

ISSN 2406-2626

Број 2

НАСТАВА ФИЗИКЕ



**Зборник изабраних радова 4. Међународне конференције
о настави физике у средњим школама**

Београд 2016.



Милошевић

ДРУШТВО ФИЗИЧАРА СРБИЈЕ



Часопис *Настава физике* је публикација Друштва физичара Србије. У часопису се публикују радови из методике наставе физике, историје и филозофије физике и прикази дисертација, монографских и уџбеничких публикација из области наставе физике. Намењен је наставницима физике основних и средњих школа, наставницима физике високих школа струковних студија, као и наставницима факултета који се баве истраживањима у области наставе физике.

БЕОГРАД – 2016

*Програмски одбор конференције/
гостујуће уредништво:*

1. И. Авиани (Сплит, Загреб)
2. М. Бабић (Бијељина)
3. И. Дојчиновић (ДФС)
4. Д. Димитријевић (ДФН)
5. А. Хрлец (ХФД)
6. С. Јокић (Београд)
7. Т. Јовановић (Ниш)
8. А. Канцлер (Марибор)
9. М. Ковачевић (Крагујевац)
10. М. Митровић (Београд)
11. Б. Митревски (ДФМ)
12. Љ. Нешић (Ниш)
13. Д. Никезић (Крагујевац)
14. Н. Новаковић (Нови Пазар)
15. С. Радуловић (Алексинач)
16. М. Шћепановић (Подгорица)
17. М. Стојановић (Нови Сад)
18. В. Урумев (Скопје)
19. А. Жекић (Београд)

Организациони одбор:

1. Н. Станковић, председник
2. Ч. Ракић
3. К. Црнчевић
4. Ј. Тончић
5. Д. Петковић
6. С. Радуловић
7. Б. Симић
8. М. И. Јефтић
9. С. Величковић
10. Г. Жалац
11. Д. Вељковић
12. М. Бабић
13. Љ. Нешић
14. Д. Димитријевић
15. Д. Тарлаћ
16. С. Петровић

Главни и одговорни уредник:
Љубиша Нешић

Технички уредник:
Милан Милошевић

Наслов:

„Настава физике“

Поднаслов:

„Зборник изабраних радова 4.
Међународне конференције о настави
физике у средњим школама“

Покровитељ:

Општина Алексинач

Издавач:

Друштво физичара Србије, Београд
и
„Klett“ Издавачка кућа д.о.о., Београд

Штампарија:

Цицера, Београд

ISSN: 2406-2626

Тираж: 200

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

53

НАСТАВА физике / главни и
одговорни уредник Љубиша Нешић.
- 2015, бр. 1- . - Београд : Друштво
физичара Србије : Klett, 2015- . - 24 cm

ISSN 2406-2626 = Настава физике
COBISS.SR-ID 214910476

Изабране лабораторијске вежбе из физике у гимназији

Милан С. Ковачевић*, Соња Ковачевић, Ана Марковић, Драган Карајовић

**Природно-математички факултет, Институт за физику, Крагујевац
Прва крагујевачка гимназија, Крагујевац*

Апстракт. Тема рада су лабораторијске вежбе из физике у гимназији. Одабрана је по једна вежба из сваког разреда и дато је кратко упутство за сваку вежбу. Вежбе су описане на стандардан начин који налазимо у физичком практикуму. Истакнути су специфични доприноси експерименталног истраживања у настави физике личном развоју способности ученика и квалитету упознавања физике као науке. Са аспекта физике описани су специфични поступци експерименталног мерења у функцији провере основних физичких законитости датих наставним програмом.

Кључне речи: једначина кретања, површински напон, импеданца, диода.

УВОД

Лабораторијске вежбе у плану и програму наставе и учења физике у гимназији, служе за потврђивање фундаменталних законитости и имају незаменљиво деловање у развоју апстрактног мишљења ученика. Без доживљаја експерименталног искуства тешко се може конструктивно размишљати о проучаваној појави. Тако стечено знање у најбољем случају достиже ниво репродукције формула и дефиниција. Наглим преласком на примену математичког апарата, без обликовања представа, отежано се развија формални начин мишљења. Кад год је могуће, треба поћи од експеримента, и то експеримента који ученици раде. Уколико се огледи раде у оквиру области које су познате, довољно је као и код рачунских задатака, јасно поставити задатак. Осмишљавање огледа, поступка, планирање рада, табеле, цртеже, објашњења, скице, графике, анализу и закључке пожељно је препустити ученицима, у мери у којој је то прихватљиво. Упутства за лабораторијске вежбе треба да су сажета, јасна, са прецизно дефинисаним задатком, са или без описа начина. Од ученика се очекује да: прецизирају циљ експеримента, осмисле експеримент, изврше избор опреме за експеримент, направе шему експеримента са конкретном опремом, бележе запажања о експерименту и поступку, изврше потребна мерења, запишу резултате мерења, направе приказ резултата: графички, табеларно, изведу закључке у складу са постављеним циљевима.

У процедури експерименталног рада у школи корисне су консултације и анализе пре и после експеримента ради разматрања концепта експеримента, интерпретације резултата и заокруживања структуре знања о физичкој појави. Лабораторијске вежбе чине саставни део редовне наставе и организују се тако што се при изради вежби одељење дели на два дела а ученици раде вежбе у групама од 2-3 ученика. За сваку

вежбу ученици унапред треба да добију одговарајућа упутства. Час експерименталних вежби састоји се из уводног дела, мерења, записивања резултата мерења и обраде добијених података. У уводном делу часа наставник проверава да ли су ученици спремни за вежбу, упознаје их са мерним инструментима и осталим деловима апаратуре за вежбу, указује на мере предострожности којих се морају придржавати ради сопствене сигурности, при руковању апаратима, електричним изворима, разним уређајима и слично. Док ученици врше мерења, наставник активно прати њихов рад, дискретно их надгледа и, кад затреба, објашњава и помаже. При обради резултата мерења ученици се придржавају правила за табеларни приказ података, цртање графика, израчунавање заокружених вредности и грешака мерења, са чим наставник треба да их упозна унапред или да их да уз писана упутства за вежбе.

У лабораторијској пракси резултати се приказују табеларно и графички. Табеларни приказ представља колекцију података до којих се дошло мерењем и израчунавањем. Табела за уношење података се обично прави пре мерења, као део плана рада. Графички приказ пружа прегледну визуелну представу експерименталних резултата. Графови могу бити различитих типова. Ако се графичко приказивање врши помоћу програма Microsoft Excel, погодни су графици типа scatter (када су подаци које треба упарити „расејани“), line (када подацима треба приказати одређене тенденције, трендове), column (када се упоредо прати промена података различитих категорија) и сл. Графици и табеле служе за анализу резултата и извођење општих квантитативних или квалитативних закључака о појавама које се испитују. За више детаља о мерењима, обради резултата мерења, физичким величинама, израчунавању грешака читаоцима препоручујемо [1].

Методика израде лабораторијских вежби има стандардне компоненте: анализа услова, упознавање са карактеристикама мерних уређаја, формирање потребне апаратуре, провера исправности поставке елемената сходно одговарајућој схеми, мерење физичких величина, посредно одређивање тражених величина, процена грешке мерења.

ОПИС ЛАБОРАТОРИЈСКИХ ВЕЖБИ

За сваку вежбу су дате основне напомене које се односе на циљеве експеримента, потребну апаратуру, физичку појаву или закон који се изучава. Поред наведених циљева вежби подразумевају се и општи и оперативни циљеви као: развијање способности за активно стицање знања о физичким појавама кроз истраживање, схватање смисла и метода остваривања експеримента и значаја мерења, овладавање руковањем мерним инструментима и слично [2 - 5].

В-1: Провера основног закона динамике ротације помоћу Обербековог тачка

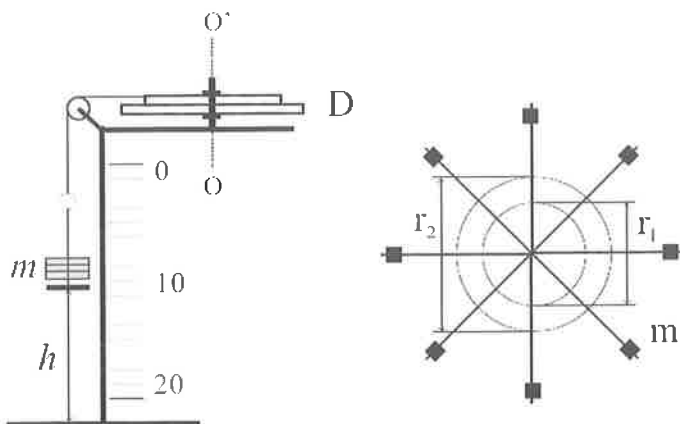
Циљеви експеримента:

- израчунавање обртног момента и линијског убрзања;
- провера основне једначине динамике ротационог кретања;
- графичко приказивање резултата мерења са линеарном интерполацијом.

Потребан прибор: Обербеков точак, тегови, метарска трака, хронометар.
Једначина за описивање обртног кретања око непокретне осе у облику

$$I \vec{\alpha} = \vec{M}, \quad (1)$$

назива се основна једначина динамике ротационог кретања. $\vec{\alpha} = d\vec{\omega} / dt$, је угаоно убрзање, I - момент инерције тела и \vec{M} -момент силе. За проверу реалције (1) може се користити апаратура на Слици 1. За динамички систем са Слике 1, који се састоји од дискова и тегова на њима, једначина (1) се може написати у скаларном облику:



СЛИКА 1. Шематски приказ апаратуре за обртно кретање. На слици десно приказан је изглед дискова D, различитих полупречника r_1 и r_2 , са металним краковима на којима се налазе тегови масе m_1 , посматрано из тачке O'. Тег масе m је обешен о неистегљив канап.

$$I \alpha = M_N - M_{tr} \quad (2)$$

I је момент инерције обртног дела система, M_N интензитет момента силе затезања конца, а M_{tr} интензитет момента силе трења. Да би систем прешао из стања мировања у стање кретања треба постепено повећавати масу тега m . Нека је та минимална маса тега m_0 . Тада је укупни моменат сила које делују на систем једнак нули-моменат силе затезања канапа једнак је моменту силе статичког трења, тј. $M_{tr} = M_N = rm_0g$. Уколико је маса тега m већа од граничне, m_0 систем се креће убрзано. Убрзање a тега m се одређује на основу формуле $a = 2h/t^2$, где је h висина са које пада тег, а t време падања. На основу релације $\alpha = a/r$, између угаоног α , и линеарног убрзања a , следи $\alpha = 2h/(rt^2)$. За момент $M_N = rN$, силе затезања канапа $N = m(g - a)$ се коначно добија израз:

$$M_N = rm(g - 2h/t^2), \quad (3)$$

код кога се величине на десној страни добијају експериментално. Добијене вредности за α и M_N треба представити графички, $M_N = f(\alpha)$. Та зависност на основу (2) треба да буде линеарна функција облика $M_N = I\alpha + M_{tr}$.

Са добијеног графика може се одредити момент инерције система који одговара коефицијенту праца добијене праве, а вредност одсечка на ординатној оси одговара моменту силе динамичког трења.

Задатак:

- 1) Постепеним повећавањем масе тега m треба одредити карактеристичну масу m_0 за коју систем из стања мировања прелази у стање кретања.
- 2) Повећавањем масе m , за више различитих вредности (10), треба измерити време које је потребно да тас са теговима пређе растојање h .
- 3) На основу добијених података, за две различите вредности полупречника диска r_1 и r_2 , треба формирати и попунити Табеле 1 и 2.

ТАБЕЛА 1. Одређивање карактеристичне масе тега, m_0			
	r [m]	m_0 [kg]	$M_{tr} = r m_0 g$ [Nm]
	r_1		
	r_2		

ТАБЕЛА 2. Провера основне једначине динамике ротационог кретања					
Р. бр.	m [kg]	t [s]	h [m]	α [s ⁻²]	M_N [Nm]
1.					
2.					
...					

- 4) На основу података из Табеле 2 нацртати график $M_N = f(\alpha)$.
- 5) Одредити момент инерције тела I , као и момент силе динамичког трења, са одговарајућим грешкама.

В-2: Одређивање коефицијента површинског напона методом откидања

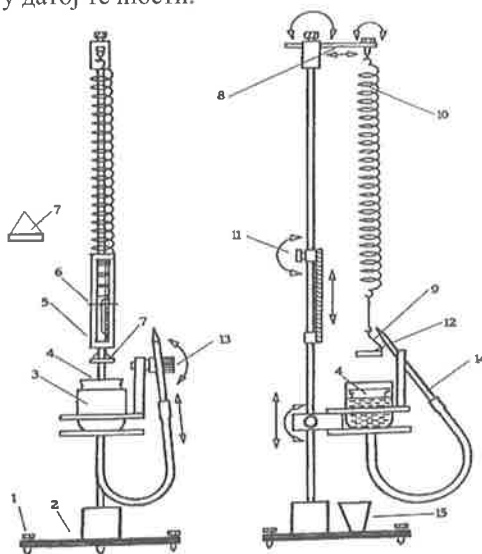
Феномени који се јављају на граничним површинама између двеју различитих средина последица су различитих међумолекулских сила између једнаких и различитих молекула, као и тежње течности да смањи своју слободну површину. Енергија честица на површини течности је обично већа од њихове енергије унутар течности. Због тога свака течност настоји да што више смањи своју површину и ову тенденцију називамо површински напон. На молекул који се налази у површинском слоју течности делују остали молекули течности али и молекули ваздуха. Како су привлачне силе међу истоврсним молекулима веће, јавиће се резултујућа сила усмерена ка центру течности.

Површински слој течности се понаша као опна. Рад A који се утроши на повећање површине течности S за јединичну вредност представља коефицијент површинског напона, а може се изразити и као

$$\gamma = \frac{A}{S}. \quad (4)$$

Такође, коефицијент површинског напона се може изразити као сила по јединици дужине, што је искоришћено за мерење овом методом. Одговарајућа јединица је J/m² или N/m. Коефицијент површинског напона зависи од врсте течности и врсте средине

са којом је течност у контакту. За дату течност ова величина зависи и од њеног стања, првенствено од температуре. Такође, коефицијент површинског напона зависи и од присуства нечистоћа у датој течности.



СЛИКА 2. Шематски приказ апаратуре за методу откидања прстена: 1-ножице за нивелацију постоља, 2-постоље, 3-посуда са водом, 4-плитка посуда за непознату течност, 5-скала у mm, 6-казалјка, 7-гас за тегове, 8-клизач, 9-држач прстена, 10-опруга, 11-завртањ, 12-метални прстен, 13-одлив, 14-цев за одлив, 15-чаша.

Метода откидања прстена је један од стандардних метода за мерење коефицијента површинског напона. У методи откидања прстена се мери сила потребна да се откине прстен потопљен у испитивану течност (Слика 2). Сила услед површинског напона се јавља на контактної линији прстена са течношћу. За идеалан прстен то су две концентричне кружнице у истој хоризонталној равни: спољашње са пречником D и унутрашња са пречником d . Стога је укупна дужина контактне линије прстена и течности $l = \pi(D + d)$. Сила површинског напона на сваки сегмент ове линије усмерена је под углом θ у односу на вертикалу, где је θ контактни угао између прстена и течности. На тај начин је укупна сила површинског напона на прстен једнака

$$F = \gamma\pi(D + d)\cos\theta \quad (5)$$

и усмерена је вертикално наниже.

У методи откидања прстена на прстен делује сила F вертикално навише. Ова сила, се мења током откидања и има највећу вредност у тренутку када контактна линија прстен-течност почне да се кида. Та највећа вредност се зове сила откидања прстена и то је величина која се мери у методи. Стога, формула за коефицијент површинског напона методом откидања прстена гласи:

$$\gamma = \frac{F}{\pi(D + d)\cos\theta} \quad (6)$$

Сила откидања прстена F је нешто мања од силе површинског напона, али те детаље ћемо овде прескочити. Можемо приближно узети да су ове две силе једнаке.



СЛИКА 3. Шематски приказ откидања прстена; θ је контактни угао између течности и прстена. Представљен је прстен са правоугаоним пресеком какав је на апартури у студентској лабораторији. У оригиналној методи прстен има кружни попречни пресек.

Силе откидања прстена су типично мале (mN). Ова сила је у тренутку откидања прстена од површине течности једнака еластичној сили опруге F_e .

Припрема експеримента подразумева да се најпре уређај постави у вертикални положај. Подешавање се врши обртањем ножица 1 на постољу 2. Затим је неопходна калибрација еластичне опруге 10 односно одређивање коефицијента еластичности опруге k . У ту сврху треба на опругу окачити казаљку 6 и тас 7, затим олабавити завртањ 11, скалу 5 поставити тако да се казаљка 6 нађе у њеном мерном подручју, и након тога притегнути завртањ 11. Када се тас умири, очитати показивање x_0 казаљке на скали. После тога ставити на тас тег најмање тежине. Очитати нови положај казаљке x и наћи издужење опруге $x = x_1 - x_0$. Еластична сила опруге биће по интензитету једнака тежини тегу. Овај поступак треба поновити 5-6 пута са теговима различите тежине, а затим нацртати график зависности еластичне силе опруге од издужења $F_e = f(x)$. Добија се права линија која пролази кроз координатни почетак, а њен коефицијент правца биће једнак коефицијенту еластичности опруге k . Обратите пажњу да је максимално дозвољено оптерећење опруге тег од 3g. Након овога нонијусом измерити унутрашњи (d) и спољашњи (D) пречник прстена. Скинути тас 7 и о опругу окачити прстен 12 и, када се прстен умири, очитати показивање l_0 казаљке 6 на скали 5. Пре тога прстен добро обрисати. Иначе прстен не треба додиривати прстима. У чашу 3 сипати воду, поставити плитку посуду 4 да плива по њој, а затим сипати у ову посуду течност која се испитује, толико да она покрије дно.

У циљу мерења силе откидања F пажљиво повући руком жицу 9 и прстен 12 уронити у плитку посуду 4. Померањем клизача 8 поставити прстен на средини плитке посуде.

Окретањем матице 13, ослободити цев 14 из њеног лежишта и уронити је у чашу 15. Непрекидно треба пратити спуштање казаљке 6 дуж скале 5, пазећи притом да се избегне грешка због паралаксе. Забележити положај l_1 на скали код кога је дошло до откидања прстена, а затим одредити истезање опруге $l = l_1 - l_0$.

Мерење описано у претходном параграфу поновити 5-7 пута и за истезање l узети средњу вредност ових мерења. Множењем средње вредности истезања l са коефицијентом еластичности опруге k , добија се сила откидања F_e , односно сила површинског напона F . Наведимо на крају да контактни угао зависи од врсте материјала прстена и врсте течности. За прстен од платине је $\theta \approx 0$. За прстен од легираног челика и за контакт прстен-вода износи око 13.5° .

Коефицијент површинског напона израчунати помоћу формуле (6).

В-3: Одређивање импедансе у RLC колу

На Слици 4 је приказано струјно коло наизменичног напона у коме су серијски везани омски отпор отпорности R , калем коефицијента самоиндукције L и кондензатор капацитета C .

Тренутна вредност струје је иста у свим деловима кола. Сходно II Кирхофовом правилу тренутна вредност напона $u = U_0 \sin \omega t$ извора, једнака је збиру падова напона на термогеном, индуктивном и капацитативном отпору, тј.

$$u = u_R + u_L + u_C \quad (7)$$

Максималне вредности напона на појединим елементима (U_{0R}, U_{0L}, U_{0C}) се не постижу истовремено, постоји фазна разлика међу њима. Због тога струја у колу неће бити у фази са напоном на крајевима кола.

Нека је напон u дат са $u = U_0 \sin \omega t$, а струја у колу је

$$i = I_0 \sin(\omega t - \varphi). \quad (8)$$

где је φ фазна разлика између напона и јачине струје; $\omega = 2\pi\nu$ је кружна учестаност, а ν је фреквенција наизменичне струје. Као што је познато, напон u_R је у фази са струјом, напон u_L јој предљачи за $\pi/2$, а напон u_C касни за $\pi/2$. Зато је

$$U_0 \sin \omega t = U_{0R} \sin(\omega t - \varphi) + U_{0L} \sin(\omega t - \varphi + \pi/2) + U_{0C} \sin(\omega t - \varphi - \pi/2) \quad (9)$$

где су U_{0R}, U_{0L}, U_{0C} редом максималне вредности напона на отпорнику, калему и кондензатору. Узимањем у обзир везу између амплитуда струје и напона, добијамо

$$U_0 \sin \omega t = I_0 R \sin(\omega t - \varphi) + I_0 X_L \cos(\omega t - \varphi) - I_0 X_C \cos(\omega t - \varphi). \quad (10)$$

Делењем са I_0 и коришћењем тригонометријских трансформација, применом једноставне алгебре, добија се:

$$\operatorname{tg} \varphi = (X_L - X_C) / R, \quad (11)$$

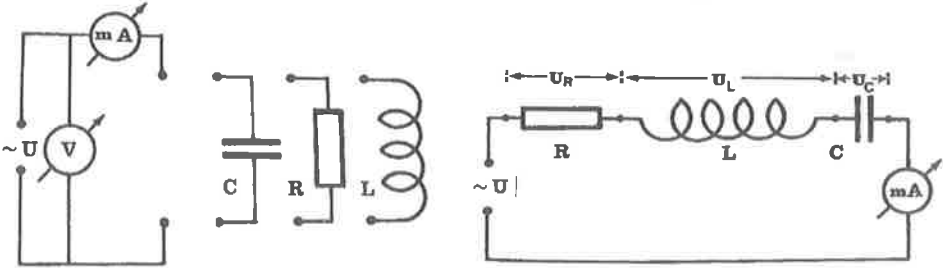
$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}, \quad (12)$$

где су $X_L = L\omega$ и $X_C = 1/\omega C$ редом идуктивни и капацитивни отпор (омски отпор калема се може занемарити). Z се назива импеданса кола.

Задатак вежбе:

1. Повезати коло према шеми са слике 4. Користећи извор наизменичног напона $U = 10\text{V}$ и $\nu = 50\text{Hz}$, измерити струје кроз све приложене елементе кола појединачно

као и напоне на крејевима сваког елемента. На основу ових величина (струја и напона) одредити вредности појединих отпорности (R, X_L, X_C).

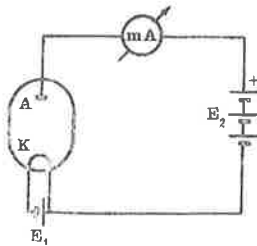


СЛИКА 4. Појединачна мерења (лево), (б) серијско RLC коло (десно).

2. На основу података из задатка 1, одредити вредности орптности R , коефицијента самоиндукције L и капацитета кондензатора C .
3. Повезати серијско RLC коло према шеми везе приказаној на слици 4, и измерити вредност укупне струје у колу за исту вредност напона као у задатку 1. На основу ових вредности израчунати еквивалентну импедансу кола са слике 4.
4. Коришћењем резултата из задатка 1, израчунати према формули 6 импедансу кола са слике 4. Упоредити тако добијену вредност са вредношћу из задатка 3.
5. Израчунати фазни угао између струје и напона.

В-4: Снимање карактеристике електронске диоде

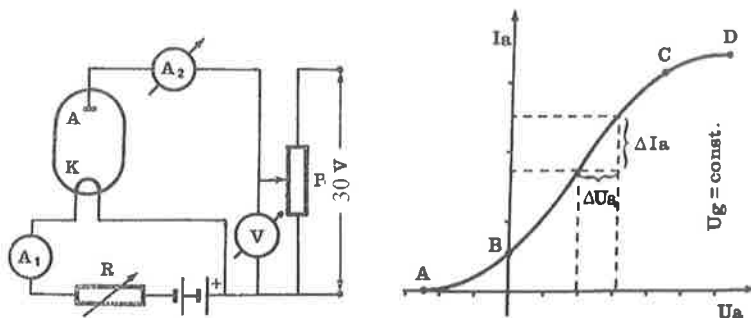
Електронска диода је цев са две електроде. Рад електронске диоде заснива се на термослектронској емисији. У стакленом вакуумском балону налази се катода од волфрамове жице премазана неким материјалом чији је излазни рад мали, која се усијава помоћу електричне струје. Око катоде се налази цилиндрична анода. Ако се позитивни пол анодног напона веже преко милиамперметра за аноду, а негативан за катоду (Слика 5), тада ће милиамперметар показати струју (уколико је катода усијана), док је при обрнутој поларизацији анодног напона диода практично непроводна. Аноду карактерише анодни напон U_a , андона струја I_a и струја грејања I_g .



СЛИКА 5. Директна поларизација електронске диоде.

Струјно-напонску карактеристику, $I_a = f(U_a)$ добијамо ако меримо анодну струју у зависности од анодног напона при константној струји грејања. У почетном делу АВ (Слика 6) карактеристика нам показује да слаба струја тече кроз диоду иако

је анода негативна у односу на катоду. Из усијане катоду електрони излећу са различитим брзинама и они са највећим брзинама могу да савладају одбојну силу електричног поља, која се јавља када је анода негативна у односу на катоду. При малом позитивном анодном напону електрони који напуштају катоду с малом брзином, задржавају се око ње стварајући електронски облак. Електронски облак враћа све електроне који касније излећу са катоду са малим брзинама натраг ка катоди. Електрони који напуштају катоду са већим брзинама пробијају електронски облак и стижу на аноду. Са повећањем позитивног анодног напона електронски облак око катоду постепено нестаје и повећава се број електрона који стижу до аноде, те према томе расте и анодна струја (део од тачке В до тачке С на карактеристики). Када потпуно нестане електронски облак око катоду, тада сви електрони који су напустили катоду стижу до аноде и постиже се струја засићења, односно сатурације (део карактеристике од тачке С до тачке D). Струја тада зависи само од врсте, површине и температуре катоду, а не зависи од анодног напона.



СЛИКА 6. Струјно-напонска карактеристика.

Интензитет струје засићења даје Ричардсон-Дашманова (Richardson-Duschman) формула

$$I = \rho F T^2 e^{-\frac{W}{kT}} \quad (13)$$

где је W излазни рад електрона за катоду, F површина катоду, T температура катоду, k Болцманова константа и ρ константа независна од катоду са вредношћу $\rho = 120 \text{ A/cm}^2 \text{ K}^2$. У делу BC коефицијент правца тангенте $S = \Delta I_a / \Delta U_a$ је такозвана стрмина електронске диоде, а њена реципрочна вредност је унутрашњи отпор $R = \Delta U_a / \Delta I_a$. Ови параметри се одређују из снимљене струјно-напонске карактеристике диоде. Параметри електронске диоде имају различите вредности на различитим местима карактеристике и због тога треба увек назначити за који анодни напон су одређени дати параметри. За снимање струјно-напонске карактеристике диоде користити шему везе на слици 6. Промена анодног напона постиже се потенциометром P, а променљивим отпором R регулише се струја грејања катоду. Струја грејања мери се амперметром A1, а анодна струја амперметром A2. Волтметар V, који служи са мерење анодног напона, везује се у коло између клизача потенциометра P и његовог негативног дела.

Задатак вежбе:

1. Снимити зависност анодне струје I_a од анодног напона U_a .
2. Резултате представити графички и одредити из графика стрмину електронске диоде S и њен унутрашњи отпор R .

У детаље о начину процене грешке мерења и записивању резултата мерење овде се нећемо упуштати већ препоручујемо литературу [1, 6].

ЗАКЉУЧАК

Лабораторијске вежбе пружају могућност ученицима да физичке законе, појаве и процесе упознају кроз сопствено искуство тзв. искуство из “прве руке”. У поређењу са демонстрационим огледима, може се рећи да је значај лабораторијских вежби још већи јер су ученици доведени очи у очи са физичком појавом, законом, методом или инструментима. Ученици постају нужно активни и у знатној мери самостални. Код лабораторијских вежби увек се јављају питања типа “како”, “зашто”, “шта би се десило ако би ...” која индукују код ученика интензивно размишљање.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fornasini, P., *The Uncertainty in Physical Measurements*, New York, Springer, 2008.
2. Димић Г., Митриновић М., *Метрологија у физици*, Београд, Грађевинска књига, 1990.
3. Дојчиловић Ј., Ивковић С., *Експерименти и демонстрациони огледи из физике I*, Београд 2007
4. Симић С., Живић И., *Физичка механика: Лабораторијски практикум*, Крагујевац 2003.
5. Рибар Р., Петровић Д., *Практикум експерименталних вежби из електрицитета*, ПМФ Нови Сад, 1975.
6. Јелић А. М., *Приручник за израду мисаоних експерименталних задатака на такмичењима физике*, Београд, 2015.

Selected laboratory experimental exercises in high school physics

Milan S. Kovačević*, Sonja Kovačević, Ana Marković, Dragan Karajović

Abstract: The selected laboratory physics exercises in high school are given in this paper. One student experimental task from each study year was chosen to present here. For each of chosen work the design of hardware, experimental procedures, tasks and manuals are described in details. The overall educational aims and contributions of experimental exercises to physics teaching are highlighted.