

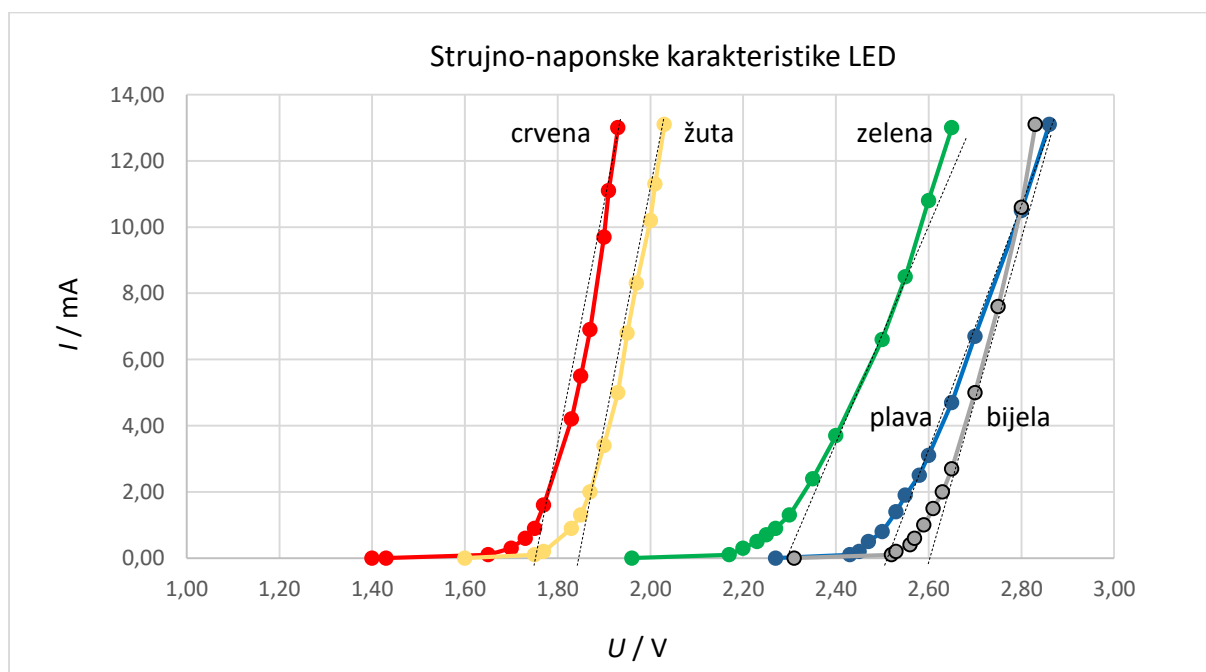
Državno natjecanje iz fizike
26. do 29. travnja 2022., Podgora
RJEŠENJE EKSPERIMENTALNOG ZADATKA
4. skupina

1. dio

a) Mjerenja (strujno-naponske karakteristike svjetlećih dioda):

4 boda

crvena		žuta		zelena		plava		bijela	
U/V	I/mA	U/V	I/mA	U/V	I/mA	U/V	I/mA	U/V	I/mA
1,40	0,00	1,60	0,00	1,96	0,00	2,27	0,00	2,31	0,00
1,43	0,00	1,75	0,10	2,17	0,10	2,43	0,10	2,52	0,10
1,65	0,10	1,77	0,20	2,20	0,30	2,45	0,20	2,53	0,20
1,70	0,30	1,83	0,90	2,23	0,50	2,47	0,50	2,56	0,40
1,73	0,60	1,85	1,30	2,25	0,70	2,50	0,80	2,57	0,60
1,75	0,90	1,87	2,00	2,27	0,90	2,53	1,40	2,59	1,00
1,77	1,60	1,90	3,40	2,30	1,30	2,55	1,90	2,61	1,50
1,83	4,20	1,93	5,00	2,35	2,40	2,58	2,50	2,63	2,00
1,85	5,50	1,95	6,80	2,40	3,70	2,60	3,10	2,65	2,70
1,87	6,90	1,97	8,30	2,50	6,60	2,65	4,70	2,70	5,00
1,90	9,70	2,00	10,20	2,55	8,50	2,70	6,70	2,75	7,60
1,91	11,10	2,01	11,30	2,60	10,80	2,80	10,50	2,80	10,60
1,93	13,00	2,03	13,10	2,65	13,00	2,86	13,10	2,83	13,10



- b) Strujno-naponske karakteristike nisu linearne. Svjetleće diode su poluvodički elementi i za njih ne vrijedi Ohmov zakon. Napon na diodi nije proporcionalan struji. Otpor diode se promjenom napona na diodi mijenja. Kako se povećava napon na diodi, u određenom trenutku uočava se nagli porast struje. Ovaj dio karakteristike je linearan. **1 bod**

- c) Energija fotona proporcionalna je frekvenciji: $E=hf$, gdje je h Planckova konstanta. LED pri određenom istosmjernom naponu počinje emitirati svjetlost. Energija (fotona) kod koje je svjetlost određene boje najintenzivnija, približno je jednaka:

$$E=eU_0$$

U_0 je napon praga, napon na diodi pri kojem dioda počne svijetliti.

2 boda

LED	U_0 / V	E / eV
crvena	1,40	1,40
žuta	1,60	1,60
zelena	1,96	1,96
plava	2,27	2,27
bijela	2,31	2,31

Pri određivanju napona praga U_0 , točnost mjerenja ovisi o očitavanju trenutka kad je uočeno da je LED počela svijetliti. Okolno osvjetljenje bi se pri očitavanju trebalo smanjiti što je više moguće.

Voltmetar pokazuje napon U koji sadrži i pad napona zbog unutarnjeg otpora voltmetra: $U=U_0+R_V I$.

Napon praga određen u c) dijelu zadatka nešto je manji od napona određenog u d) dijelu.

d)

LED	U_0' / V
crvena	1,77
žuta	1,86
zelena	2,28
plava	2,53
bijela	2,62

LED počinje svijetliti prije no što uočavamo na ampermetru da je dioda počela voditi. Uzrok je rezolucija mjernog uređaja.

Kod određivanja napona U_0' radi se o aproksimaciji. Pravac koji određuje odsječak na naponskoj osi trebao bi prolaziti linearnim dijelom strujno naponske karakteristike, ali je taj dio tek približno linearan.

Radi se o idealizaciji, zanemaruje se unutarnji otpor mjernog instrumenta.

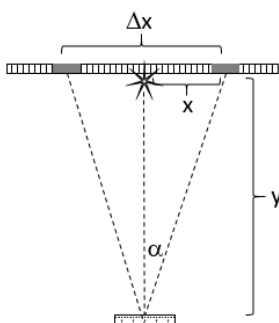
1 bod

- e) Napon praga ovisi o frekvenciji emitirane svjetlosti diode. Veće frekvencija odgovara većoj energiji emitiranih fotona. Dioda koje emitiraju svjetlost manje valne duljine imaju veći napon praga. Svjetleća dioda koja emitira bijelu svjetlost ima najveći napon praga. Napon praga diode koja emitira plavu svjetlost vrlo blizu je naponu praga diode koja emitira bijelu svjetlost.

2. dio

- a) Spektri crvene, žute, zelene i plave boje su samo približno "monokromatski". Tako spektar crvene LED sadrži žuti i zeleni dio, žuta LED ima na krajevima i crveni i zeleni dio, spektar zelene LED se proteže s jedne strane i do žutog dijela, a s druge strane do plavog, dok se u spektru plave LED uočava i zeleni dio... Mi vidimo svjetlost diode one boje čija je valna duljina najvećeg intenziteta. Spektri "jednobojskih" svjetlećih dioda su u odnosu na spektar bijele LED uži, sadrže manji raspon valnih duljina. Spektar bijele led može se sastaviti preklapanjem spektara crvene, zelene i plave LED.

- b) Skica:



1 bod

$$d = \frac{10^{-3}m}{500} \Rightarrow d = 2 \cdot 10^{-6}m$$

$$k = 1$$

Uvjet maksimuma za optičku rešetku. $k \cdot \lambda = d \cdot \sin \alpha \Rightarrow \lambda = \frac{d \sin \alpha}{k}$

1 bod

Mjerenja za crvenu LED:

$\Delta x/cm$	x/cm	y/cm	$tg \alpha$	α/rad	$\sin \alpha$	λ/m	λ/nm	$\Delta \lambda /nm$
31,0	15,5	46,0	0,3370	0,3250	0,3193	6,3863E-07	638,6	-2,9
29,0	14,5	43,5	0,3333	0,3218	0,3162	6,3246E-07	632,4	3,3
29,0	14,5	43,0	0,3372	0,3252	0,3195	6,3906E-07	639,1	-3,4
29,5	14,75	44,0	0,3352	0,3235	0,3178	6,3569E-07	635,7	0,0
30,0	15	45,0	0,3333	0,3218	0,3162	6,3246E-07	632,5	3,2

$$\bar{\lambda} = 635,7 \text{ nm}, \quad r_m = 0,5\%, \quad \bar{\lambda} = (635,7 \pm 3,4) \text{ nm}$$

2 boda

Mjerenja za žutu LED:

$\Delta x/cm$	x/cm	y/cm	$tg \alpha$	α/rad	$\sin \alpha$	λ/m	λ/nm	$\Delta \lambda /nm$
27,0	13,5	44,0	0,3068	0,2977	0,2933	5,8664E-07	585,6	-4,9
29,0	14,5	47,0	0,3085	0,2992	0,2948	5,8960E-07	589,6	-8,9
26,0	13,0	43,0	0,3023	0,2936	0,2894	5,7878E-07	578,8	1,9
27,5	13,8	46,0	0,2989	0,2905	0,2864	5,7278E-07	572,8	7,9
28,0	14,0	46,5	0,3011	0,2924	0,2883	5,7658E-07	576,6	4,1

$$\bar{\lambda} = 580,7 \text{ nm}, \quad r_m = 1,5\%, \quad \bar{\lambda} = (580,7 \pm 8,9) \text{ nm}$$

1 bod

Mjerenja za zelenu LED:

$\Delta x/cm$	x/cm	y/cm	$tg \alpha$	α/rad	$\sin \alpha$	λ/m	λ/nm	$\Delta \lambda /nm$
16,2	8,1	29,0	0,2793	0,2724	0,2690	5,3803E-07	538,0	-5,6
16,6	8,3	30,0	0,2767	0,2699	0,2666	5,3330E-07	533,3	-0,9
15,8	7,9	28,5	0,2772	0,2704	0,2671	5,3424E-07	534,2	-1,8
16,8	8,4	30,5	0,2754	0,2687	0,2655	5,3105E-07	531,1	1,3
16,6	8,3	30,5	0,2721	0,2657	0,2626	5,2516E-07	525,2	7,2

$$\bar{\lambda} = 532,4 \text{ nm}, \quad r_m = 1,4\%, \quad \bar{\lambda} = (532,4 \pm 7,2) \text{ nm}$$

1 bod

Mjerenja za plavu LED:

$\Delta x/cm$	x/cm	y/cm	$tg \alpha$	α/rad	$\sin \alpha$	λ/m	λ/nm	$\Delta \lambda /nm$
13,2	6,6	28,0	0,2357	0,2315	0,2294	4,589E-07	458,9	-1,0
12,9	6,5	27,5	0,2345	0,2304	0,2283	4,567E-07	456,7	1,2
14,0	7,0	29,0	0,2414	0,2368	0,2346	4,693E-07	469,3	-11,4
13,2	6,6	28,5	0,2316	0,2276	0,2256	4,512E-07	451,2	6,7
14,2	7,1	30,5	0,2328	0,2287	0,2267	4,534E-07	453,5	4,4

$$\bar{\lambda} = 457,9 \text{ nm}, \quad r_m = 2,5\%, \quad \bar{\lambda} = (457,9 \pm 11,4) \text{ nm}$$

2 boda

Diskusija rezultata mjerenja:

Ogibni maksimumi predstavljaju spektre. Točnost mjerenja ovisi o procjeni mjesta u spektru gdje je najveći intenzitet. Osim toga mjerenje je opterećeno i nepreciznošću očitavanja udaljenosti rešetke i izvora svjetlosti. Očitavaju se udaljenosti između dva simetrična maksimuma, pa je vrlo bitna paralelnost rešetke i letvice s mjernom trakom. Konstanta rešetke je dosta velika, posebno za mjerenja sa diodama koje emitiraju svjetlost većih valnih duljina.

c) $E = hf = h \frac{c}{\lambda}$

1 bod

λ/m	$E/10^{-19}\text{J}$	E/eV
635,7	3,127	1,95
580,7	3,423	2,14
532,4	3,734	2,33
457,9	4,341	2,71

1 bod

- d) Kad je primijenjeni napon na diodi približno jednak naponu praga, struja može teći kroz PN spoj. Za vrijeme rekombinacije elektrona oslobađa se energija u obliku fotona energije hf koja je približno jednaka širini energijskog procjepa (E_0) između valentne i vodljive vrpce u poluvodiču.

Veza između napona praga i energije fotona:

$$eU_0 = hf + \text{konst}$$

Konstanta u prethodnom izrazu sadrži i ovisnost o vrsti materijala od kojeg je napravljen PN spoj, ali je taj udio vrlo mali tako da se zanemaruje. Uzima se da je ova konstanta približno jednaka za svaku od svjetlećih dioda u zadatku.

Uvijek je $eU_0 < hf$. Dio energije elektrona (usljed termičkih pobuđenja) može biti dostatan da nastane foton energije hf . Aproximativno (radi se o vrlo maloj kinetičkoj energiji elektrona) uzimamo da je:

$$eU_0 \approx hf$$

2 boda

3. dio

a)

2 boda

		LED prijamnik				
		crvena	žuta	zelena	plava	bijela
LED predajnik	crvena	1,55 V	0,21 V	0	0	0
	žuta	1,54 V	1,64 V	0	0	0
	zelena	1,49 V	1,61 V	1,69 V	0	0
	plava	0,54 V	0,46 V	2,09 V	2,26 V	0,11 V
	bijela	1,51 V	1,63 V	2,05 V	2,28 V	0,38 V

- b) Uočava se da LED prijamnik daje najveće napona kada je obasjan svjetlošću valnih duljina približne onima koje i sam emitira.

LED ne emitira svjetlost kad je obasjana svjetlošću većih valnih duljina (manje energije) od svjetlosti koju emitira.

1 bod

- c) Dobiveni napon na LED prijamniku ovisi o valnoj duljini upadne svjetlosti i njezinom intenzitetu. Intenzitet svjetlosti je proporcionalan struji, tako da bi se za vrijeme mjerenja trebalo uvjetovati jednaka jakost struje u krugu predajnika.

Pojedine svjetleće diode tek su približno jednakih svjetlosnih jakosti.

1 bod

- d) Istražila se mogućnost uporabe LED-a kao izvora stalnog napona, ali se nije razmatralo može li osvijetljena LED biti i izvor stalne struje. Kako bi se to istražilo bilo bi potrebno dodati vanjski otpornik (na primjer promijenjivi) i vidjeti za koju vrijednost otpora je postignuta maksimalna snaga.

Mjerenjem napona i struje u strujnom krugu prijamnika može se prikazati njegova strujno naponska karakteristika.

Maksimalna snaga P_m odgovara najvećoj mogućoj površini pravokutnika koji se može upisati ispod grafa. U točki maksimalne snage vrijednost struje je I_m , a napon je U_m .

Maksimalna snaga je određena njihovim umnoškom: $P_m = I_m U_m$.

Kako se radi o vrlo maloj struji (reda veličina μA) sa danim priborom nije bilo moguće mjeriti struju. Dobivena snaga bila bi reda veličine μW .

2 boda

- e) Strujno naponske karakteristike bijele i plave svjetleće diode su u usporedbi sa karakteristikama ostalih dioda slične. Vrlo blizu im je i napon praga U_0 .

Rezultat pokusa:

Prekrijemo plavu LED dijelom papira koji je obojan običnom žutom bojom. Prolazna svjetlost plave svjetleće diode ostaje plava. Ako plava svjetlost diode prolazi kroz fluorescentno žuti dio, prolazna svjetlost izgleda bijela.

Ako se pogleda unutrašnjost kućišta svjetlećih dioda može se uočiti da se kod svih dioda može vidjeti poluvodički element, jedino kod diode koja emitira bijelu svjetlost se može uočiti nekakav zaslon iznad poluvodičkog elementa, bijelo žučkaste boje.

Pojednostavljeno, naša bijela LED sastavljena je od "jednobojne" LED (plave) prekrivene materijalom koji mijenja boju svjetlosti kad svjetlost diode prođe kroz taj materijal. Mi vidimo rezultatnu svjetlost kao bijelu.

Ova bijela LED emitira svjetlost na osnovu procesa fluorescencije.

4 bodova