



Fizikalni praktikum IV.

Uvodno predavanje

Peter Križan

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

Obseg

- V dveh semestrih opravi študent šest vaj, ki jih izbere izmed dvanajstih vaj.
- 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

Ob posebnih navodilih za uporabo eksperimentalnih aparatov pri posamezni vaji velja upoštevati naslednje splošne napotke:

Najprej se ob uporabi literature, ki je navedena pri vsaki vaji, seznaniti s fizikalnimi osnovami poskusa. Premisliti, 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. Nekateri 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 uporablaj 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,
- Rezultati meritev,
- Izvori in velikost napak,
- Zaključek
- Seznam literature

Literatura

Pregled vaj lahko najdete na:

http://www-f9.ijs.si/~krizan/sola/p4/p4_pregled.pdf

Napotki: http://www-f9.ijs.si/~krizan/sola/p4/p4_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)
- Življenjski čas miona, P4 (S. Korpar, R. Pestotnik)
- Optična interferometrija, P3 (T. Mertelj)
- Optična korelacijska spektroskopija, IJS (I. Drevenšek-Olenik)
- Večanodne fotonomoževalke in uklonski poskus, IJS (R. Pestotnik, S. Korpar)
- Sledilni sistem iz večžičnih komor, IJS (R. Pestotnik, S. Korpar)

Seznam vaj

- Kontrast pri slikanju z jedrsko magnetno resonanco, IJS (I. Serša)
- Določitev masne razlike $m(D^*) - m(D)$, IJS (M. Bračko)
- Diagnostika plazme z električnimi sondami, Reaktor (M. Čerček, T. Gyergyek)
- Masna spektrometrija, IJS (V. Nemanič, B. Zajec)
- Metoda PIXE (protonsko vzbujeni rentgenski žarki), Reaktor (M. Kavčič)
- Metoda EXAFS: strukturna analiza, IJS (I. Arčon)

Seznam vaj

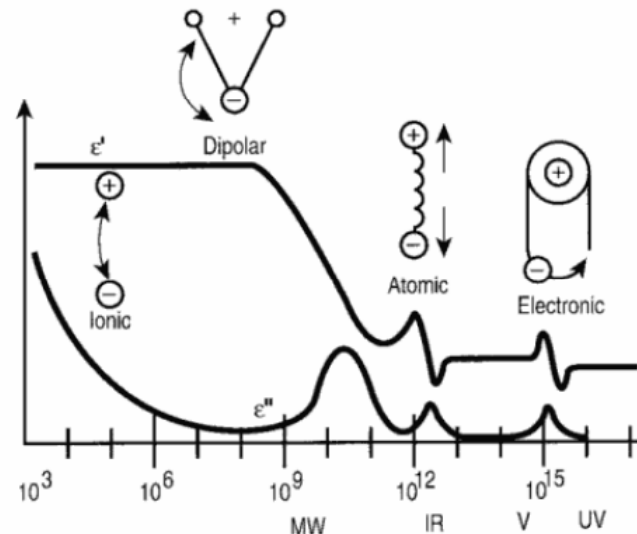
- Presevna elektronska mikroskopija nanocevk, IJS (M. Remškar)
- Atomska zgradba kristalnih površin, IJS (A. Prodan)
- Reaktor: kritični eksperiment in odziv na spremembe reaktivnosti (M. Ravnik)
- Reaktor: Vplivi na reaktivnost reaktorja, Reaktor (M. Ravnik)
- Hertzprung-Russelov diagram, Observatorij 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*.

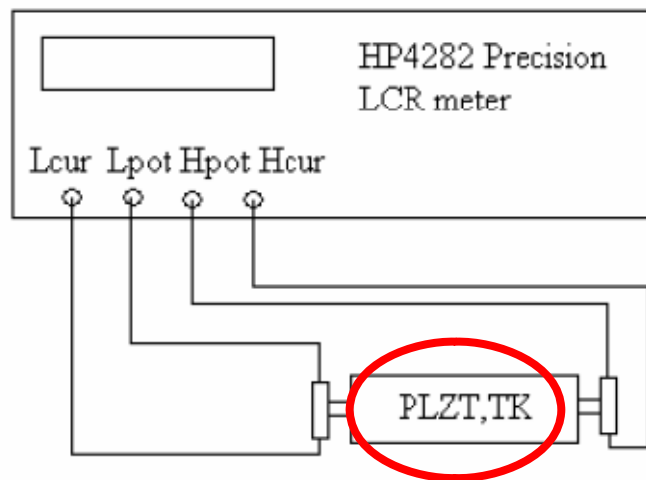


2. Merjenje temperaturne odvisnosti realnega in imaginarnega dela dielektrične funkcije pri 1kHz.

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

Merjenje dielektričnosti

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



$$\epsilon' = C / C_0$$

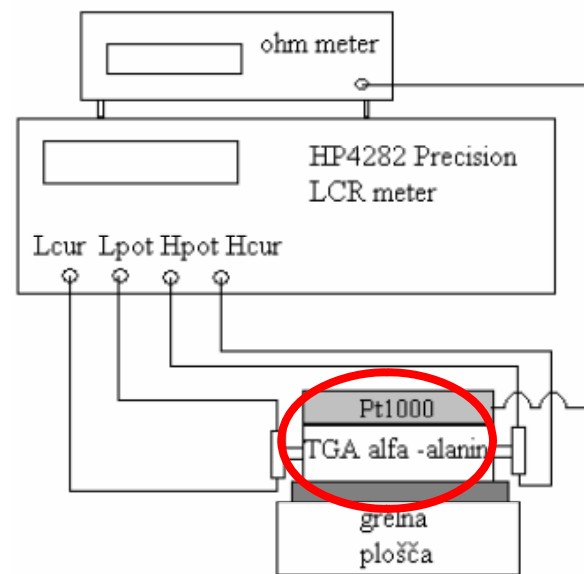
$$\epsilon'(T, \omega) = \epsilon_\infty + \Delta\epsilon(T) / (1 + \omega^2 \tau(T)^2)$$

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

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

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

2.



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

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

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

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

Fotonska korelacijska spektroskopija

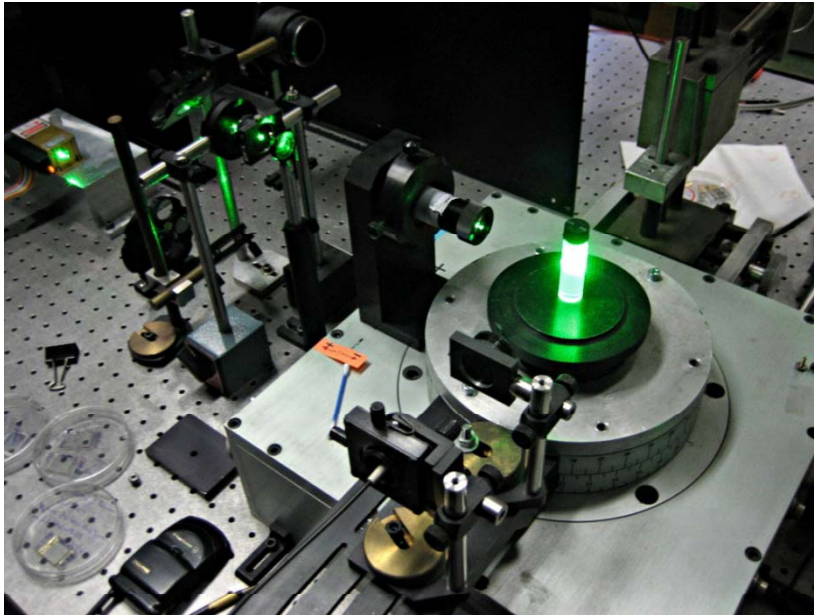
- Metoda za določanje velikosti delcev v suspenziji.
- Red velikosti nm do μm (področje med elektronsko in optično mikroskopijo).
- Deluje za kroglaste delce, interpretacija rezultatov težja za ostale oblikah, a nekaj se da povedati.
- Ključna ideja: delci se Brownovo gibajo, manjši hitreje in večji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

η – viskoznost topila
R – hidrodinamski polmer

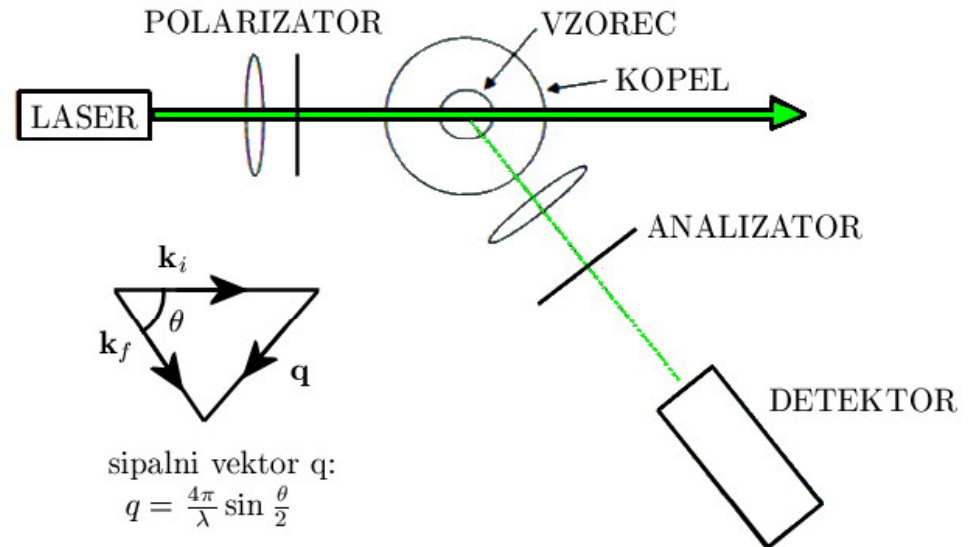
$$D = \frac{k_B T}{6\pi\eta R} \rightarrow \text{Izmerimo } D \text{ in tako določimo velikost } R!$$

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

NALOGA: Pomeriti velikost delcev v znanem in neznanem vzorcu.



Postavitev eksperimenta:



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

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

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

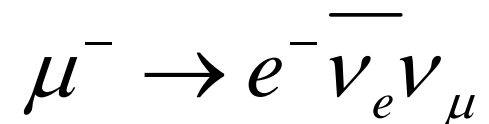
$$\frac{1}{2\tau} = Dq^2$$

Življenjski čas mionov

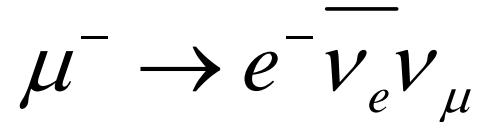
Razpadni čas miona je povezan s sklopitveni konstanto šibke interakcije G – fundamentalno količino

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

Razpad miona:



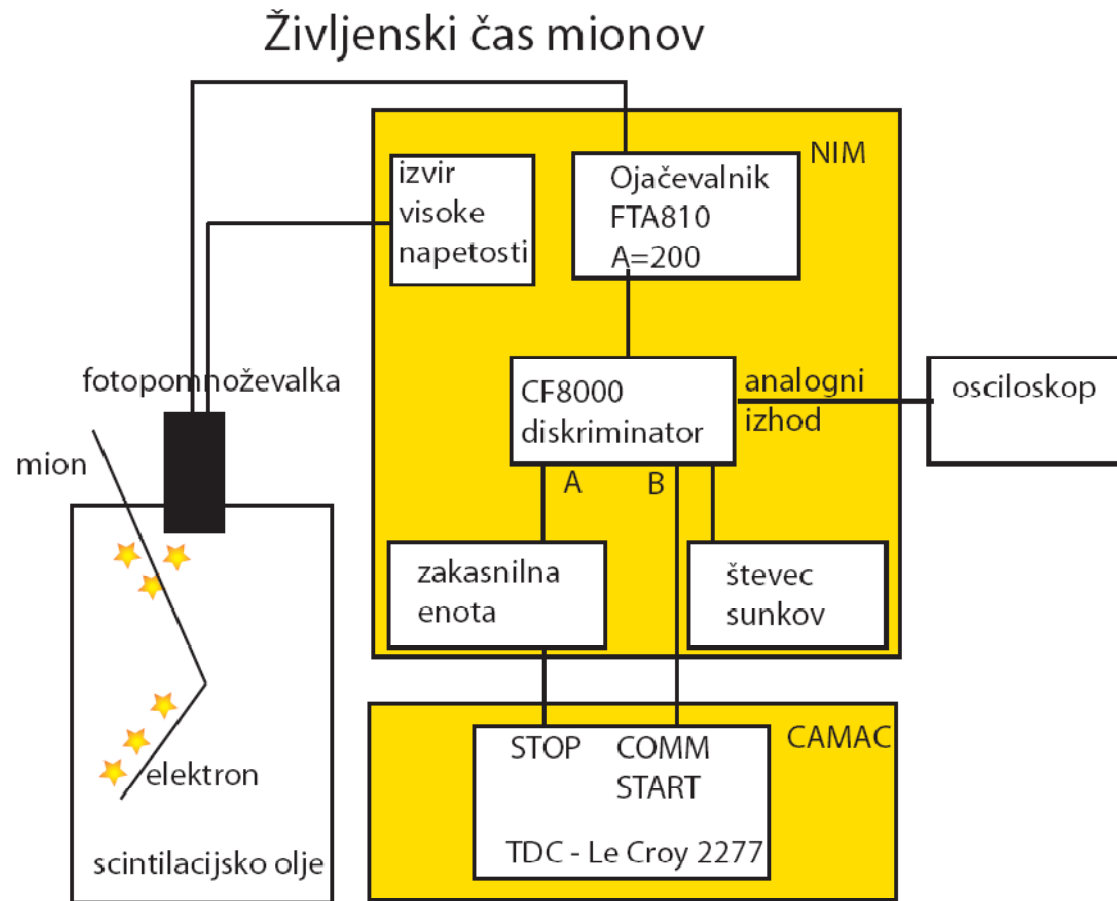
Življenjski čas mionov



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

Meritev časa:

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



Življenjski čas nevtralnih kaonov

- Nastaneta prek močne interakcije
- Se razlikujeta po čudnosti (+1, -1)
- Linearni kombinaciji obeh stanj razpadeta po šibki interakciji z različnima razpadnima časoma

$$K^0 \quad \bar{K}^0$$

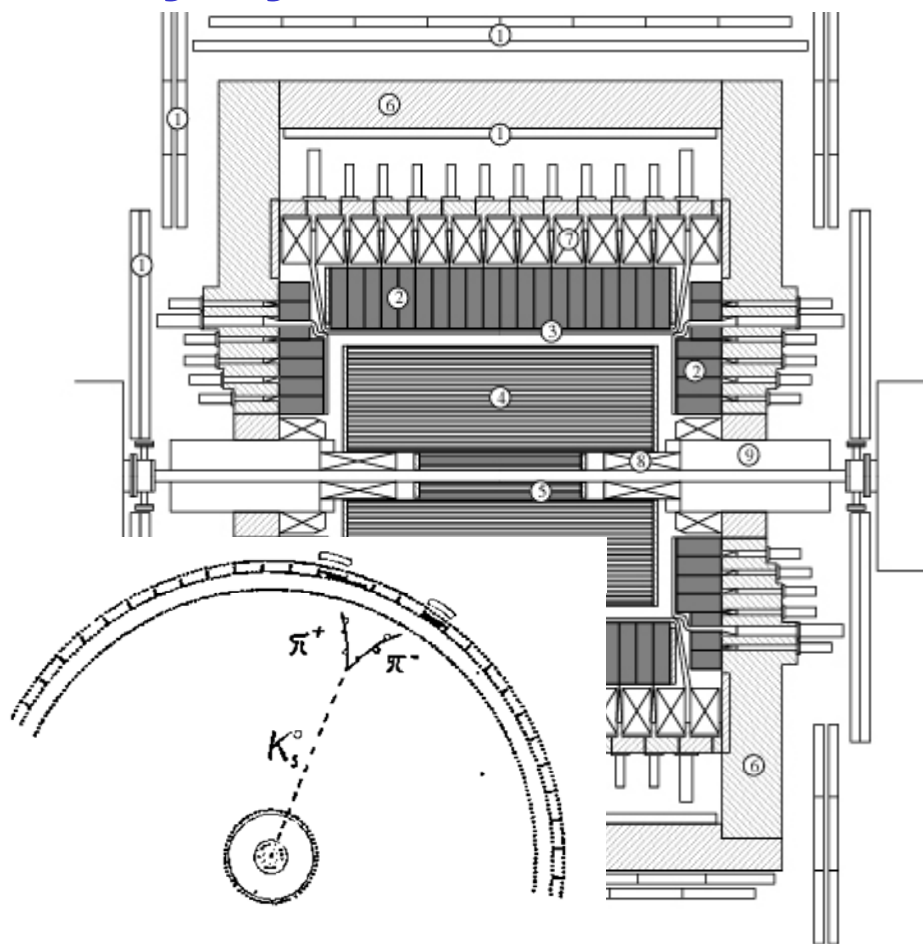
$$K_S^0 \quad K_L^0$$

$$\tau_{K_S^0} = (0.8953 \pm 0.0005) \cdot 10^{-10} \text{ s}$$

$$\tau_{K_L^0} = (5.099 \pm 0.021) \cdot 10^{-8} \text{ s}$$

Življenjski čas nevtralnih kaonov

Spektrometer ARGUS, DESY, Hamburg



- ① mionske komore
- ② kalorimetri
- ③ števci časa preleta
- ④ potovalna komora
- ⑤ komora za določitev mesta interakcije
- ⑥ železni plašč
- ⑦ navitje tuljave
- ⑧ kompenzacijsko navitje
- ⑨ magnetni kvadrupol

Kratkoživi K_s^0 razpade na dva piona → Poiščemo sledi dveh pionov, izmerimo njuni gibalni količini, določimo mesto nastanka, in določimo lastni čas.

Iz porazdelitve $\exp(-t/\tau)$ določimo τ .

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

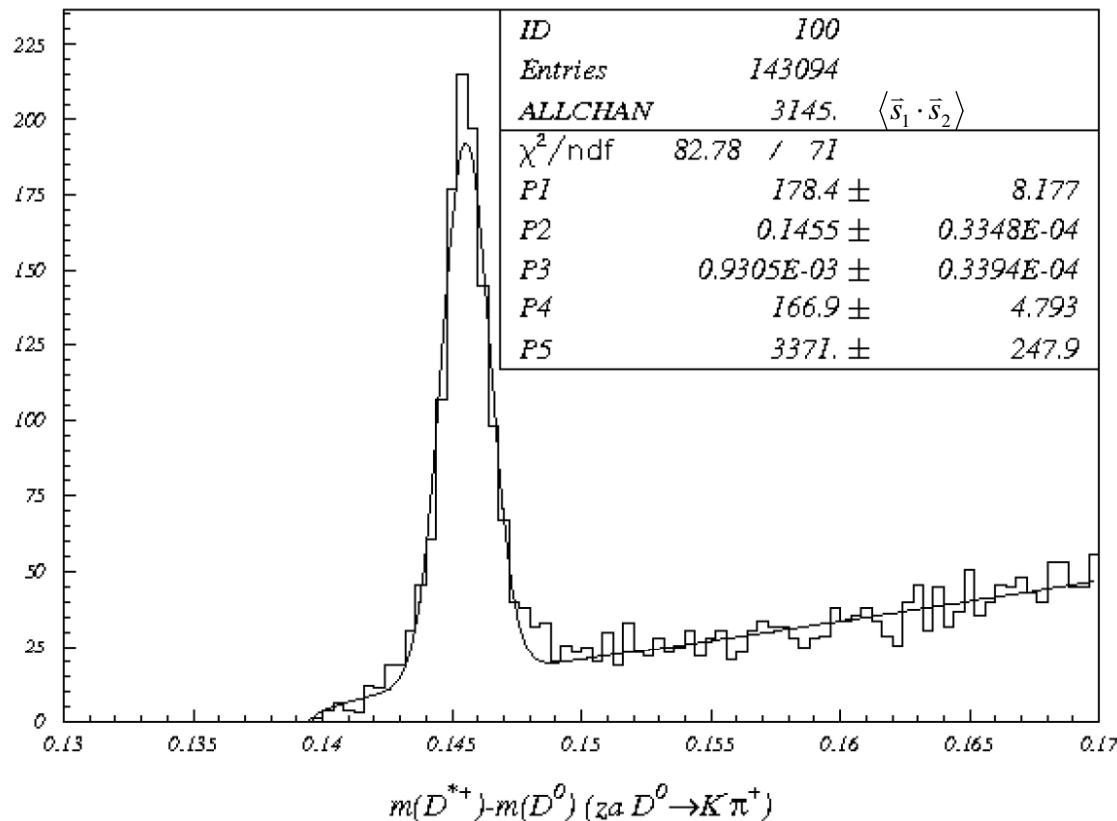
$$\Delta m \propto \frac{\alpha_s}{m_1 m_2} |\psi(0)|^2 \langle \vec{s}_1 \cdot \vec{s}_2 \rangle$$

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

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

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

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



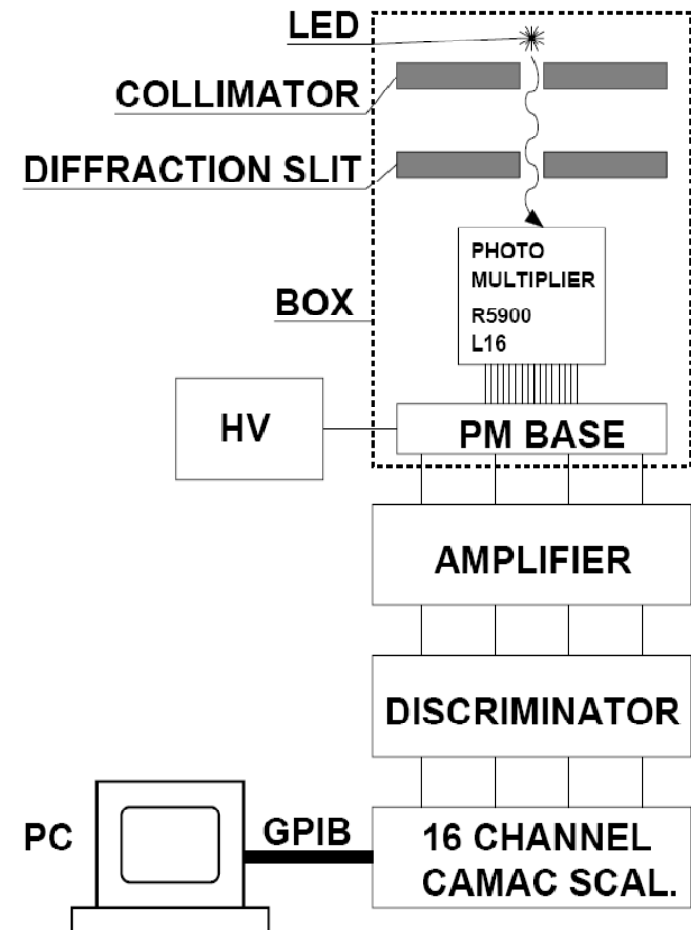
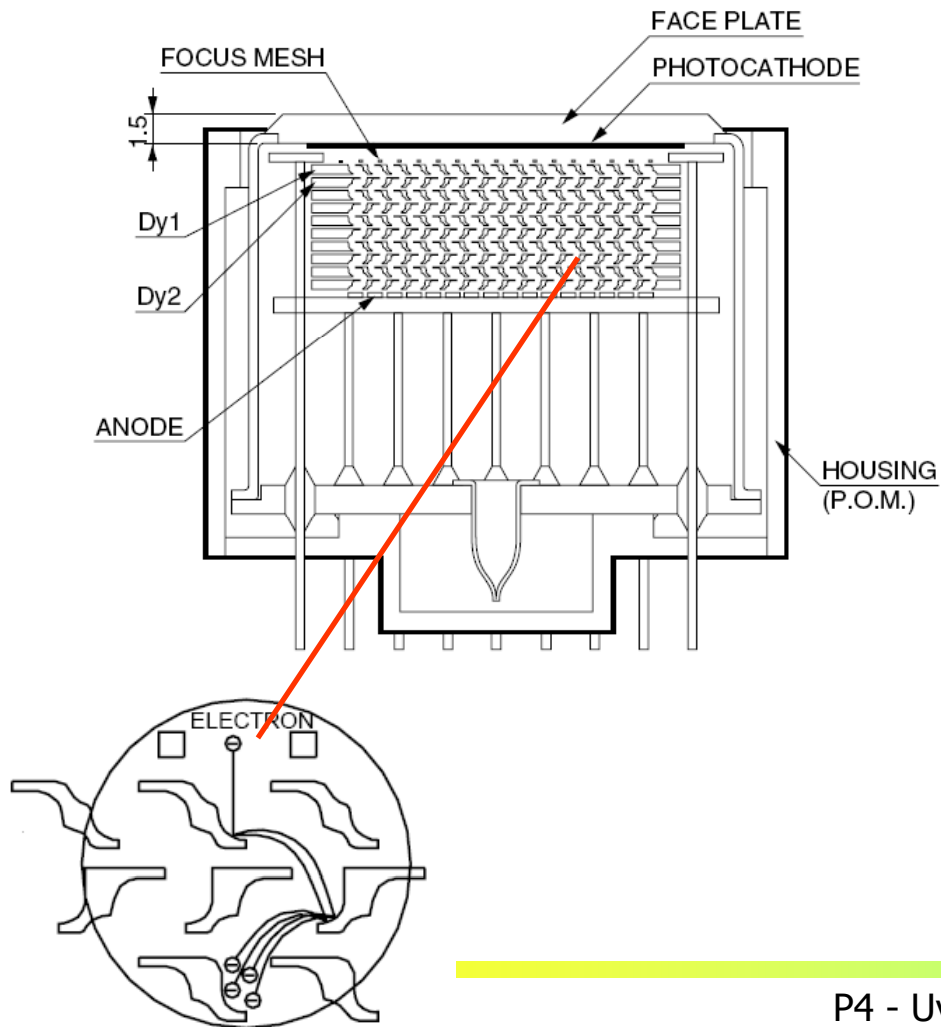
D^{*+}
└

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

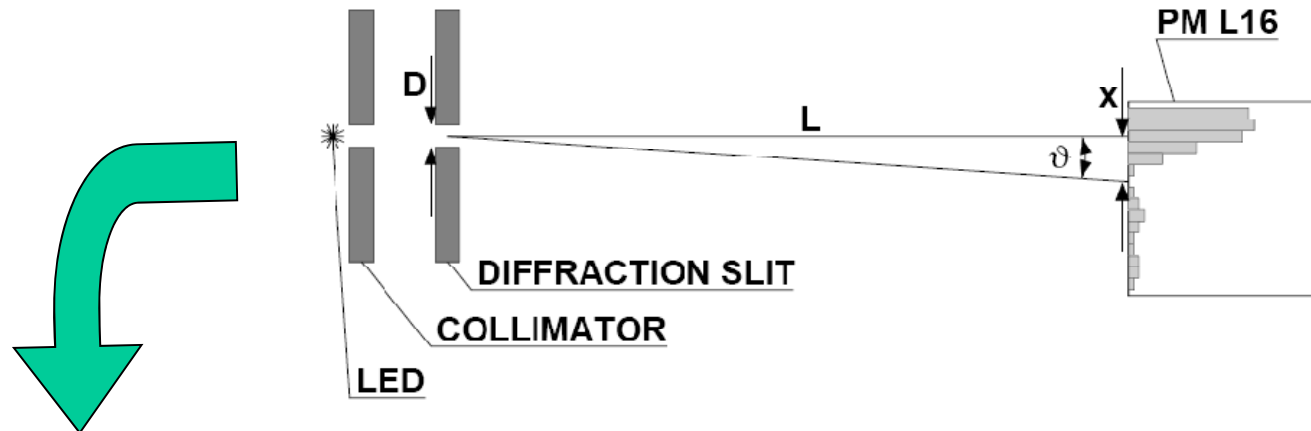
Večanodne ftopomnoževalke



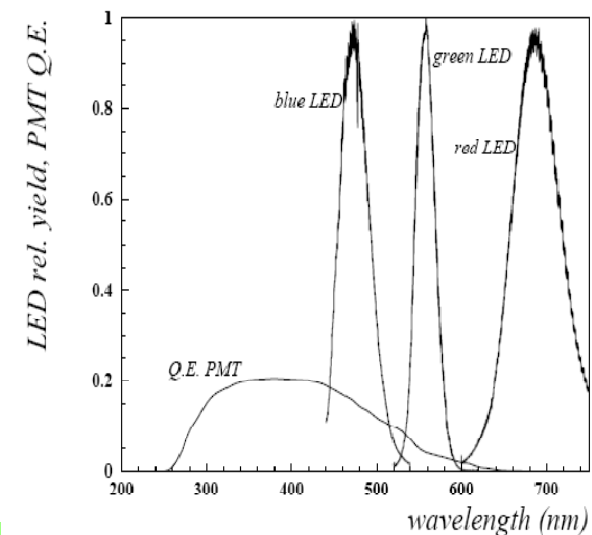
- Hamamatsu, R5900-L16



Večanodne fotonomoževalke: Uklonska slika s posameznimi fotoni!



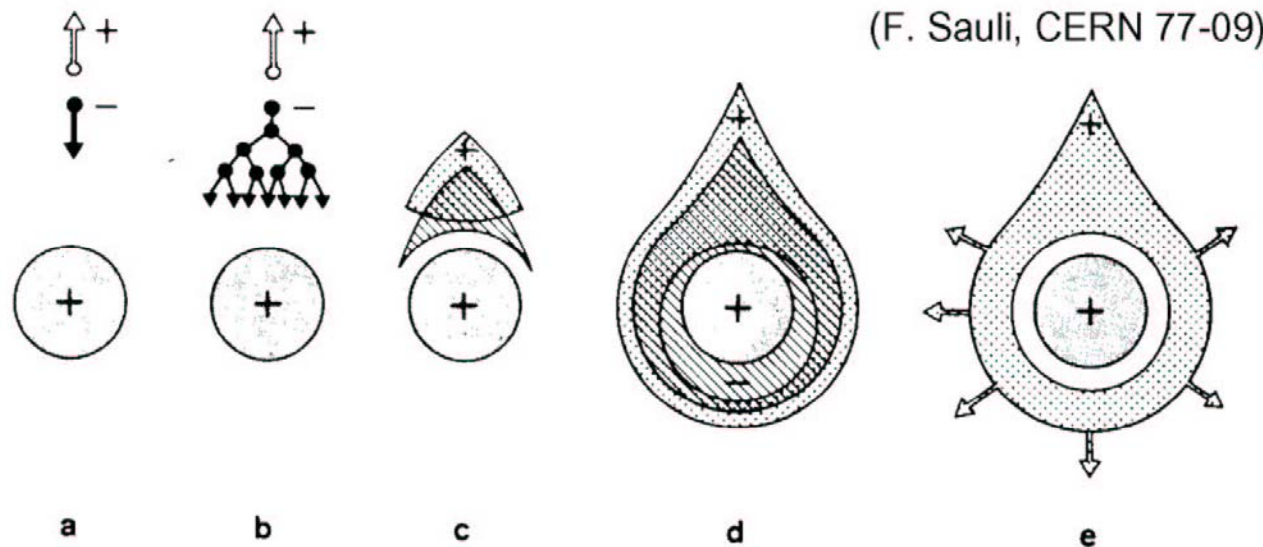
$$j(\vartheta) = j_0 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2} \quad \alpha = \frac{\pi D \sin \vartheta}{\lambda}$$



Vežična proporcionalna komora

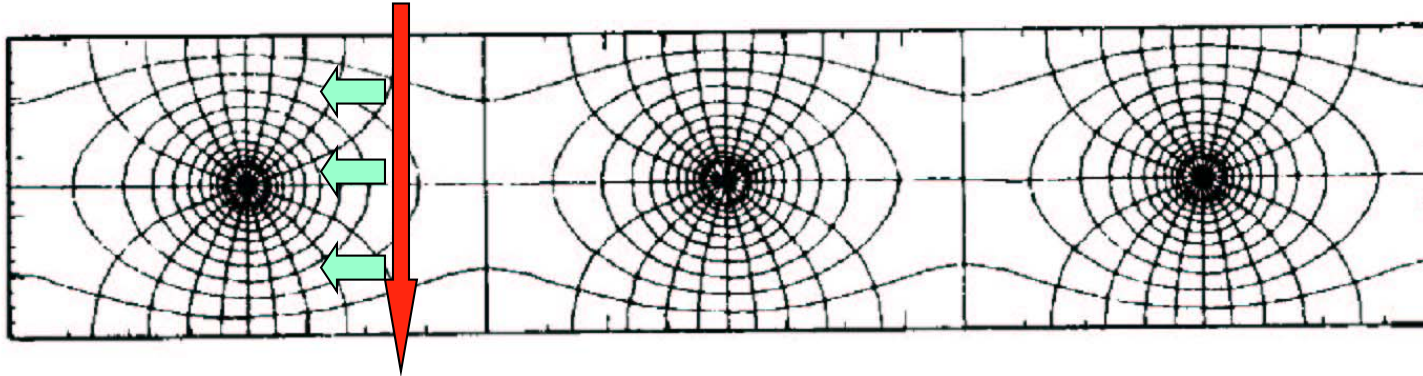
Eden izmed najpomembnejših detektorjev v fiziki osnovnih delcev, o katerem so prvi poročali G. Charpak, R. Bouclier, T. Bressani, J. Favier in Č. Župančič (G. Charpak, NN 1992).

Nabit delci pri preletu ionizirajo plin. Sproščeni elektroni potujejo proti anodi.



Nastanek plazma v električnem polju v bližini anodne žičke. Tipičen premer anodne žičke (+) je $15-20\mu\text{m}$

Večžična proporcionalna komora



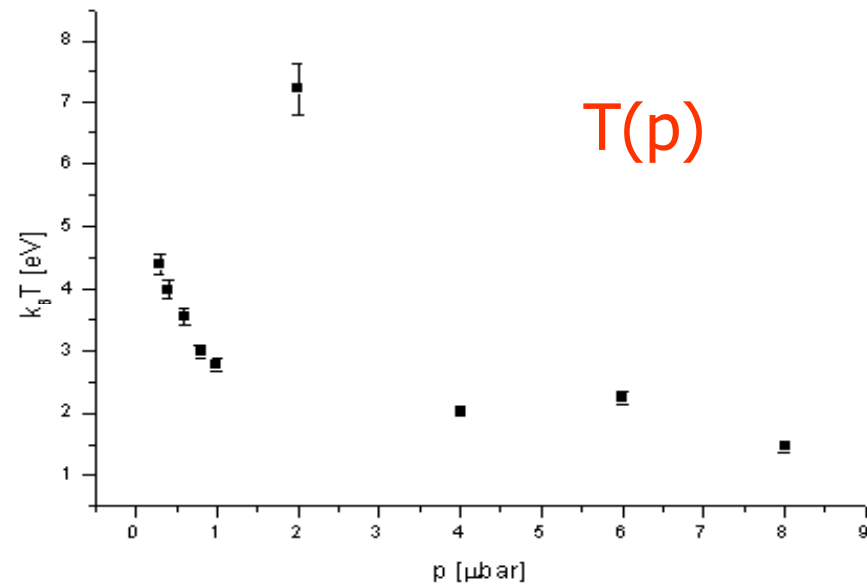
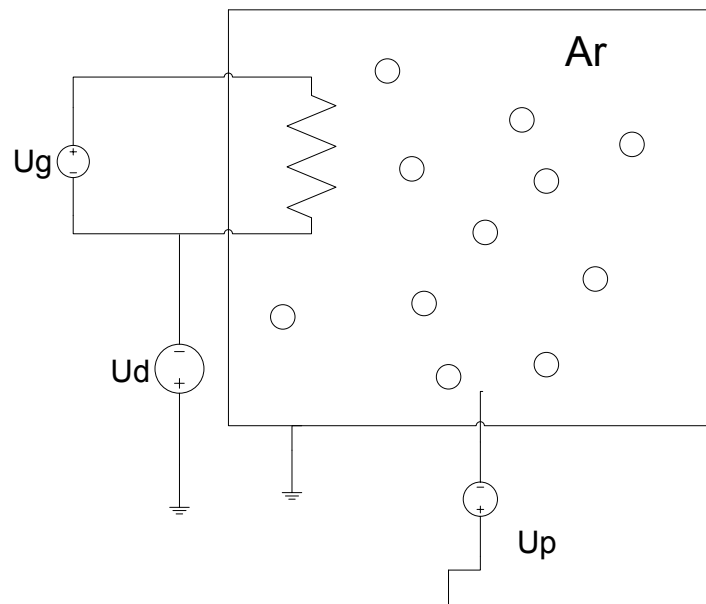
Pri vaji opazujemo odziv detektorja na izvora Fe59 (X) in Sr90 (beta).

Vsebina:

- določitev odvisnosti ojačanja od napetosti
- ali je komora res proporcionalna?
- zakasnilna linija s čitalno elektroniko
- ločljivost dvodimenzionalnega detektorja

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.



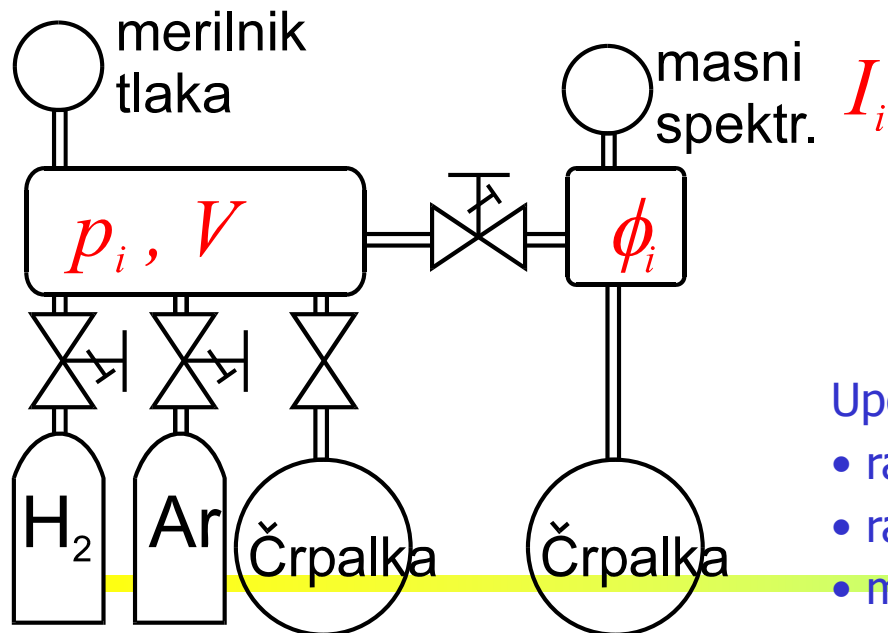
Spreminjamo zunanje parametre, tlak, B , razelektritveno napetost, in merimo tokovno-napetostno karakteristiko plazme
→ gostota plazme, temperatura elektronov, plaz. potencial.

Masna spektrometrija:

Kvantitativna analiza plinskih zmesi

Analiza sestave plinske zmesi z masnim spektrometrom (MS) v visokem vakuumu je temeljna metoda za vpogled v reakcije v plinih in na površinah, s katerimi se srečujemo v atomski fiziki, pri spremljanju jedrske fuzije, pripravi plazme, pripravi okolja za pospeševalnike ipd.

- Določamo **molekularno sestavo** neznane plinske zmesi
- Analiziramo lahko količine že od **10^{-10} mol**
- Princip delovanja MS: ionizirane delce (atome ali molekule) vodimo skozi filter in merimo tok I_i , ki ga povzročajo delci z maso m_i .



$$I_i = f(\phi_i)$$

$$\phi_i \propto p_i / \sqrt{m_i}$$

Upoštevati je potrebno:

- različne molekul. mase \rightarrow različni pretoki ϕ_i
- različen presek za ionizacijo v MS
- možne reakcije na stenah in v MS

Masna spektrometrija:

Kvantitativna analiza plinskih zmesi

Spoznali boste:

- Osnove o vakuumskih sistemih (črpalke, merilniki, ventili, režimi pretoka, ipd.)
- Kvadrupolni masni spektrometer in merilnike za tlak v visokem vakuumu

Naloga:

- kalibriraj MS z dvema čistima plinoma (H_2 , Ar)
- spremljaj ionske tokove pri nekaj znanih začetnih razmerjih H_2 & Ar in pojasni potek
- oceni detekcijsko mejo in napako pri določevanju plinske mešanice H_2 & Ar



Peter Krizan

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:

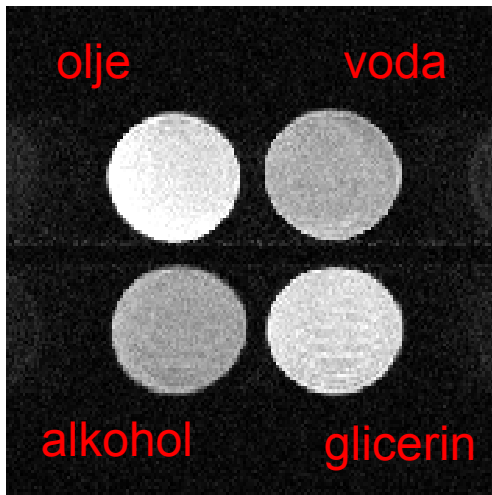
- parametrov slikanja:
 - časa spinskega odmeva (TE)
 - hitrosti ponavljanja slikovnega zaporedja (TR)
- lastnosti vzorca:
 - gostote protonov (ρ)
 - spin-spinskega relaksacijskega časa (T_2)
 - spin-mrežnega relaksacijskega časa (T_1)

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



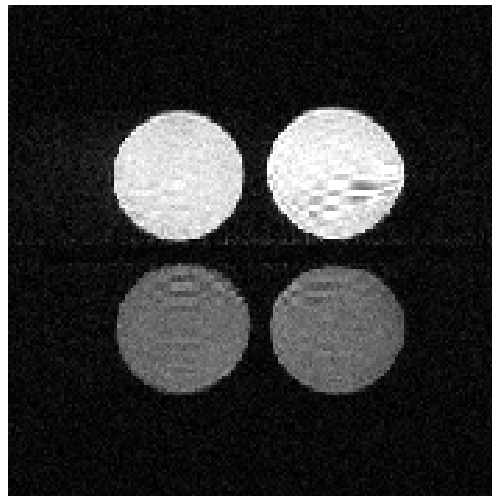
Kontrast pri slikanju z magnetno resonanco

Glede na izbiro parametrov slikanja ločimo tri karakteristične skupine slik:



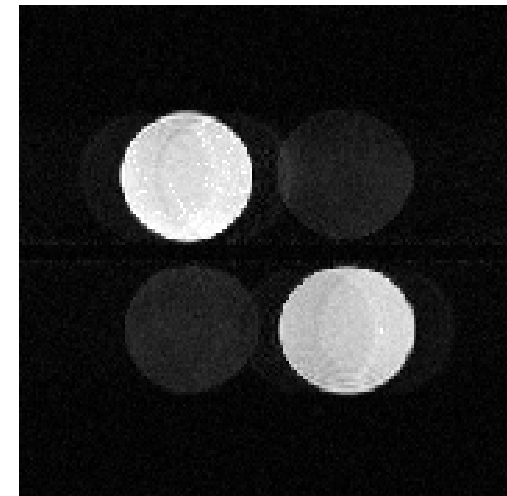
Gostotno obteženo sliko, kjer kontrast zavisi pretežno od gostote protonov

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



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

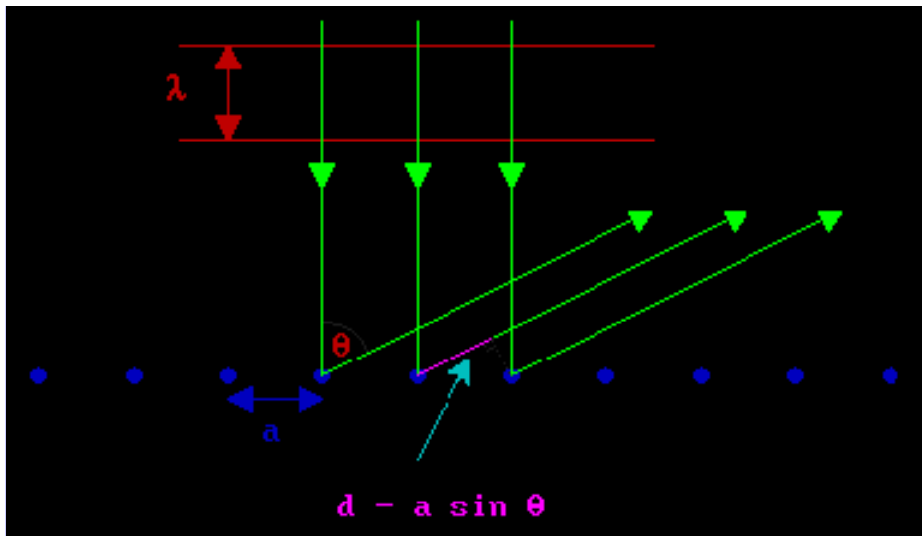
TR - zelo dolg ($TR = 3000$ ms)
 TE - približno T_2 ($TE = 40$ ms)



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

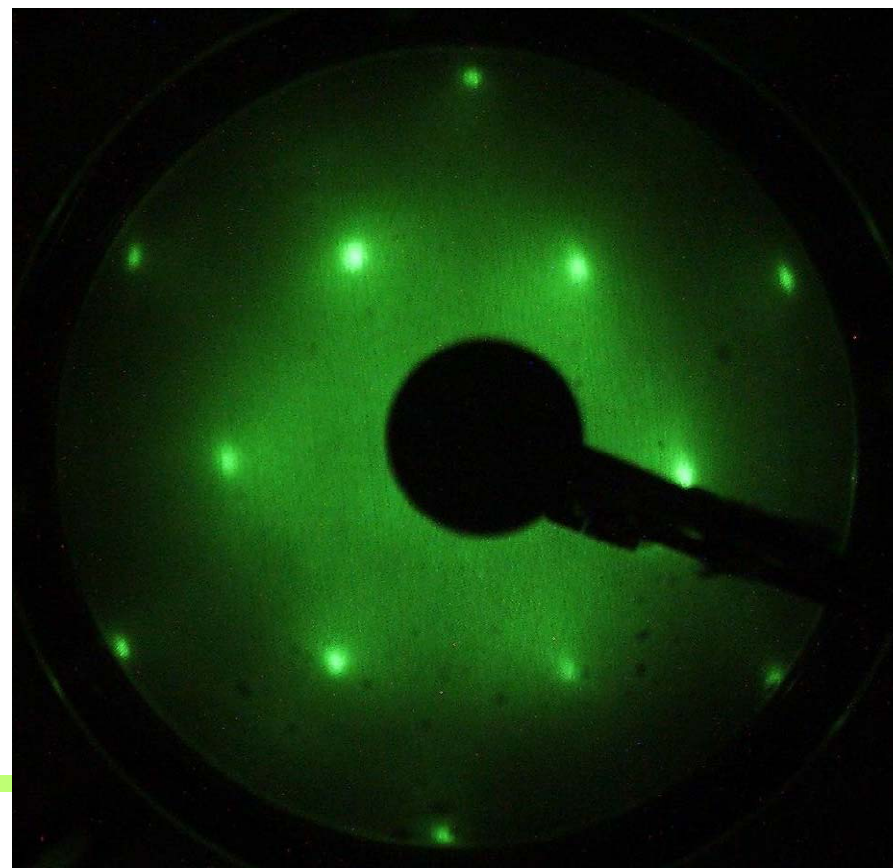
TR - približno T_1 ($TR = 400$ ms)
 TE – kratek ($TE = 12$ ms)

Atomska struktura površin s tunelskim mikroskopom in uklonom nizkoenergijskih elektronov

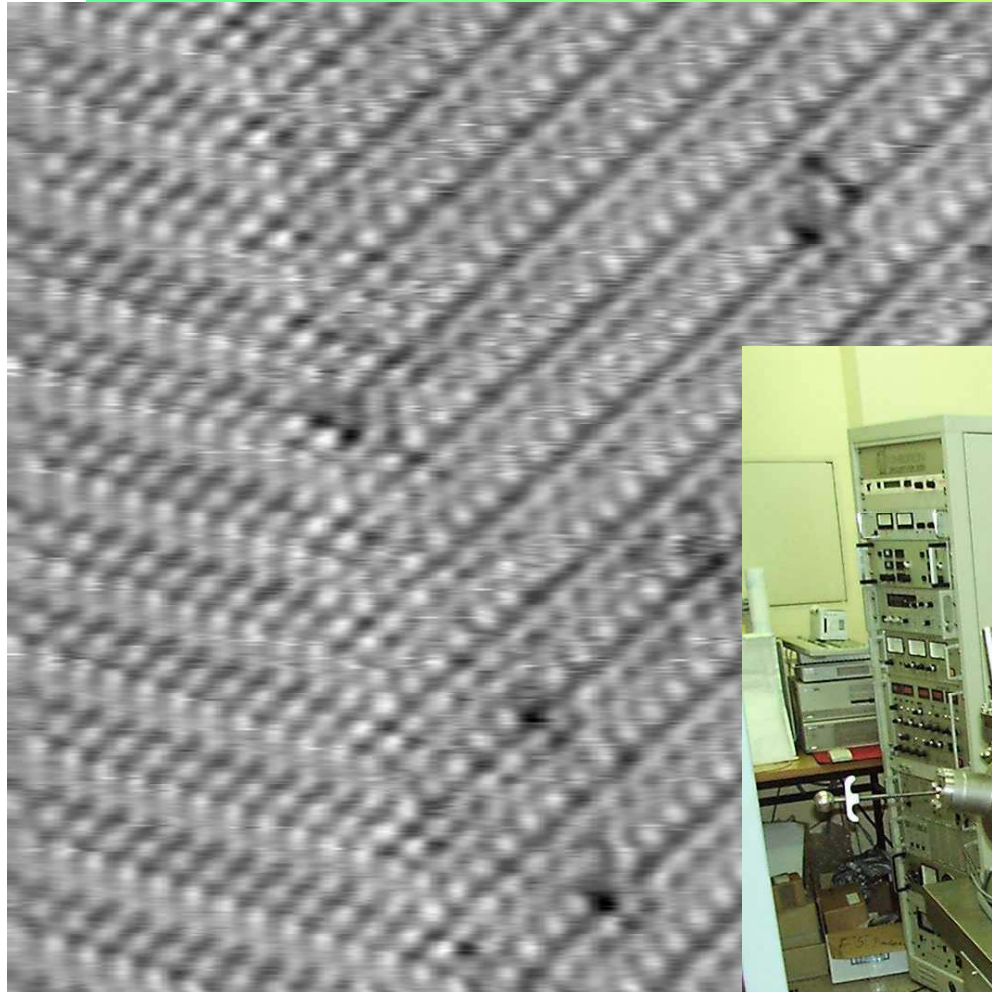


Nizkoenergijski elektroni ne prodrejo skozi vzorec – sipljejo se na površini.

Braggov pogoj v obeh smereh ravnine



Atomska struktura površin s tunelskim mikroskopom in uklonom nizkoenergijskih elektronov



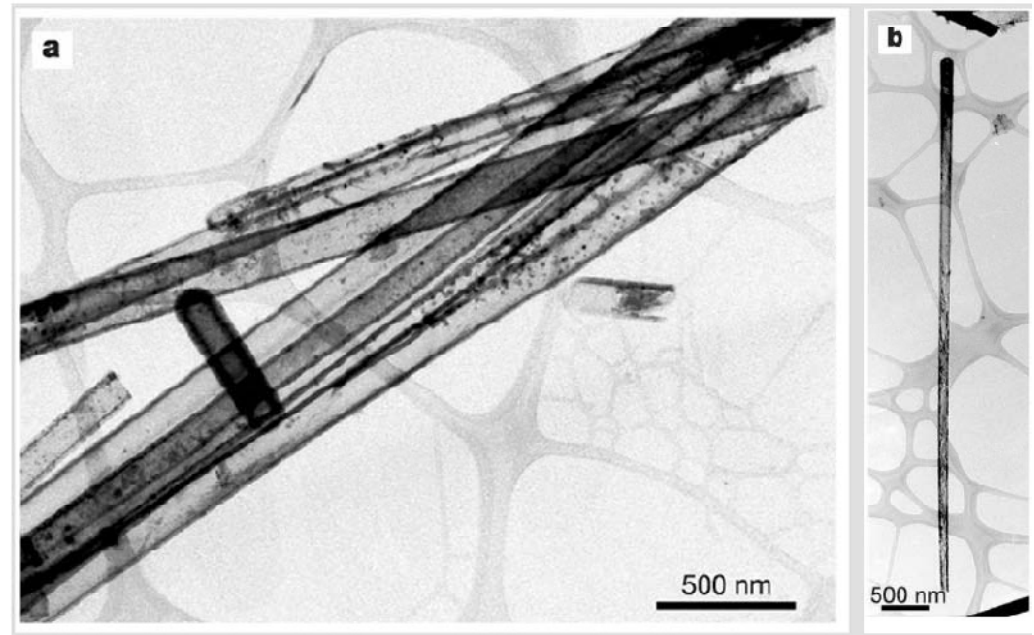
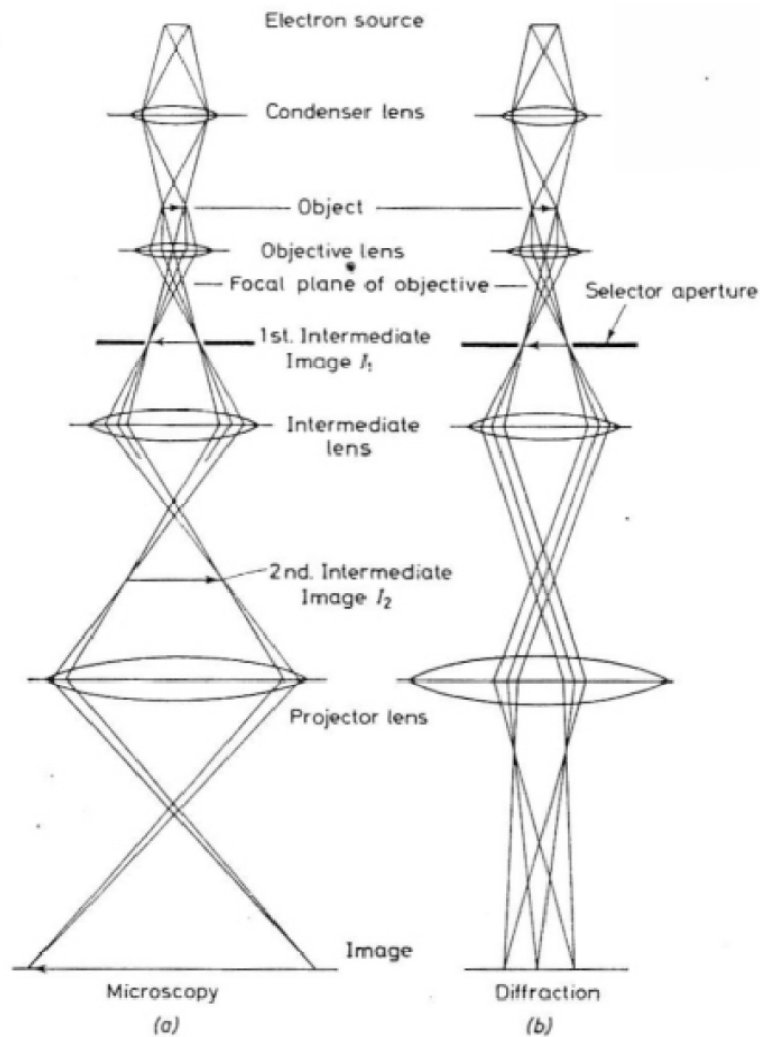
Tunelski mikroskop



NbTe_2

4. oktober 2007

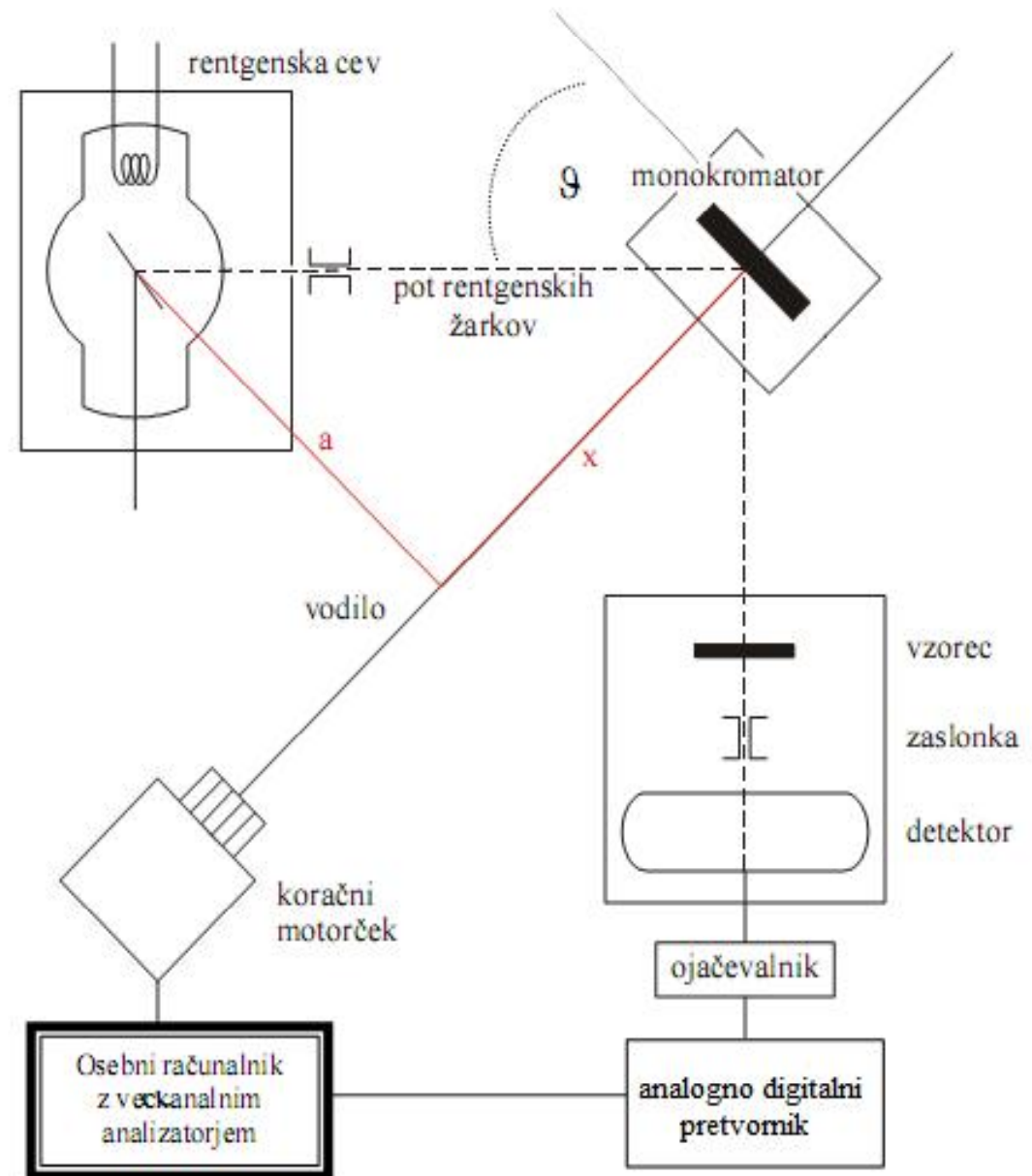
Transmisijski elektronski mikroskop



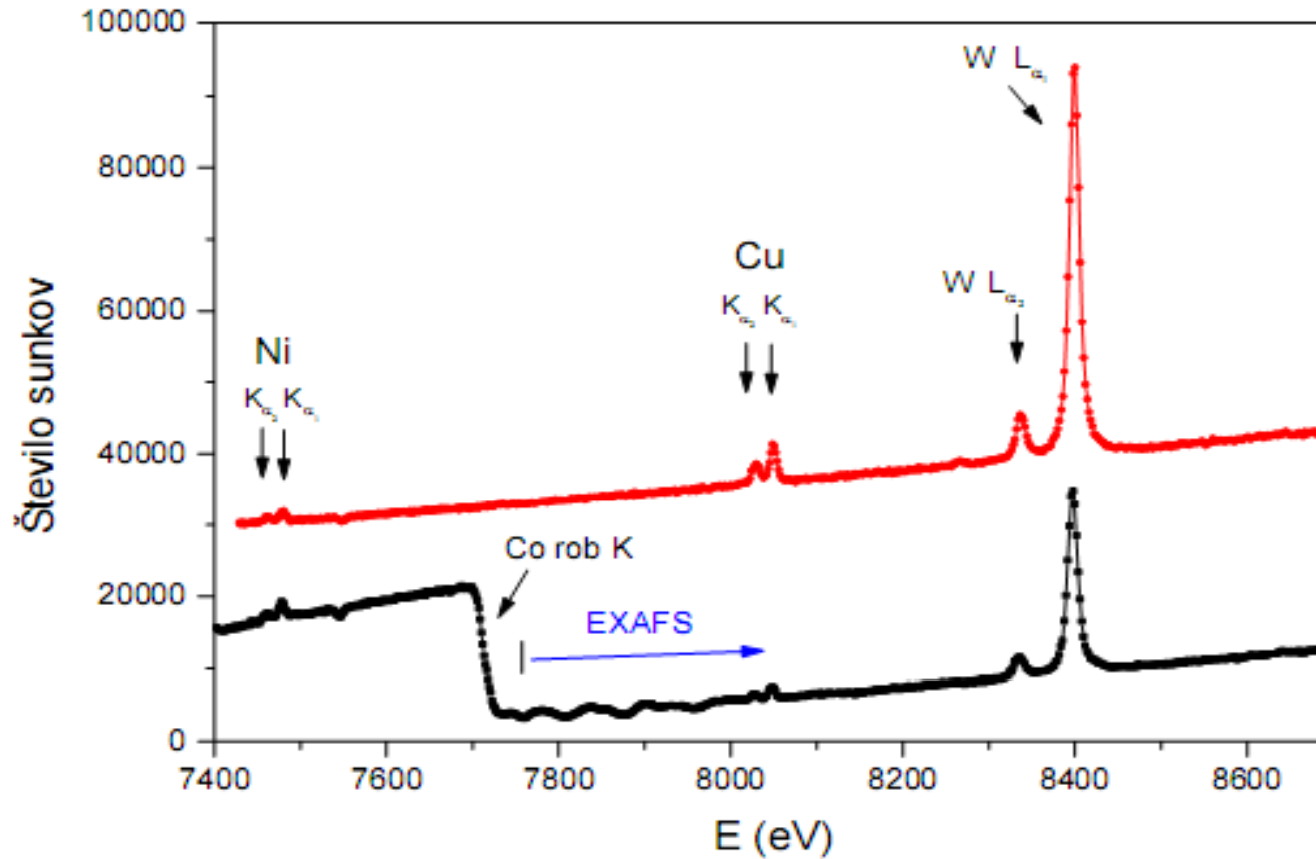
Slika: Shema elektronskega mikroskopa

EXAFS

Študij strukture snovi
preko absorpcijskih
spektrov žarkov X



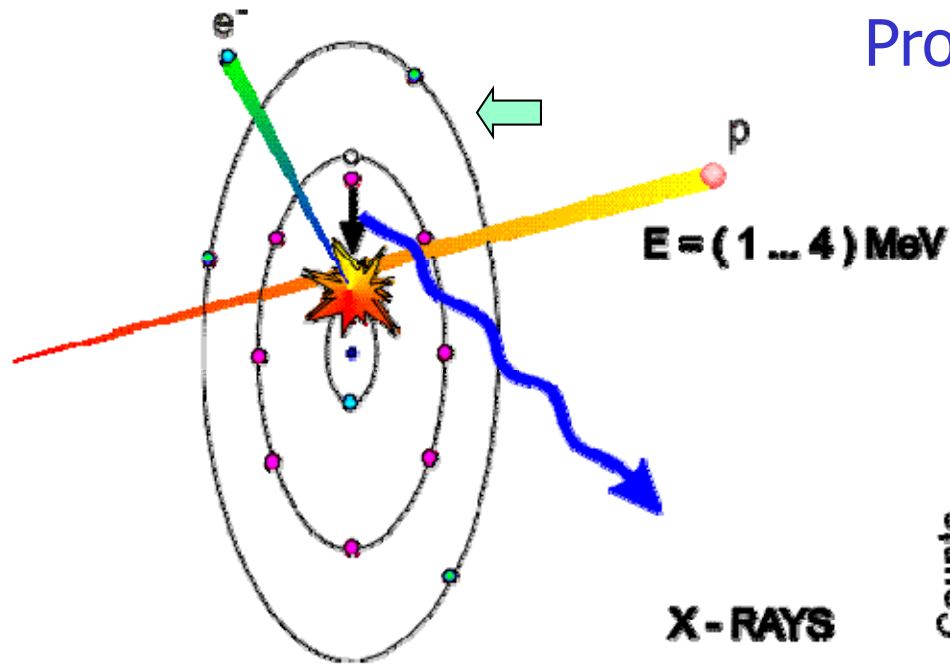
EXAFS



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

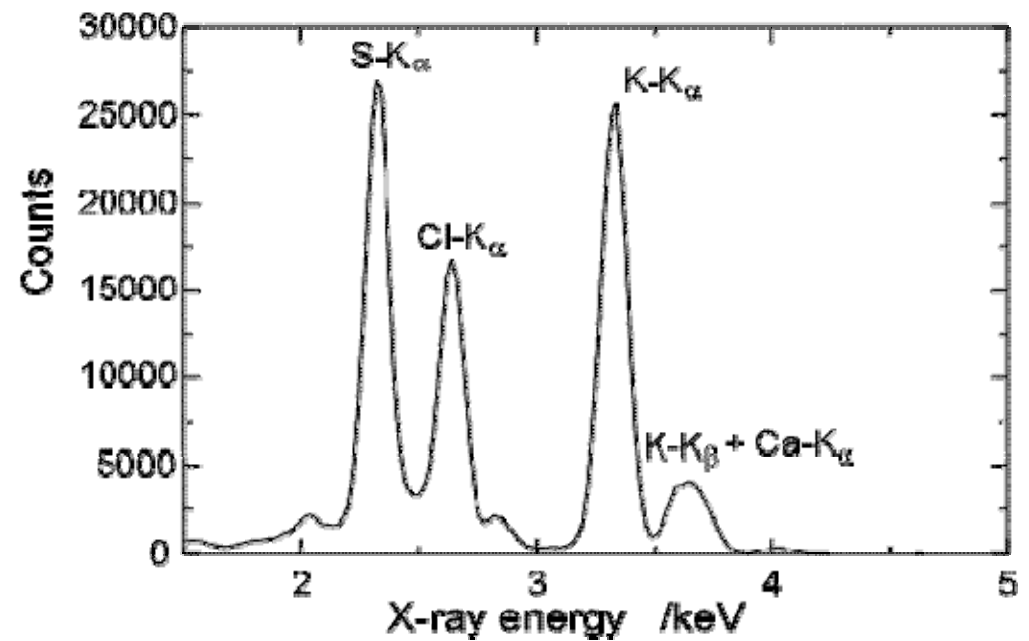
PIXE

Proton induced X-ray emission



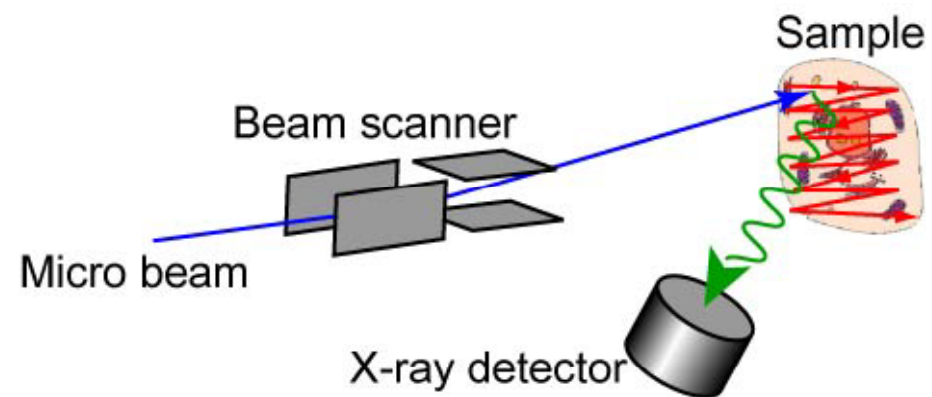
Zelo natančna mikroanalitska metoda za proučevanje elementarne sestave površin.

PIXE-Spectrum



PIXE

Vir protonov: Van de Graffov pospeševalnik



Reaktor: Kritični eksperiment in odziv na spremembe reaktivnosti

Pri tej vaji raziščemo parametre reaktorja

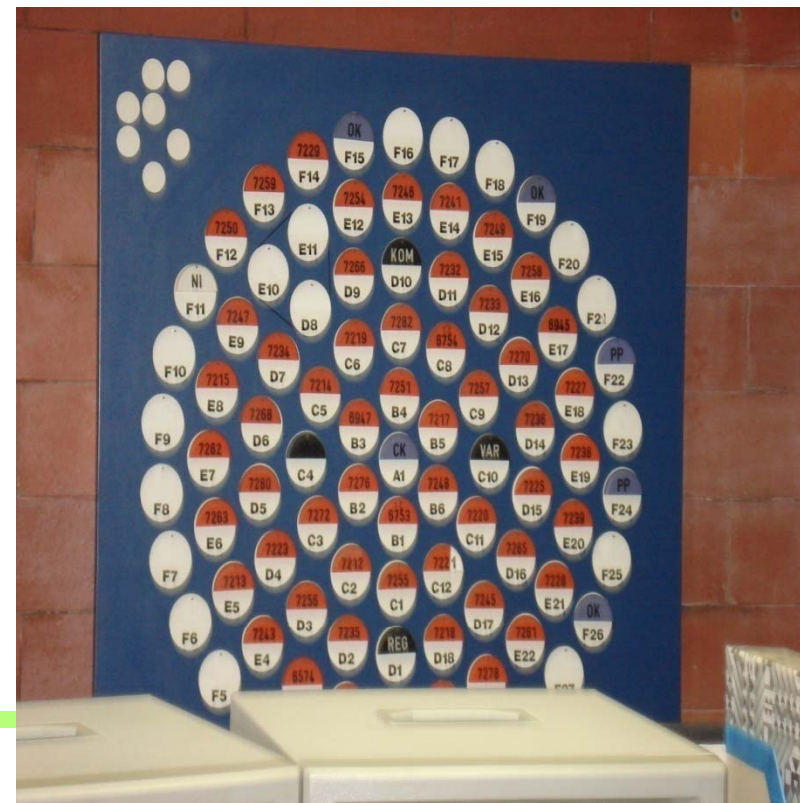
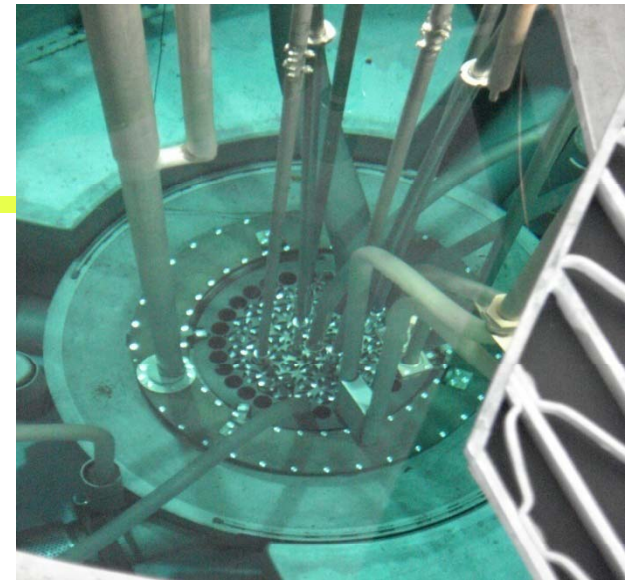
Struktura reaktorja:

4 kontrolne palice

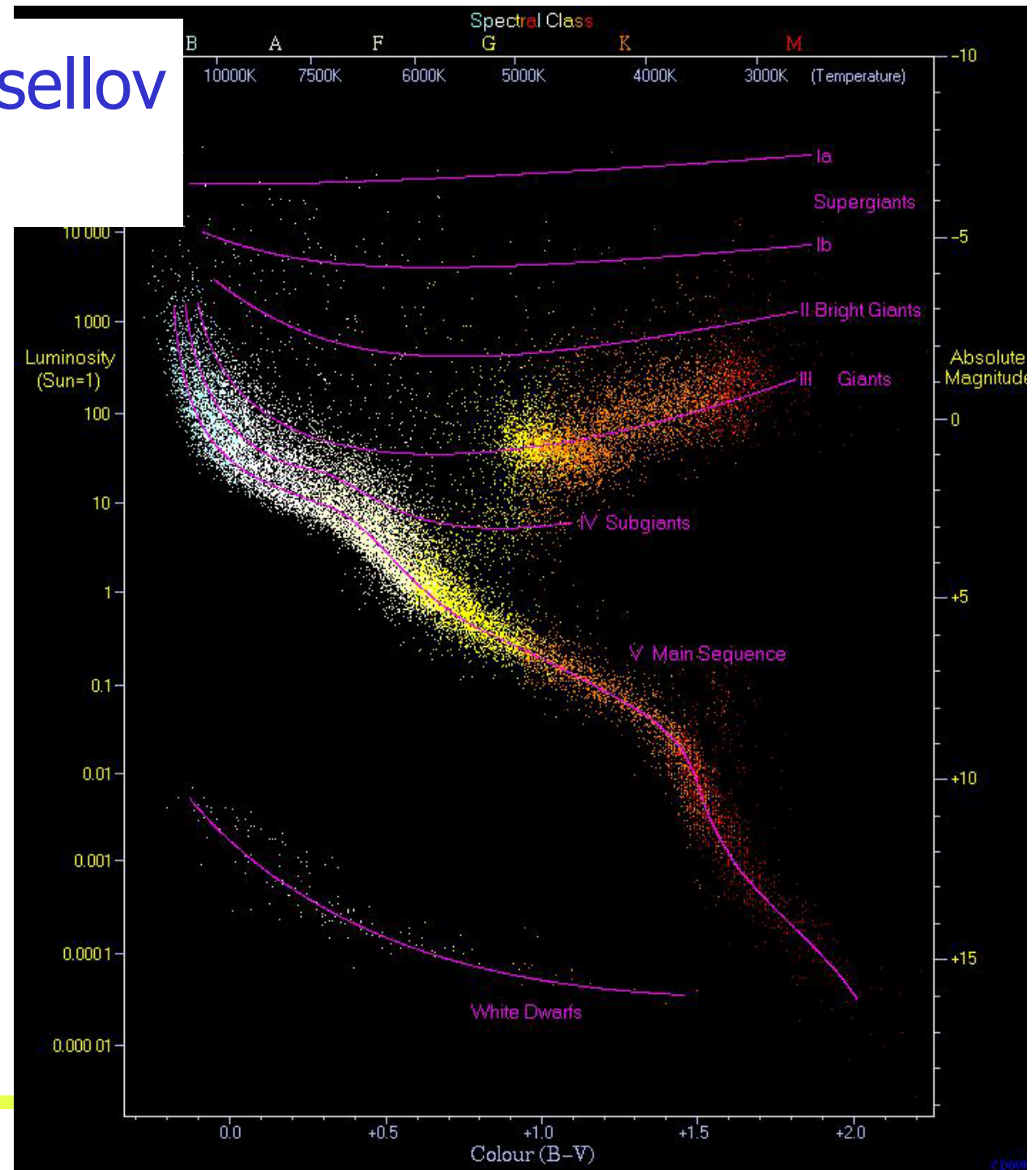
- pulzna
- kompenzacijska
- varnostna
- regulacijska

Gorivne palice

- U-235

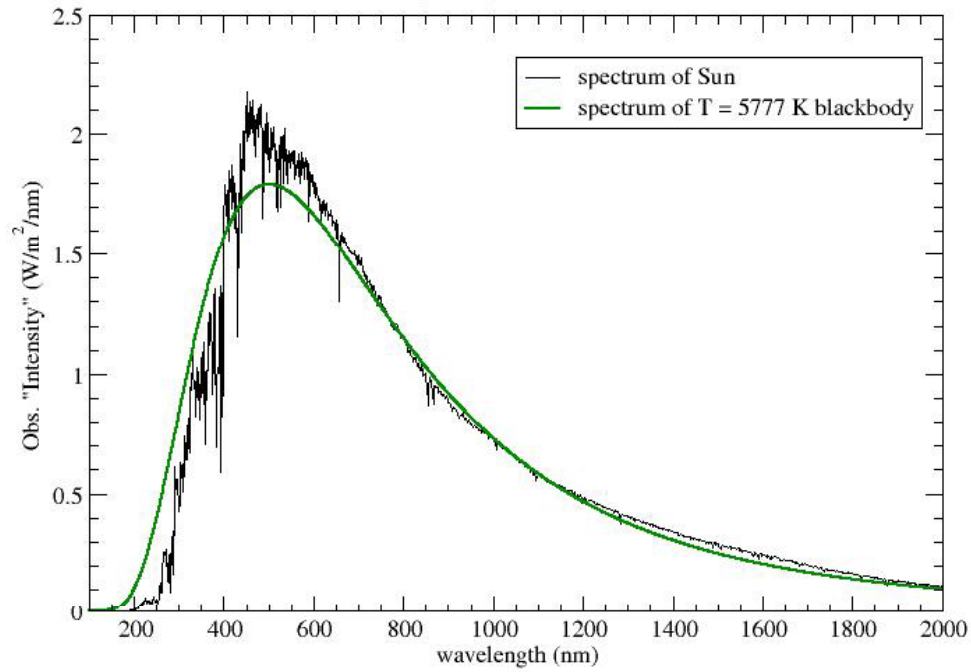


Hertzsprung-Russell diagram

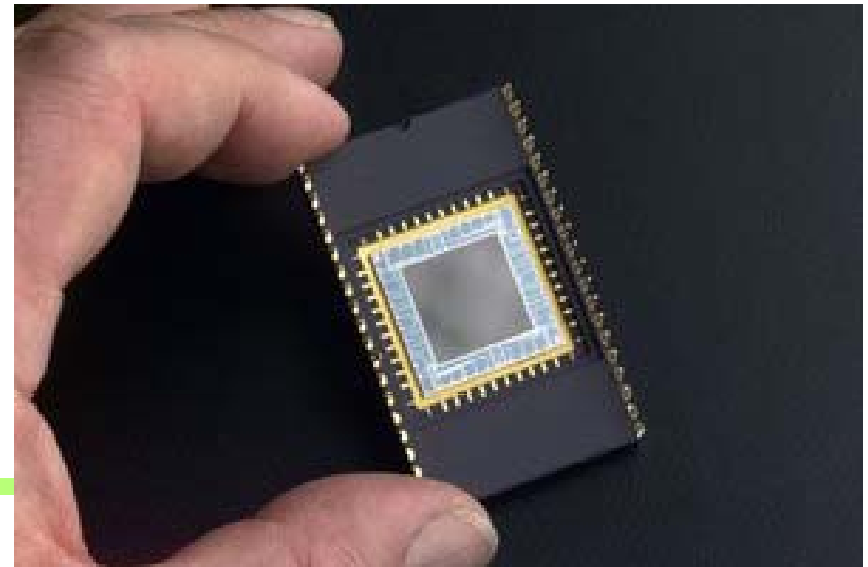
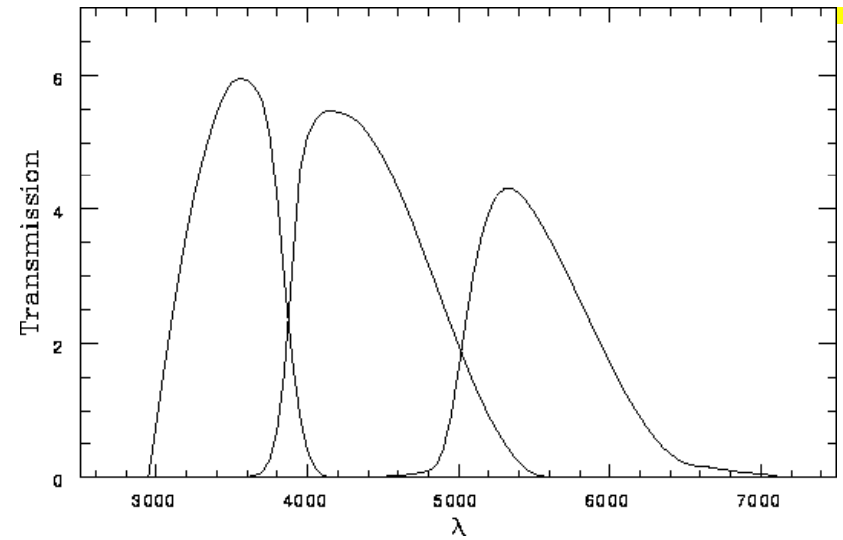


4. oktober 2007

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:

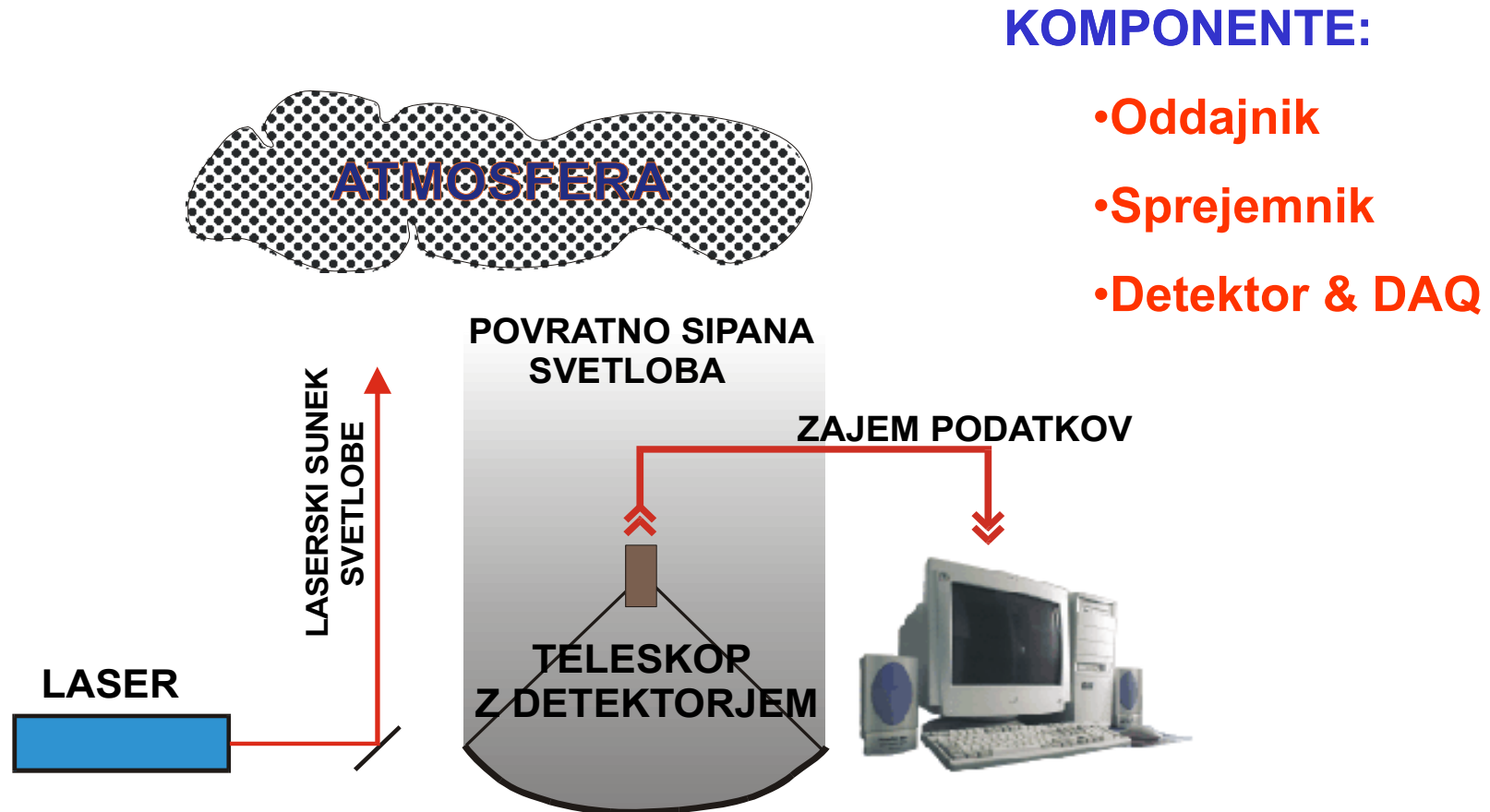
- Svetlobni snop interagira z medijem
- Povratno sipana svetloba nosi krajevno odvisno informacijo o stanju v mediju

Uporaba:

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



LIDAR shematski prikaz



Optična interferometrija
