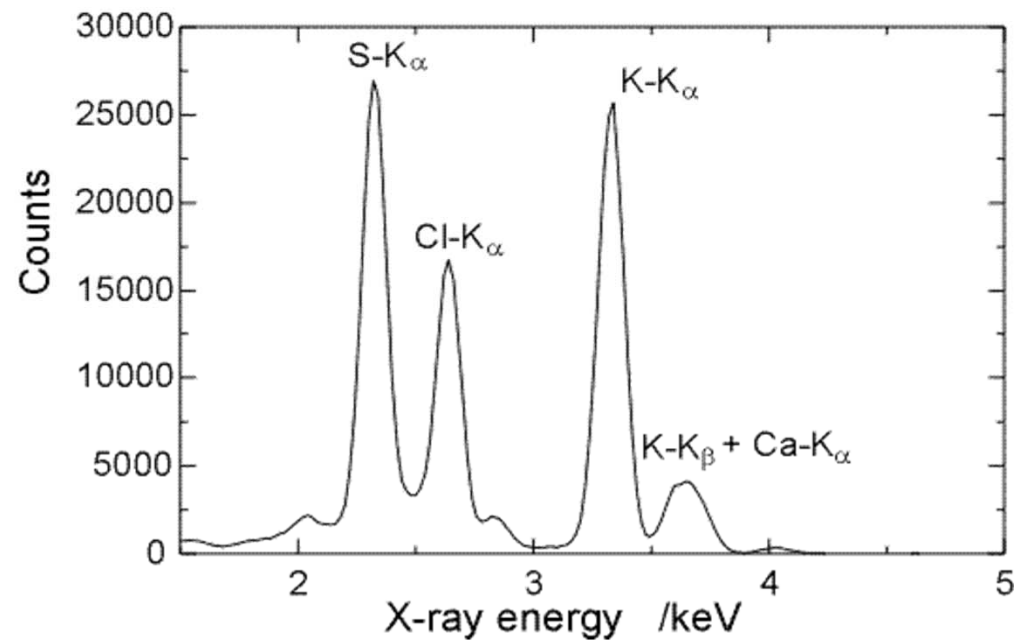
Strukturni signal EXAFS (modulacija absorpcijskega spektra nad robom K) je posledica sipanja fotoelektrona na sosednjih atomih.

PIXE

Proton induced X-ray emission



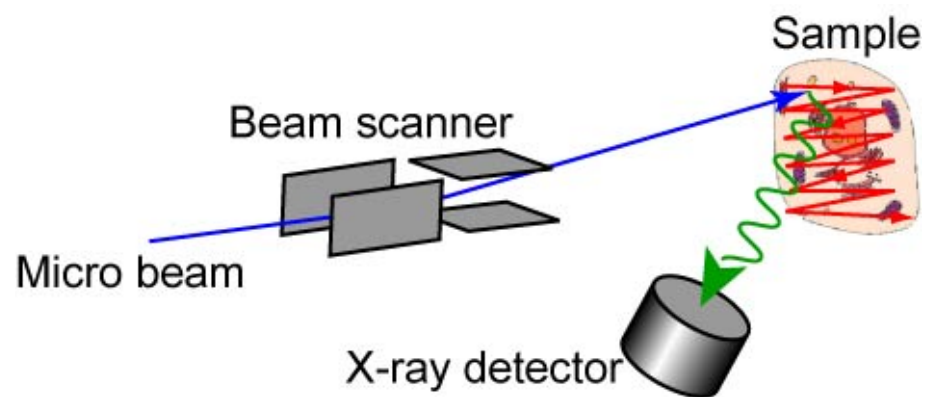
PIXE-Spectrum



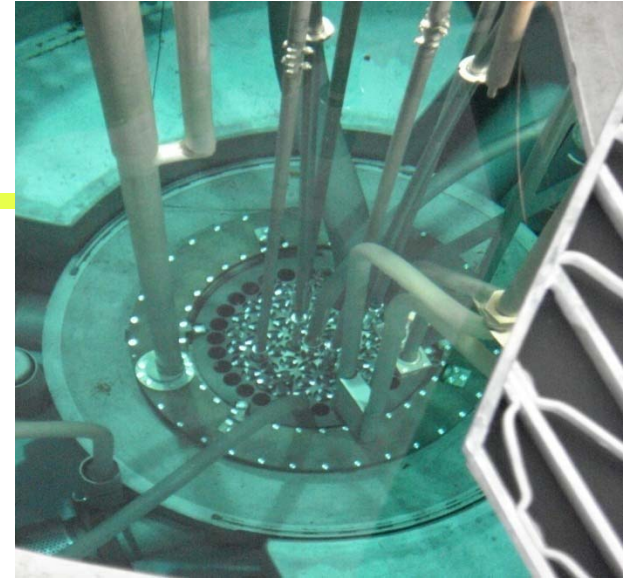
Zelo natančna mikroanalitska metoda za proučevanje elementarne sestave površin.

PIXE

Vir protonov: Van de Graaffov pospeševalnik



Reaktor: Pulzni eksperiment



Pri tej vaji preverimo Fuchs-Hansonov model reaktorja in raziščemo nekatere parametre reaktorja

Struktura reaktorja:

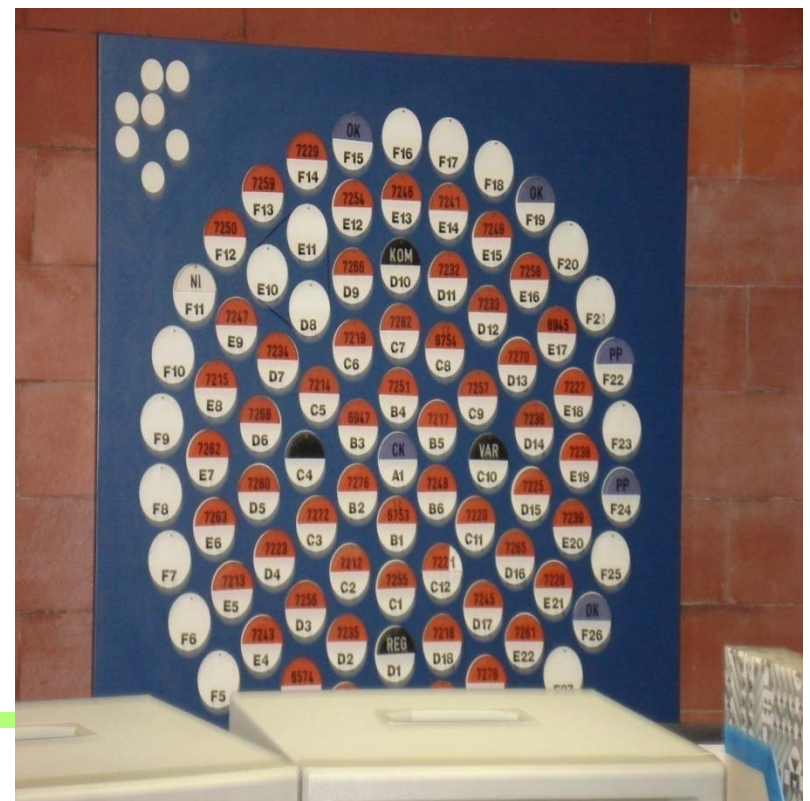
Gorivne palice

- U-235

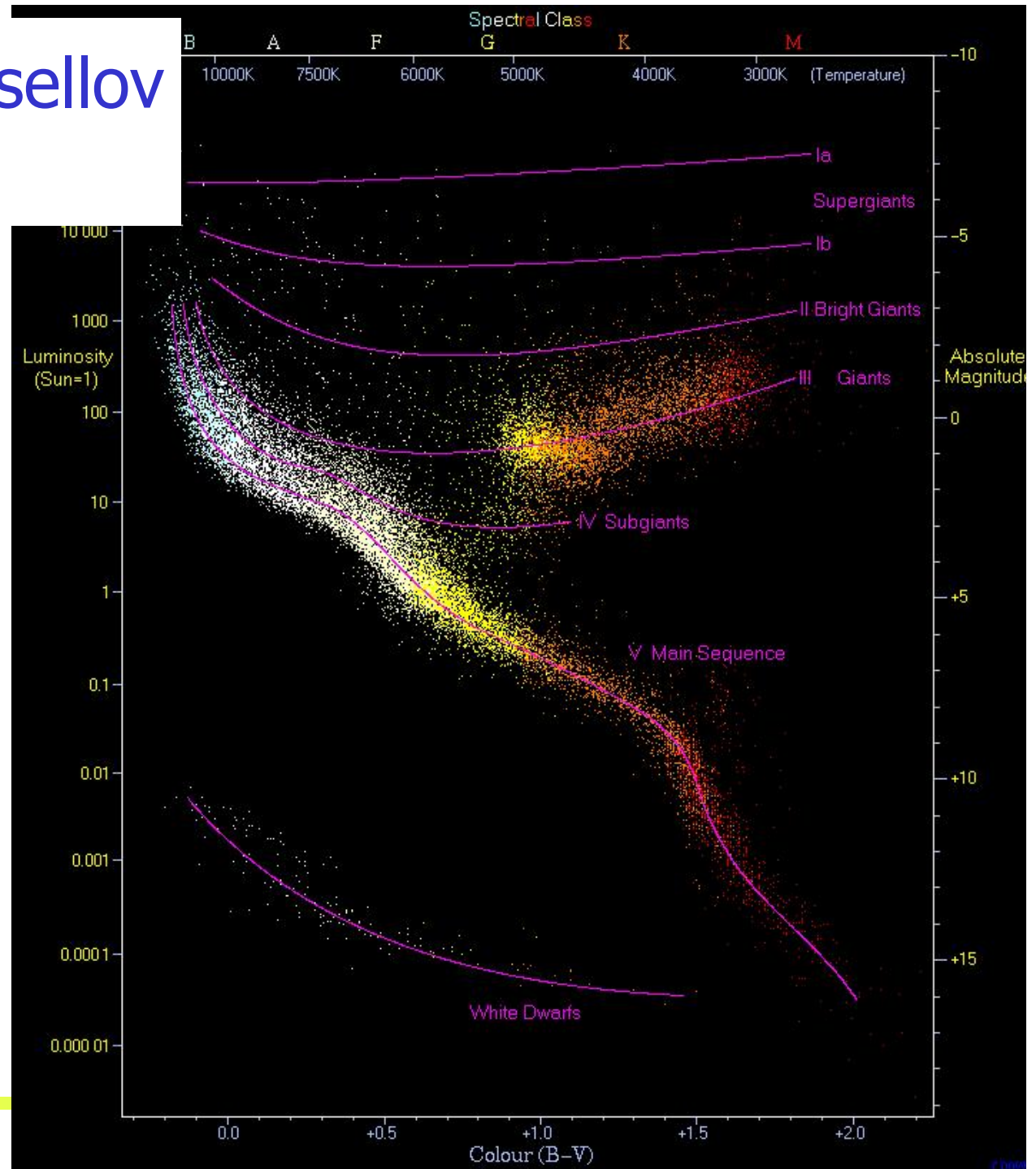
4 kontrolne palice

- pulzna
- kompenzacijska
- varnostna
- Regulacijska

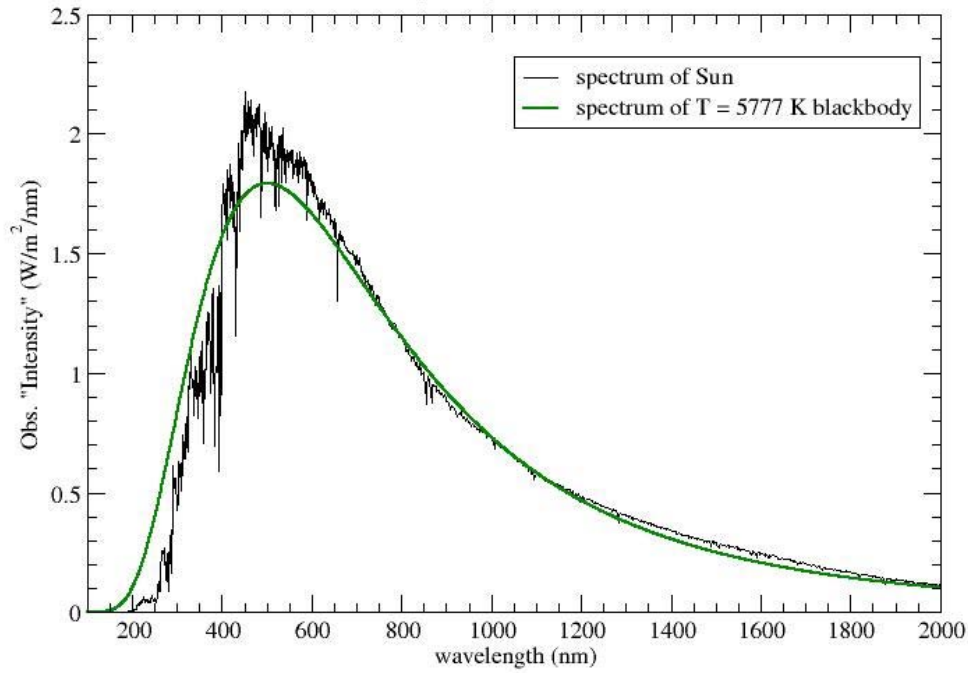
Pri vaji izstrelimo pulzno kontrolno palico → moč naraste za 3 rede velikosti in se po nekaj ms vrne na začetno vrednost



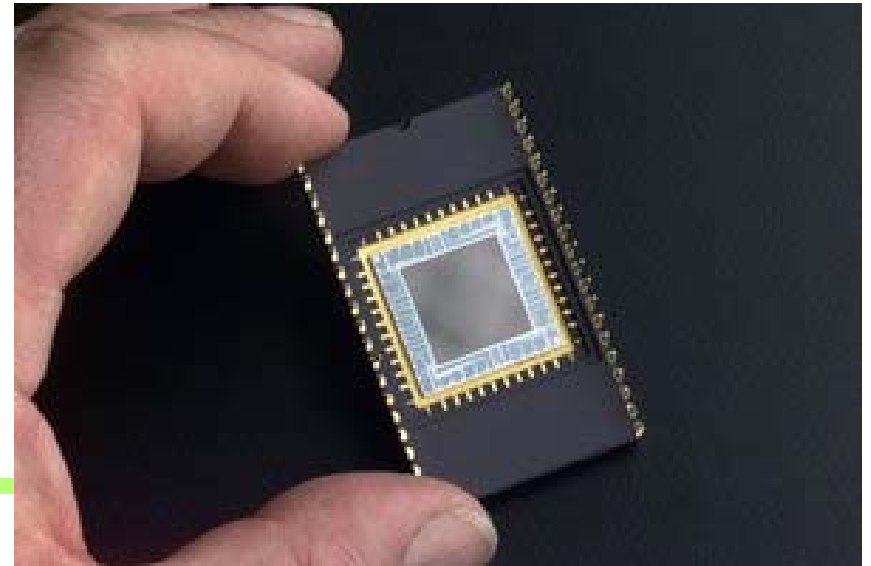
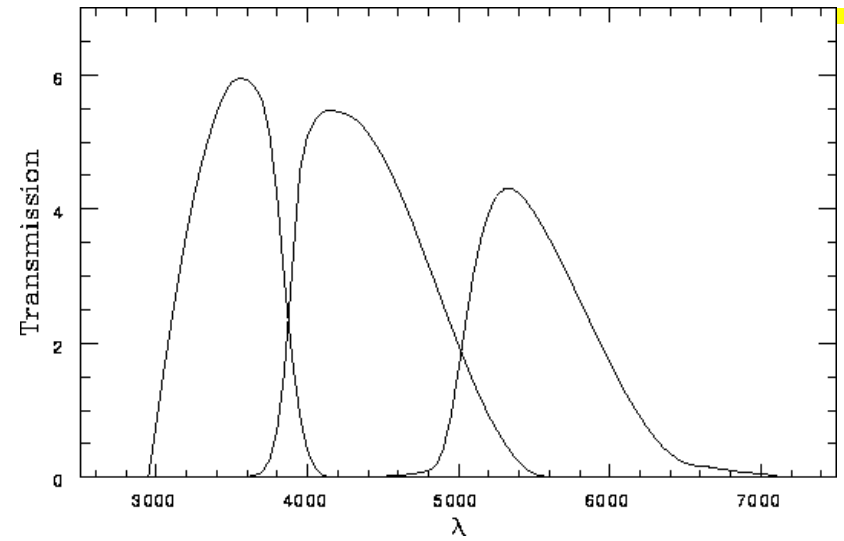
Hertzsprung-Russell diagram



Sun's Spectrum vs. Thermal Radiator
of a single temperature $T = 5777\text{ K}$



H-R diagram



d

LIDAR

LIDAR: light detection and ranging

Optična tehnika za zaznavanje na daljavo:

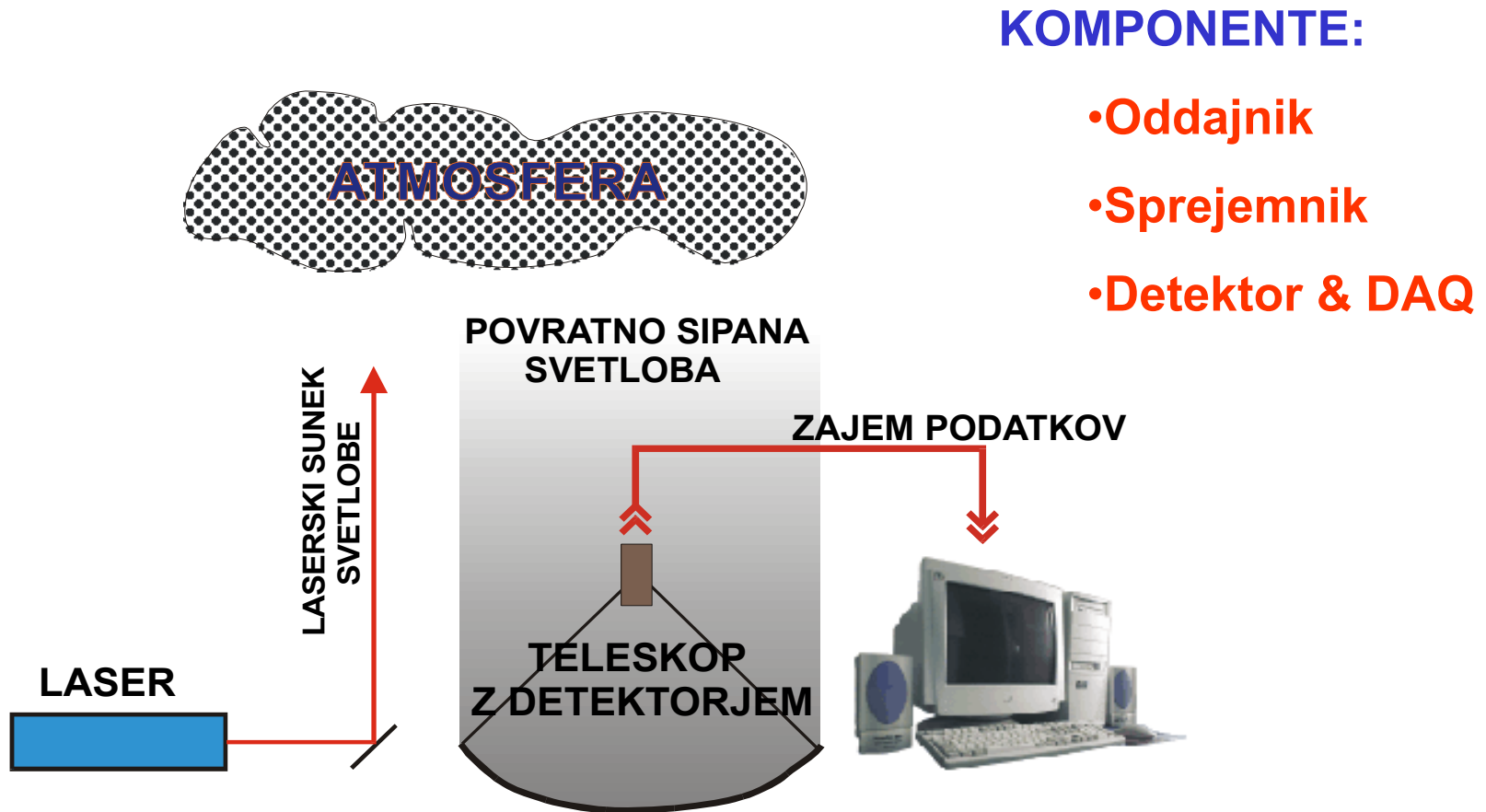
- **Svetlobni snop interagira z medijem**
- **Povratno sipana svetloba nosi krajevno odvisno informacijo o stanju v mediju**

Uporaba:

- **Raziskave atmosfere**
- **3-D mapiranje terena**
- **Gozdarstvo**
- **Raziskave biomase**



LIDAR shematski prikaz

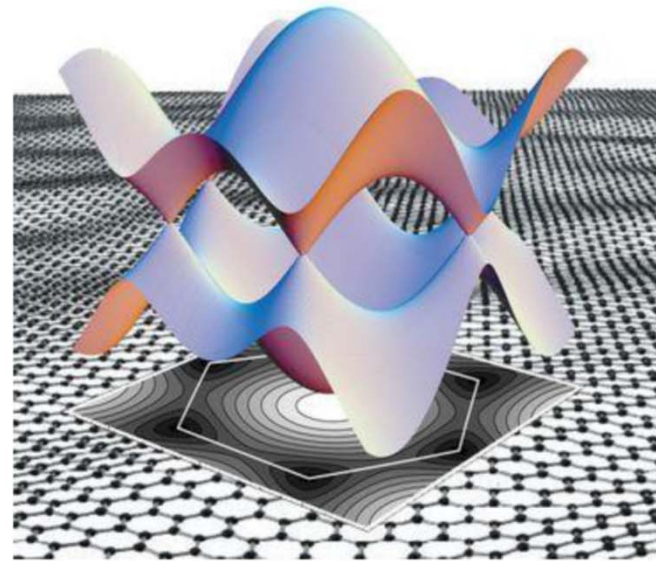


<http://www-f9.ijs.si/~zavrtani/lidar/>

RAMANSKA SPEKTROSKOPIJA GRAFENA

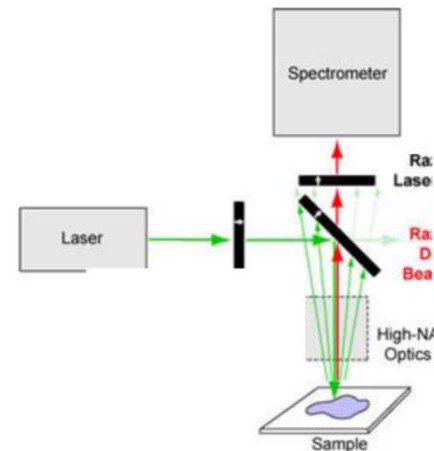
GRAFEN

- 2D mreža ogljikovih atomov
- izjemne lastnosti: trdnost, električna in toplotna prevodnost, gibljivost prevodnih elektronov
- popularna tema
- potrebna hitra, nedestruktivna in zanesljiva karakterizacijska metoda



RAMANSKA SPEKTROSKOPIJA

- spektroskopska tehnika, ki temelji na neelastičnem sipanju laserske svetlobe
- opazuje vibracijske, rotacijske in druge nizkofrekvenčne nihajne načine

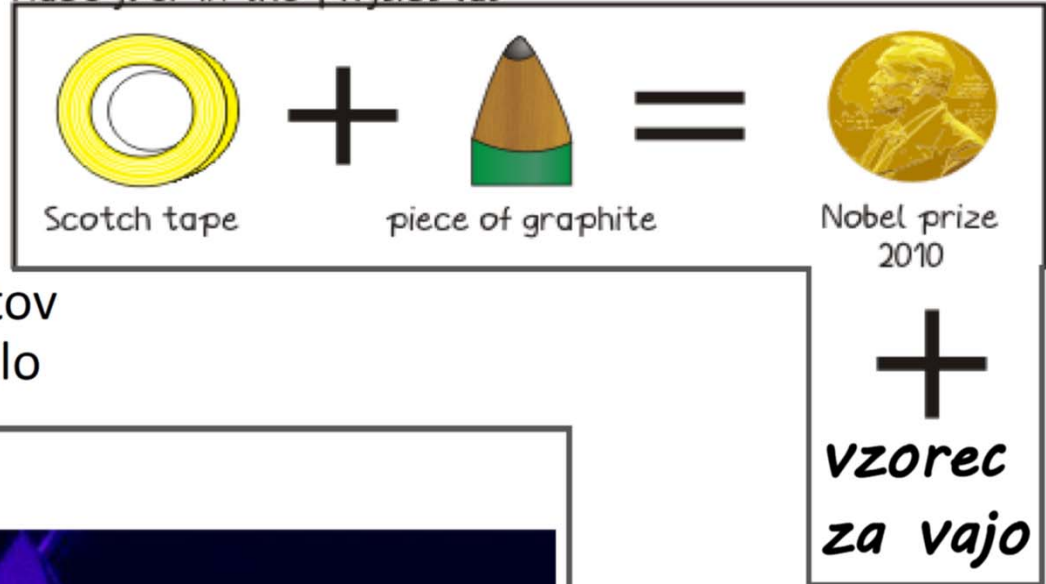


RAMANSKA SPEKTROSKOPIJA GRAFENA

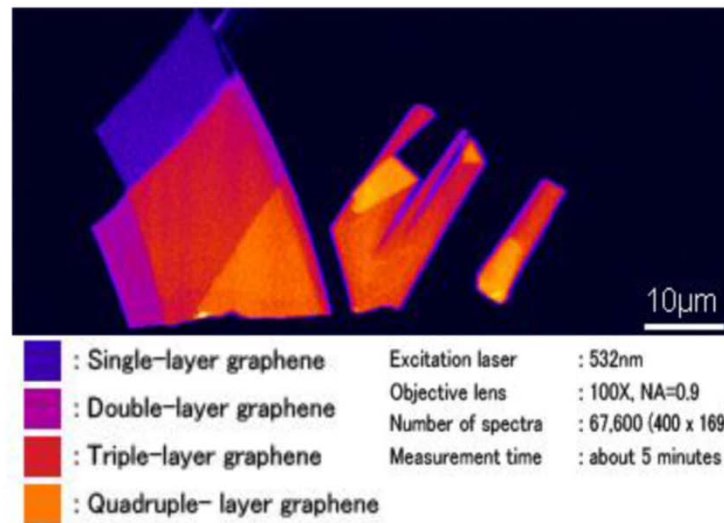
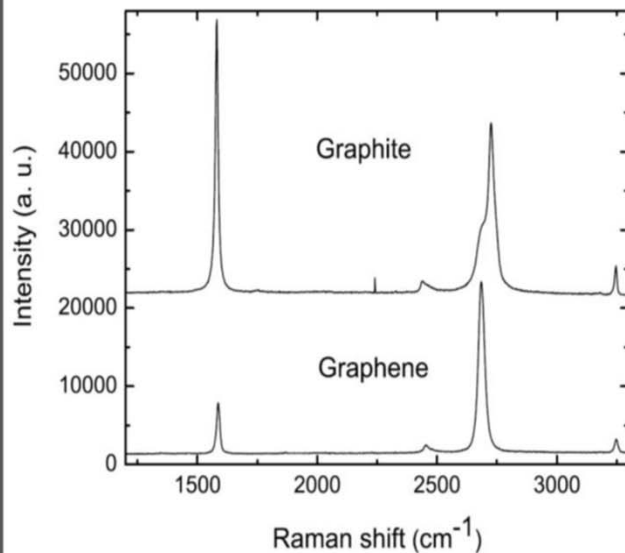
NALOGA

- priprava vzorcev grafena
- karakterizacija vzorcev z Ramansko spektroskopijo
- preverjanje dobljenih rezultatov z mikroskopom na atomsko silo

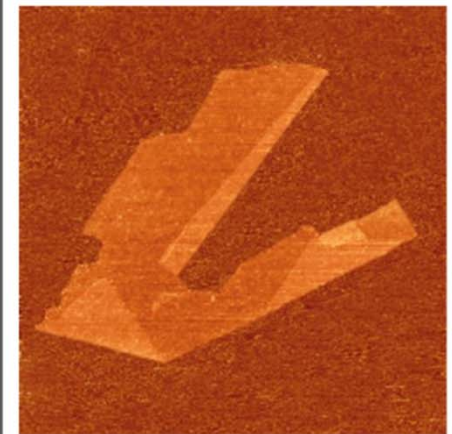
MacGyver in the physics lab



Ramanska spektroskopija



Mikroskop na atomsko silo



Kako naprej?

- Ko bom dobil odgovore vseh skrbnikov vaj, kdaj je njihova vaja na voljo v letošnjem šolskem letu, bom na oglasno desko v F5 obesil seznam.
- Napišete se v okence, kjer je še kaj prostora.
- Termini vaj na seznamu bodo v večini primerov okvirni, za detajle se dogovorite s skrbnikom (in s sošolci, ki opravljajo vajo v istem terminu).
- Zagovori so po dogovoru. Par dni pred zagovorom mi pošljete poročila o vajah, na zagovor prinesete tudi dnevnik.