

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za *matematiko in fiziko*



# Poskusi z žarki X

10. naloga pri Fizikalnem praktikumu V

**Avtor:** Marko Urbanč (28191096)  
**Asistent:** Martin Rigler

1.1.2022

# Kazalo

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>2</b>
1.1	Ionizacijska celica . . . . .	2
1.2	Polariziranost žarkov X . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Presevno slikanje predmetov</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Potrebščine</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Naloge</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>Navodila</b>	<b>4</b>
<b>6</b>	<b>Meritve</b>	<b>5</b>
<b>7</b>	<b>Obdelava podatkov</b>	<b>6</b>
<b>8</b>	<b>Izračuni</b>	<b>6</b>
8.1	Hitrost ekspozicijske doze . . . . .	6
8.2	Polarizacija primarnih žarkov . . . . .	7
8.3	Polarizacija sipanih žarkov . . . . .	7

# 1 Uvod

Elektrone iz katode pospešimo z visoko napetostjo proti kovinski anodi. Pri trku z tarčo elektroni zaradi zaviranja v polju jeder pride do zavornega sevanja v spektru X žarkov. Če imajo elektroni iz višjih stanj zadosti energije pa lahko iz notranjih lupin gradnikov tarče izbijejo elektrone. Elektroni iz višjih stanj gradnika nato zapolnejo vrzel. Takrat pride do izseva karakterističnih X žarkov, ki imajo točno določeno energijo.

## 1.1 Ionizacijska celica

Najenostavnejša ionizacijska celica je pravzaprav kar ploščni kondenzator zvezan z izvorom visoke napetosti. Če v prostor med ploščama posvetimo z rentgenskimi žarki ti ionizirajo molekule zraka (preko fotoefekta, torej fotoelektroni so tisti, ki zares ionizirajo molekule zraka). Nastale ionske pare napetost na kondenzatorju usmeri k ploščam in dobimo tokovni sunek na tokokrogu. Če je fotonov dovolj se sunki spovprečijo na merljiv tok. V splošnem vsi ionski pari ne dosežejo elektrod ker se jih nekaj že prej rekombinira. Pri nizkem polju v kondenzatorju je rekombinacija znatna, pri višjih pa je praktično ni več. To pomeni da s večanjem napetosti na kondenzatorju tok najprej narašča, nato pa nastopi nasičenje.

Ekspozicijska doza  $X$  je električni naboj  $\Delta Q$  enega predznaka, ki ga v zraku volumna  $\Delta V$  z maso  $\Delta m$ , na enoto mase sprosti ionizirajoče sevanje:

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m} \quad (1)$$

Hitrost ekspozicije definiramo z odvodom doze in jo izrazimo z tokom:

$$\frac{X}{t} = \frac{\Delta I}{\Delta m} = \frac{\Delta I}{\rho \Delta V} \quad (2)$$

## 1.2 Polariziranost žarkov X

Žarki X nastanejo zaradi interakcije pospešenih elektronov z katode z jedri v anodi. Ti pri upočasnjevanju elektromagnetno sevajo in se jim tako zmanjša hitrost pri gibanju mimo jedra. Frekvenca izsevanega žarka je določena s kinetično energijo, ki jo izgubi foton. Maksimalno frekvenco dobimo, ko se vsa kinetična energija spremeni v elektromagnetno.

$$E_k = h\nu \quad (3)$$

Priročna je formula z anodno napetostjo  $U$ :

$$\lambda_{min}[nm] = 1240/U[V] \quad (4)$$

Poenostvljeno gledano naboj niha v smeri osi  $y$ . Pospeševanju naboja sledi sevanje elektromagnetnega valovanja, ki ga opišemo z vektorjem jakosti električnega polja  $\vec{E}$  (ki ima smer nihajočega naboja in je pravokoten na smer razširjanja valovanja. Ker naboj niha v smeri  $y$  je tja usmerjen  $\vec{E}$ . Pravimo da je valovanje **linearno polarizirano**. Energijski tok valovanja, ki ga seva tak nihajoč naboj je največji v ekvatorialni ravnini, v smeri nihanja naboja pa je enak 0. Če

imamo več istočasno nihajočih nabojev, katerih smeri nihanja so porazdeljene v ravnini  $yz$ . V tem primeru dobimo nepolarizirano valovanje v smeri  $x$ . V smeri  $y, z$  pa je valovanje še vedno linearno polarizirano. Če nihanje ni enakomerno porazdeljeno po ravnini, dobimo delno polarizirano svetlobo v smeri  $x$ . Če bi elektroni v anodi zavirali le v smeri svojega gibanja bi dobili linearno polarizirane žarke. V resnici se veliko elektronov odkloni od prvotne smeri že prej in so zato žarki le delno polarizirani.

Z merjenjem jakosti elastičnega sipanja valovanja lahko določimo polariziranost rentgenske svetlobe. Pri elastično sipanem odbojnem valovanju dobimo močno sevanje v ravnini, ki je pravokotna na smer nihanja naboja, v sami smeri nihanja pa sevanja ni. V snop, ki ima smer osi  $y$  postavimo sipalec, nato pa v ravnini  $xz$  z GM števcem izmerimo kotno porazdelitev sipanega valovanja. Merimo pravzaprav le dve pravokotni komponenti  $I_x, I_z$ . Polariziranost tako definiramo kot:

$$\eta = \frac{I_z - I_x}{I_z + I_x} \quad (5)$$

## 2 Presevno slikanje predmetov

Žarki X se absorbirajo v snovi, kar lahko opišemo z preprosto enačbo za intenziteto:

$$I = I_0 e^{-\mu d} \quad (6)$$

kjer je  $\mu$  linearni absorpcijski koeficient in  $d$  dolžina poti žarka X v sredstvu. Ta pojav lahko izkoristimo za rentgensko slikanje.

### 3 Potrebščine

- Rentgenska naprava (*Lehr und Didaktik Systeme 554811*)
- Ionizacijska celica
- Izvor napetosti
- Upor in voltmeter
- 2 sipalca
- GM števec
- Računalnik
- Fotoaparatus

### 4 Naloge

- Z ionizacijsko celico izmeri povprečno jakost doze v snopu žarkov X
- Izmeri polariziranost primarnih žarkov X
- Izmeri polariziranost sipanih žarkov X
- Slikaj čim več predmetov v praktikumu

### 5 Navodila

Po navodilih rentgenske aparature sestavimo ionizacijsko celico. Za nekaj vrednosti napetosti na rentgenski cevi izmerimo odvisnost toka od napetosti na ionizacijski celici. Zopet po navodilih aparature sestavimo postavitvi za enkratno in dvakratno sipanje in izmerimo sunke na GM števcu.

## 6 Meritve

Meritve sem zapisal v svoj laboratorijski dnevnik. Ker imam težave z dotikanjem zvezka, ki je bil na faksu, sem se odločil poskusiti narediti poročilo v .pdf obliki.

X-Ray

a) Tensioning of plates

U <sub>1</sub> [V]	U <sub>2</sub> [V]	U <sub>3</sub> [V]	U <sub>4</sub> [V]
0,9	0,04	1	0,08
1,7	0,06	4,8	0,21
6,6	0,11	11,3	0,20
7,7	0,21	11,3	0,46
44,4	0,46	47,6	0,73
47,2	0,60	25,3	1,03
24,4	0,62	33,2	1,34
26,0	0,72	38,1	1,52
21,7	0,74	44,3	1,80
34,7	0,85	52,0	1,87
44,4	1,05	63,9	2,02
49,5	1,10	70,8	2,12
53,8	1,13	78,1	2,14
64,1	1,15	84,4	2,19
74,4	1,23	81,4	2,26
74,8	1,19	100,0	2,20
80,3	1,185		
84,7	1,19		
90,1	1,20		
100,2	1,18		

U <sub>1</sub> [V]	U <sub>2</sub> [V]
2,7	0,14
9,1	0,46
10,1	0,41
4,3	0,30
13,1	0,80
15,1	0,80
20,2	0,82
24,3	1,36
30,4	1,61
36,7	1,98
41,4	2,00
44,8	2,25
50,7	2,10
56,5	2,43
62,8	3,03
70,6	3,15
77,6	3,23
82,3	3,26
87,4	3,33
92,7	3,36
96,9	3,40
104,3	3,38
112,0	3,47
116,4	3,60

Slika 1: Meritve v laboratorijskem dnevniku

a) Polarization

R <sub>0</sub> / 1/s	R <sub>1</sub> / 1/s	R <sub>2</sub> / 1/s	R <sub>3</sub> / 1/s	R <sub>4</sub> / 1/s
120,15	118,5	122,85	119,5	123,60
137,35	137,55	140,1	139,2	133,65

b) Polarization 2 plates

R <sub>0</sub> / 1/s	R <sub>1</sub> / 1/s	R <sub>2</sub> / 1/s	R <sub>3</sub> / 1/s	R <sub>4</sub> / 1/s
0,37	0,43	0,40	0,33	0,37
0,57	0,40	0,45	0,42	0,57

Dist. inlet diaphragm to cap plates: 2,5 cm

Dist. inlet diaphragm to cap plates: 15,5 cm

Plate width: 9,5 cm

Plate spacing: 3,5 cm

Inlet diaphragm: 4,5 x 0,6 cm

23.12.21

Pojer

Slika 2: Meritve v laboratorijskem dnevniku

## 7 Obdelava podatkov

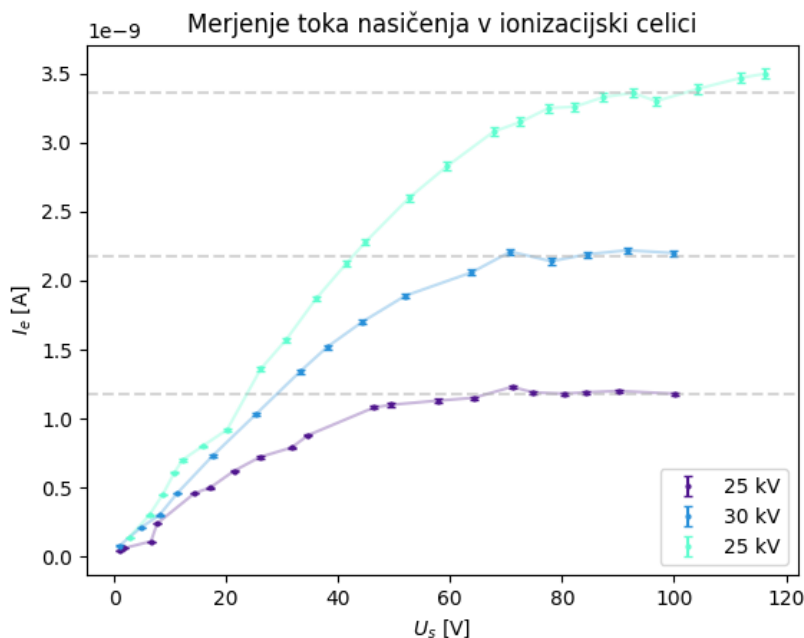
Obdelave podatkov sem se lotil v Pythonu in Excelu. V Python sem izvozil podatke za merjenje toka na ionizacijski celici in tam narisal potreben graf in tako odčital nasičene vrednosti toka. V Excelu pa sem obdelal podatke, kar se tiče izračuna polarizacije.

## 8 Izračuni

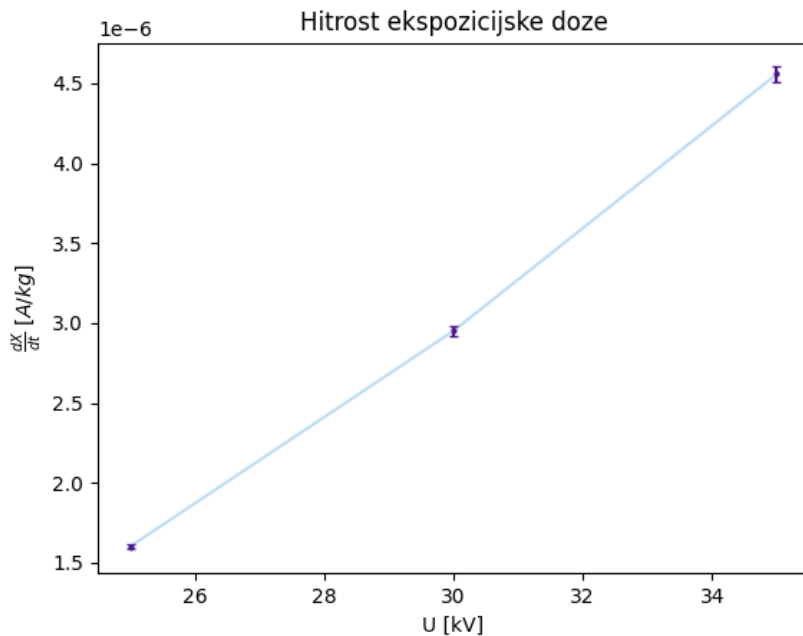
### 8.1 Hitrost ekspozicijske doze

Kot omenjeno v uvodu lahko z merjenjem toka nasičenja v ionizacijski celici določimo hitrost ekspozicijske doze. Meril sem pri treh različnih napetostih na rentgenski cevi. Nasičen tok sem prikazal s črtkanimi črtami. Na dan ko sem izvajal vajo je CO2 detektor v praktikumski učilnici javljal, da je temperatura 24C in relativna vlažnost 40%. Privzel sem standardni tlak 101 kPa. Na spletu sem poiskal kalkulator za gostoto zraka pri različnih pogojih in določil  $\rho = 1.17 \text{ kg/m}^3$ . Iz znanih dimenzij trapezoidne ionizacijske celice sem izračunal, da je volumen zraka v celici  $\Delta V = 0.00063 \text{ m}^3$ . Tako sem lahko po zvezi (2) izračunal hitrosti ekspozicijske doze.

Narisal sem tudi graf hitrosti ekspozicijske dobe v odvisnosti od anodne napetosti, ki je za samo tri meritve v resnici nekoliko dolgočasen. Zgleda kot da nakazuje na linearno odvisnost. Je pa res, da sta 2 točki vedno kolinearni, za 3 pa tudi ni tako težko.



Slika 3: Tok na celici v odvisnosti od napetosti



Slika 4: Hitrost ekspozicijske doze

## 8.2 Polarizacija primarnih žarkov

Povprečil sem svoje meritve za obe komponenti in dobil:

$$I_x = (121 \pm 2)s^{-1}$$

$$I_z = (138 \pm 1)s^{-1}$$

Iz tega po definiciji polarizacije (5) dobimo:

$$\eta = (6.6 \pm 0.1)\%$$

Tu je napaka le grobo ocenjena preko relativne napake obeh komponent.

## 8.3 Polarizacija sipanih žarkov

Podobno kot za primarne žarke, sem dobil:

$$I_x = (0.39 \pm 0.06)s^{-1}$$

$$I_z = (0.49 \pm 0.08)s^{-1}$$

Iz tega po definiciji polarizacije (5) dobimo:

$$\eta = (11 \pm 2)\%$$

Podobno je tu napaka le grobo ocenjena preko relativne napake obeh komponent.