

Универзитет у Београду - Електротехнички факултет

**КОВИЉКА СТАНКОВИЋ**

**ПРАКТИКУМ  
ЗА  
ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ВЕЖБЕ ИЗ ФИЗИКЕ**

"

Београд, 2019.

Број индекса (година/број)	Презиме и име студента

Сала	Термин	Тим

Наставник	
-----------	--

**ЕВИДЕНЦИЈА РАДА У ЛАБОРАТОРИЈИ**

Вежба	Датум рада	Датум одбране	Број поена	Потпис наставника
ВЕЖБА 1				
ВЕЖБА 2				
ВЕЖБА 3				
ВЕЖБА 4				
ВЕЖБА 5				
ВЕЖБА 6				

---

## УПУТСТВА

---

Овај Практикум намењен је студентима прве године Електротехничког факултета који у јесењем семестру прате предмет Лабораторијске вежбе из физике. Практикум представља помоћну наставну литературу којом се олакшава рад студентима у лабораторији, као и рад током обраде резултата мерења. Садржај практикума у потпуности прати градиво изложено у уџбенику „Лабораторијске вежбе из физике“ аутора Ковиљке Станковић. Лабораторије у којима се реализује настава налазе се у згради Завода за физику техничких факултета Универзитета у Београду, Рузвелтова 1а.

Планом и програмом предмета предвиђено је 6 лабораторијских вежби које се раде у два циклуса, по три вежбе (сваки циклус траје по три наставне седмице). **Израда и одбрана сваке лабораторијске вежбе представљају предиспитну обавезу, односно неопходан услов за излазак на испит.**

Припрема за лабораторијску вежбу подразумева да је студент, пре доласка у лабораторију, упознат са физичким основама и начином израде лабораторијске вежбе коју у датом термину ради, што значи да је прочитао поглавља из уџбеника која се односе на вежбу и да је, према томе, способен да одговори на питања везана за дату вежбу.

Вежбе се раде у тиму који чини 2 до 3 студента. Поени за сваку вежбу добијају се на основу самостално урађеног извештаја и усмене одбране вежбе која се састоји из провере знања везаних за конкретну вежбу: физичке основе, начин извођења експеримента, обрада резултата мерења и графичко приказивање резултата. Број поена који се стиче одбраном једне вежбе је у интервалу од 0 до 10. Одбрана вежбе предвиђена је у термину прве следеће вежбе (наредне наставне недеље). Сваки термин предвиђен је за израду једне лабораторијске вежбе. Након завршетка сваког циклуса вежби, постоји додатни термин у коме студент **може надокнадити највише једну пропуштenu вежбу** из циклуса.

Укупан број поена остварених на лабораторијским вежбама носи 40% коначне оцене, а добија се када се збир поена остварених на свим вежбама помножи са 2/3 и резултат заокружи на једну децималу.

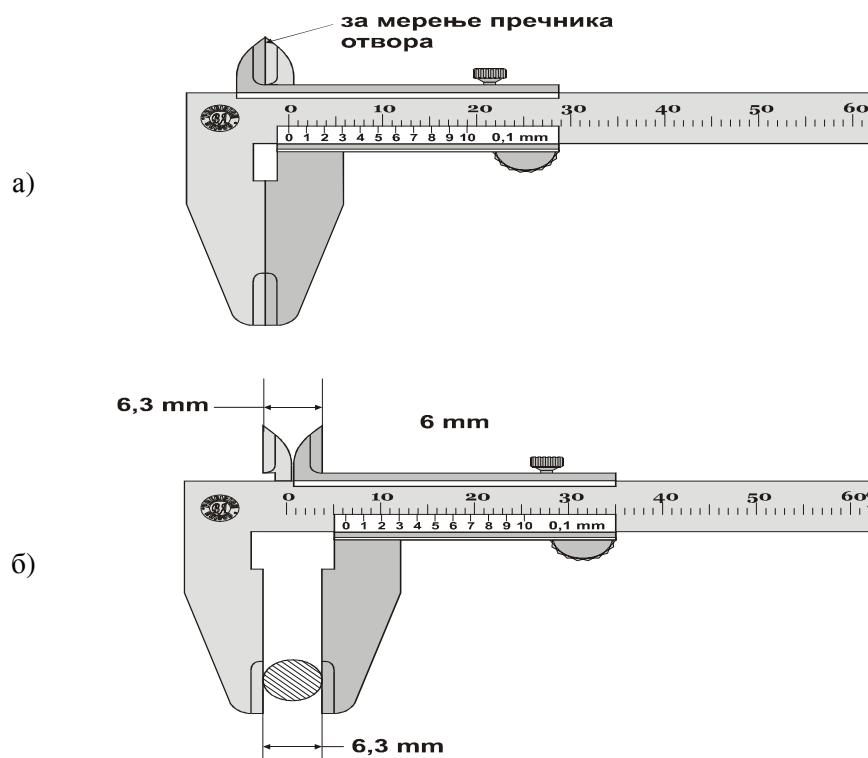
## СРЕЋАН РАД

## МЕРИЛА ДУЖИНЕ КОЈЕ КОРИСТИМО У ЛАБОРАТОРИЈИ

### ПОМИЧНО КЉУНАСТО МЕРИЛО СА НОНИЈУСОМ

Помично кљунасто мерило са нонијусом често се у пракси употребљава са скраћеним називом – **нонијус**. Изглед нонијуса приказан је на слици 1а. Мерило има **две градуисане скале** од којих је једна непомична, док друга, помична скала, клизи по главној. Помична скала (или нонијусна скала) представља мањи лењир са поделом који се **разликује** од поделе на основној скали. Главна скала има милиметарску поделу, док помична скала, најчешће, има поделу у десетим деловима једног милиметра. Постоје и други начини поделе нонијусне скале, али се њихов рад може разумети на основу ових објашњења.

Принцип мерења кљунастим мерилем може се изразити на следећи начин. Целобројна вредност мерене димензије у милиметрима **очитава се на скали главног лењира**. Број десетих делова очитава се на **скали нонијуса** као број оног његовог подеока који се **једини поклапа са неким од милиметарских поделака на главној скали**. Мерило које показује дужину од 6,3 mm приказано је на слици 1б.

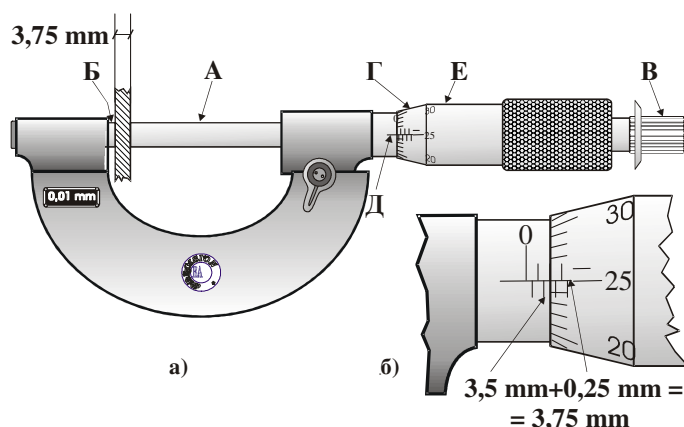


Слика 1 а) Кљунасто мерило у основном положају; б) мерило које показује дужину од 6,3 mm .

## МИКРОМЕТАР

Микрометар је механичко мерило дужине са тачношћу реда величине 0,01 mm што је око један ред величине боља тачност у поређењу са кљунастим мерилом.

Микрометар се састоји од чељусту на чијем једном крају је покретни ваљак *A*. На другом крају је непомична равном подлога *B*, такође цилиндричног облика, слика 2а. Померање цилиндра се врши окретањем главе завртња *B* на десној страни. На почетку мерења чељуст се отвара и објект који се мери, поставља се у отвор. Глава завртња *Г* се постепено окреће, чиме се помера цилиндар до стезања објекта. Завртањ пролази кроз унутрашњост непомичне матице *E* облика ваљка. По површини омотача матице, управно на висину, угравирана је милиметарска скала *Д*, са кораком од 0,5 mm. Матицу обухвата покретни део завртња *Г*, који при ротацији клизи дуж ваљка (матице) и зависно од смера кретања, постепено заклања или открива милиметарску скалу. Дуж изводнице ваљка - матице, управно на милиметарску поделу, угравирана је танка линија која представља референцу за читавање померања у стотим деловима милиметра. На обртном делу завртња *Г* који обухвата ваљак, угравирана је кружна скала са 50 подеока. При једном пуном обрту завртња, чељуст се отвори, или затвори, за 0,5 mm. То значи да померај од једног подеока кружне скале, у односу на референтну линију, одговара транслаторном померају од  $\Delta x = 0,5/50 = 0,01$  mm. Да би померај износио 1 mm потребна су два пуна круга завртња. На слици 2б приказан је положај мерила када мерена дужина износи 3,75 mm.



Слика 2 а) Спољашњи изглед микрометра; б) показивање на линеарној и кружној скали при дужини објекта од 3,75 mm.

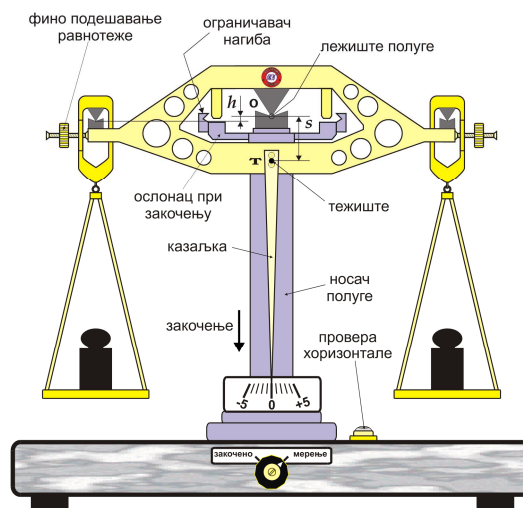
## МЕРИЛА МАСЕ КОЈЕ КОРИСТИМО У ЛАБОРАТОРИЈИ - ВАГЕ

Израз **вага** представља општи назив за мерила масе. Први типови вага били су засновани на равнокракој полузи. Практичне потребе су довеле до развоја већег броја различитих конструкција механичких вага као што су ваге са помичним тегом, нагибне ваге, опружне ваге и многе друге. Упоредо са побољшањем конструкције и тачности вага, усавршавани су поступци мерења. У другој половини двадесетог века развијене су електронске ваге са дигиталним индикаторима.

### ЛАБОРАТОРАТОРИЈСКЕ МЕХАНИЧКЕ ВАГЕ

У лабораторијама првенствену примену имају ваге на принципу равнокраке полуге. Упрошћени приказ конструкције механичке ваге дат је на слици 3. Терети чије се масе упоређују делују својим тежинама на крајеве круте полуге. Полука се ослања на лежиште око кога може да осцилује са занемарљиво малим трењем. Лежиште се састоји од оштрице на полуци и од лежаја који се налази на непомићном носачу. Нагиб полуге се читава помоћу казаљке која се креће наспрам непомићне скале. Облик и распоред маса полуге, лево и десно од лежишта, су симетрични. Услед тога, неоптерећена полука се налази у равнотежном стању, што се читава нултим скретањем казаљке. Полука без оптерећења (или при симетричном оптерећењу) је у **стабилној равнотежи**, што значи да се тежиште  $T$  налази **испод** тачке ослонца  $O$ . Растојање између тачака ослонца и тежишта означено је са  $s$ . Тасови на које се стављају терет и тегови ослањају се у тачкама полуге чије вертикално растојање од тачке ослонца износи  $h$ .

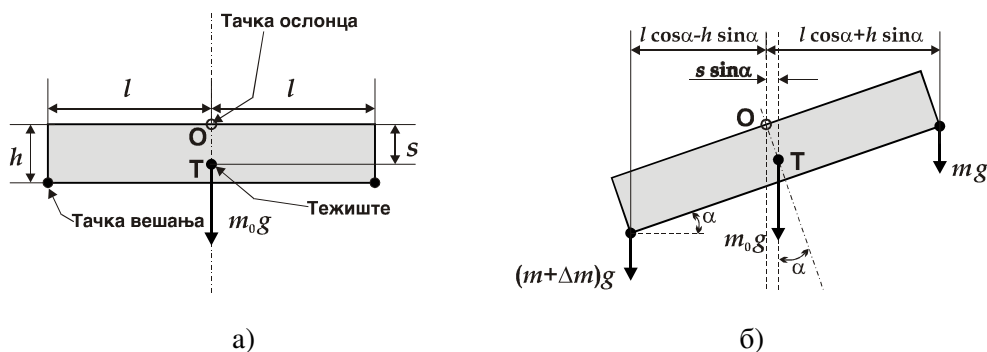
Битан предуслов добре осетљивости, поновљивости и временске стабилности ваге је добра конструкција и избор материјала оштрице и лежаја. За време мерења лежај и оштрица имају контакт дуж врло уске линије, чиме се момент трења смањује. Због мале површине додира, притисак на месту додира је врло велик, али он не сме да проузрокује хабање. Отуда употребљени материјали морају да буду што тврђи, па се користе неке врсте драгог камена као што је ахат, који спадају у најтврђе материјале у природи. Ради дужег радног века, време додира оштрице и лежаја треба да буде што краће. **Зато све време између мерења вагу треба држати у закоченом стању.** То се врши тиме што се носач са оштрицом спушта помоћу ручице док се полука не ослони на подлогу. Тада су оштрица и лежај раздвојени. **Обавезно је да при постављању и скидању терета и тегова са тасова вага буде закочена.**



Слика 3 Типична конструкција лабораторијске механичке ваге.

Анализа осетљивости ваге дата је на идеализованом моделу приказаном на слици 4. Вага је приказана полугом дужине  $2l$  масе  $m_0$  која може да ротира без трења око осовине  $O$ . Тежиште полуге налази се испод тачке вешања на растојању  $s$ . Тасови са теговима се вешају

на тачкама удаљеним на једнаким растојањима  $l$  од средине полуге. Тачке вешања су на вертикалном растојању  $h$  у односу на осовину (ослонац). Када су на тасовима стављени тегови једнаке масе или ако су тасови неоптерећени, услед потпуне симетрије, полука ваге је у хоризонталном положају, слика 4а.



Слика 4 а) Упростићени модел ваге, б) уз извођење израза за осетљивост ваге.

На леви тас ваге ставља се тег масе  $m + \Delta m$  а на десни масе  $m$ , при чему су овде урачунате и масе тасова. Услед неједнакости маса, вага скреће за неки мали угао  $\alpha$ , слика 4б. У нагнутом положају важи једнакост момената изражена једначином:

$$(m + \Delta m)g(l \cos \alpha - h \sin \alpha) = m_0 g s \sin \alpha + mg(l \cos \alpha + h \sin \alpha). \quad (1)$$

Ова сложена једначина може се поједноставити на основу претпоставке да је  $\alpha \ll 1$ , када важе апроксимације  $\cos \alpha \approx 1$  и  $\sin \alpha \approx \alpha$ . Из израза (1) добија се:

$$\frac{\alpha}{\Delta m} = \frac{l - h\alpha}{m_0 s + 2mh}. \quad (2)$$

С обзиром да растојање  $h$  и угао  $\alpha$  представљају мале величине, други члан у бројиоцу израза (2) може се занемарити. Тиме се за осетљивост  $S$  ваге добија:

$$S = \frac{\alpha}{\Delta m} = \frac{l}{m_0 s + 2mh} [\text{rad/kg}]. \quad (3)$$

Ваге се такође карактеришу и реципрчном осетљивошћу:

$$K = \frac{1}{S} = \frac{\Delta m}{\Delta \alpha} [\text{kg/rad}]. \quad (4)$$

Пожељно је да вага, као сва мерила, има што већу осетљивост. Из израза (3) следи да се осетљивост ваге  $S$  повећава ако су испуњени следећи услови:

- Већа дужина полуге  $l$ .
- Мања маса полуге  $m_0$ . Треба обратити пажњу да је овај услов у контрадикцији са првим условом као и са условом да крутост полуге буде велика. Отуда је избор дужине полуге, њене масе и крутости резултат конструкционог компромиса.
- Мање растојање тежишта и тачке ослонаца  $s$ .
- Мање растојање тачке вешања тасова  $h$ .

Ако је последњи услов испуњен, тада осетљивост ваге  $S$  не зависи знатно од масе  $m$  која се мери. Растојање  $h$  има позитивну вредност, па се осетљивост ваге **смањује** са порастом масе  $m$ .

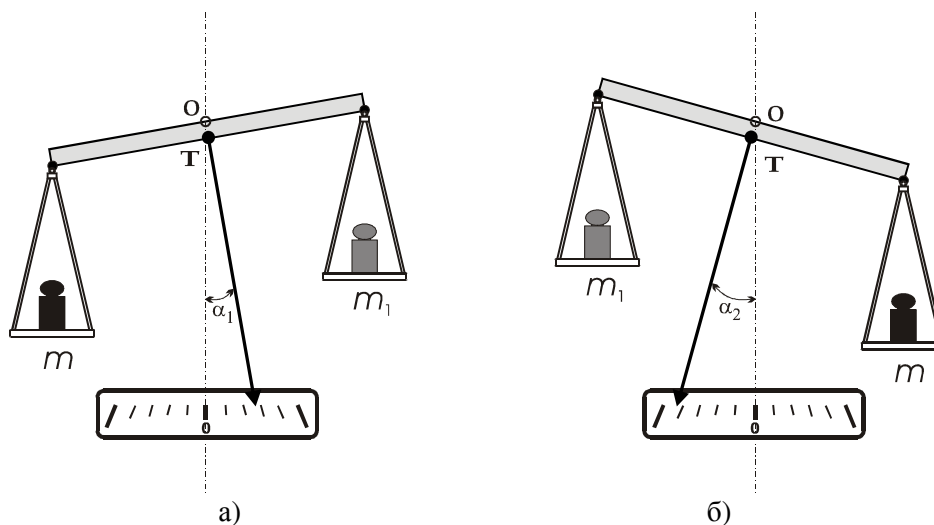
Претпоставимо да се два тег а блиских маса  $m$  и  $m_1$  поставе на тасове ваге. Ако казаљка скреће

за угао  $\alpha$  према тегу масе  $m_1$ , тада је  $m = m_1 + \frac{\alpha}{S}$  или:

$$m = m_1 + K\alpha. \quad (5)$$

Анализа осетљивости заснивала се на претпоставци да је конструкција ваге идеално симетрична. То подразумева потпуну једнакост дужина кракова полуге као и симетрију маса. Пошто се ови услови не могу постићи у потпуности, истраживачи су настојали да пронађу поступке којима ће се умањити утицаји несавршене конструкције ваге. Овде ће бити наведена само два поступка.

Гаус је предложио метод **двојног вагања** са променом места теге и терета. На слици 5 приказана је вага у два положаја. У првом положају, слика 5а, на леви тас стављен је еталонски тег масе  $m$  а на други тег блиске масе  $m_1$  коју треба одредити. При томе казаљка ваге скреће за угао  $\alpha_1$  удесно. Након промене места на тасовима, слици 5б, скретање казаљке износи  $\alpha_2$  на лево. Због несавршености конструкције, осетљивост ваге при скретању на десно и лево нису потпуно једнаке,  $S_d \neq S_l$ . Исти је случај са константом ваге ( $K = 1/S$ ), тј. константе за два смера такође нису једнаке  $K_d \neq K_l$ . Константе се могу написати у облику  $K_d = K + \Delta K_1$  и  $K_l = K - \Delta K_2$ , где је  $K$  средња вредност константе у целом мерном опсегу. Код добрих вага одступања од средње вредности су релативно мала  $\Delta K_1 / K \ll 1$  и  $\Delta K_2 / K \ll 1$ .



Слика 5 Уз објашњење Гаусовог принципа двојног вагања са заменом места на тасовима.

За стање приказано на слици 5а важи  $m = m_1 + (K + \Delta K_1)\alpha_1$ , а за стање на слици 5б,  $m = m_1 + (K - \Delta K_2)\alpha_2$ . Из претходна два израза, за масу  $m_1$  добија се:

$$m_1 = m + K \frac{\alpha_2 + \alpha_1}{2} + \frac{\Delta K_1 \alpha_1 - \Delta K_2 \alpha_2}{2}. \quad (6)$$

У једначини (6) трећи члан на десној страни је занемарљиво мали, па се једначина своди на следећи једноставни облик:

$$m_1 = m + K \frac{\alpha_2 + \alpha_1}{2}. \quad (7)$$

Углови  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  у једначини (7) се узимају као позитивни. Гаусов метод двојног вагања се широко користи у метрологији масе.

Менделејев је такође предложио један поступак за умањење утицаја несавршености вага. Наиме, природно је да се при промени оптерећења ваге, стање у лежишту мења. Тим долази и до промена осетљивости ваге. Предложени поступак, подразумева да током мерења, вага има увек **константно** оптерећење. На почетку се вага доведе у равнотежу на тај начин што се на тасове поставе једнаки тегови, чија је маса **већа** од масе која треба да се измери. При томе, на тас на који ће бити стављена мерена маса, поставља се више тегова разноврсних вредности. Када се постави тело непознате масе, са тог таса се **одузимају** тегови све док се поново постигне равнотежа. При томе, на другом, референтном крају ваге, терет се не мења. По новом успостављању равнотеже, мерена маса једнака је маси тегова скинутих са таса.



## ЛАБОРАТОРАТОРИЈСКЕ ЕЛЕКТРОНСКЕ ВАГЕ

Детаљнији опис електронских вага и анализа њиховог рада превазилази ниво и обим који одговара овом предмету. Због тога ће овде бити дат само кратки осврт на принцип рада и особине електронских вага.

Електронске (или електромеханичке) ваге представљају у суштини направе за мерење **силе**, тј. **тежине терета** чија се маса мери. Уопштени принцип рада једне електронске ваге илустрован је на блок шеми, слици ба. Тело масе  $m$  делује својом тежином  $F = mg$  на еластични елемент стварајући линеарно сразмерну релативну деформацију  $\varepsilon = \Delta l / l$  или угиб  $\Delta x$ . Релативна деформација се преноси на неки од сензора помераја укључен у одговарајуће електрично коло (обично у Витстонов мост). На излазу моста добија се напон линеарно сразмеран релативном померају, а тиме тежини и маси терета. Излазни напон моста се претвара у дигитални облик помоћу аналогно дигиталног конвертора. Након обраде, дигитализовани сигнал се приказује на индикатору изражен у јединицама масе.

Једноставни пример мерног претварача електронске ваге приказан је на слици бб. Као еластични елемент примењен је вертикални метални ваљак, површине попречног пресека  $S$ , на чијем врху је посуда у коју се поставља терет. Када се оптерети теретом тежине  $F = mg$ , дужина цилиндра  $\Delta l$  се скраћује. Сходно Хуковом закону, релативно скраћење износи:

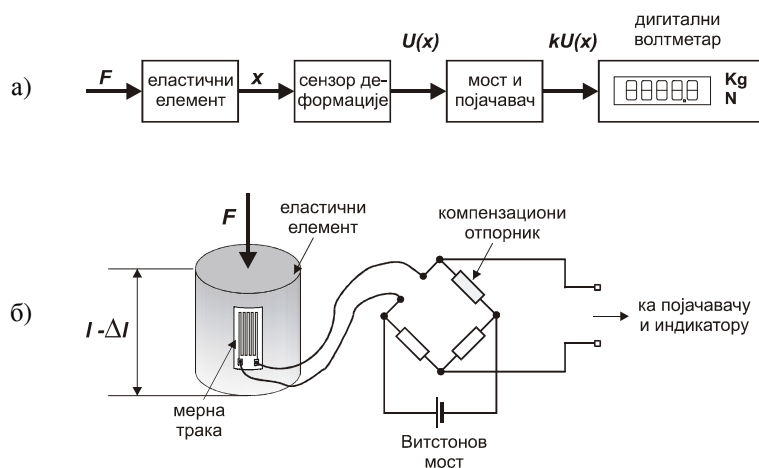
$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{mg}{SE_Y} \quad (8)$$

где је  $E_Y$  [N/m<sup>2</sup>] Јангов модул еластичности материјала. По дужини цилиндра је залепљен отпорни сензор, тзв. мерна трака, која трпи истоветно релативно истезање као и цилиндар. Отпорност траке  $R$ , услед скраћења се смањује:

$$\frac{\Delta R}{R} = k \frac{\Delta l}{l} = \frac{kmg}{SE_Y} \quad (9)$$

где је  $k$  тзв. осетљивост мерне траке, чија уобичајена вредност износи  $k \approx 2$ . Мерна трака је везана као једна од грана Витстоновог моста. Ако је промена отпорности мала,  $\Delta R / R \ll 1$ , што увек важи у пракси, излазни напон  $U_i$  моста дат је једноставним изразом:

$$U_i = \frac{E k g}{4 S E_Y} m \quad (10)$$



Слика 6 а) Блок шема електронске ваге, б) еластични сензор са залепљеном мерном траком, в) мост за мерење тежине терета масе  $m$ .

Излазни напон моста, који је пропорционалан маси терета, се појачава, преводи у дигитални облик и затим приказује на индикатору. Применом микропроцесора у конструкцији вага остварене су могућности да се софтверским методама умањи утицај неких несавршености механичких и електричних компонената, што је довело до осетног побољшања тачност вага. У поступке које је омогућила примена микропроцесора спадају статистичка обрада резултата,

линеаризација статичке карактеристике, аутокалибрација ваге и примена у системима аутоматске контроле и управљања. Комерцијалне електронске ваге се производе у широком распону мерног опсега. Ваге за лабораторијска истраживања имају резолуцију испод милиграма. На другој страни, постоје ваге за мерење терета од више тона, као што су дизаличне, камионске или железничке ваге.

За детаљније упознавање са облашћу електронских вага читаоцима се препоручују уџбеници виших курсева мерења и специјализована литература из ове области.

---

## ГРАФИЧКО ПРИКАЗИВАЊЕ РЕЗУЛТАТА МЕРЕЊА

---

За цртање графика користимо милиметарски папир. График се црта искључиво графитном оловком.

Дужине оса на графику се бирају тако да график буде што приближнији квадратном облику. На  $x$  осу наноси се независна променљива (улазна величина), а на  $y$  осу зависна променљива (излазна величина). Ознаке мерених физичких величина треба да стоје уз координатне осе за једно са јединицама мере (одмах након назива физичке величине унутар угластих или обичних заграда).

Бројне вредности које се наносе на осе приказују се у размери 1:1, 1:2, 1:5, 1:10, 1:20, 1:50 и 1:100. Дозвољено је скалирање вредности у научној нотацији или у логаритамској размери. Недозвољене размере су 1:3, 1:6, 1:7 итд.

На осе се наносе само еквидистантне ознаке бројних вредности физичких величина. На осама се не обележавају бројне вредности које одговарају експерименталним тачкама. Експерименталне тачке се означавају кружићима, квадратићима и сл.

Уколико је коефицијент правца праве и одговарајући слободни члан одређен статистичком обрадом мерних резултата, уз поштовање метода најмањих квадрата, оптимална права се провлачи на основу тако израчунатих параметара. У том случају је на графику потребно означити најмање две сигурне тачке добијене служећи се израчунатим коефицијентом правца и слободним чланом, или, алтернативно, једну сигурну тачку и тангенс угла који оптимална права заклапа са апсцисом.

Сваки график треба да садржи наслов, датум израде, име и презиме студента и број индекса.

<b>ВЕЖБА 1</b>	<b>МЕРЕЊЕ ГУСТИНЕ ТЕЧНИХ И ЧВРСТИХ СУПСТАНЦИ</b>	Датум рада:
----------------	--	-------------

### 1. МЕРЕЊЕ ГУСТИНЕ ТЕЧНОСТИ ПОМОЋУ ПИКНОМЕТРА

#### МЕТОД

Густина непознате течности:	(израз)
-----------------------------	---------

#### ПОСТУПАК МЕРЕЊА

Маса празног пикнометра:	$m_1 =$
Маса пикнометра са водом:	$m_2 =$
Маса пикнометра са непознатом течношћу:	$m_3 =$
Густина непознате течности:	$\rho_x =$

#### ОБРАДА РЕЗУЛТАТА МЕРЕЊА

Стандардна мерна несигурност (МН) масе:		$u_m =$
Стандардна МН тип Б густине:	(израз)	$u_{\rho_B} =$

Усвојена расподела за комбиновану МН:
Ниво статистичке сигурности $P =$
Коефицијент проширења $k =$
Број значајних цифара несигурности $U_c:$

#### КОНАЧАН РЕЗУЛТАТ

$(\rho_x \pm U_c) =$
----------------------

## 2. МЕРЕЊЕ ГУСТИНЕ СУПСТАНЦЕ У ЗРНАСТОМ ОБЛИКУ ПОМОЋУ ПИКНОМЕТРА

### МЕТОД

Густина супстанце у зрнастом облику:	(израз)
--------------------------------------	---------

### ПОСТУПАК МЕРЕЊА

Маса супстанце у зрнастом облику:	$m =$
Маса пикнометра са водом и зрнастом супстанцом поред њега:	$m_1 =$
Маса пикнометра са водом и зрнастом супстанцом у њему:	$m_2 =$
Густина супстанце у зрнастом облику:	$\rho_x =$

### ОБРАДА РЕЗУЛТАТА МЕРЕЊА

Стандардна мерна несигурност (МН) масе:		$u_m =$
Стандардна МН тип Б густине:	(израз)	$u_{\rho_B} =$

Усвојена расподела за комбиновану МН:	
Ниво статистичке сигурности	$P =$
Коефицијент проширења	$k =$
Број значајних цифара несигурности $U_c$ :	

### КОНАЧАН РЕЗУЛТАТ

$(\rho_x \pm U_c) =$
----------------------

### 3. МЕРЕЊЕ ГУСТИНЕ ТЕЧНОСТИ ХИДРОМЕТРОМ

#### МЕТОД

Густина непознате течности:	(израз)
-----------------------------	---------

#### ПОСТУПАК МЕРЕЊА

Редни број мерења $i$	$h_{01}$	$h_{02}$	$h_1$	$h_2$	$\rho_i$
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					

Средња вредност густине:	(израз)	$\rho_s =$
--------------------------	---------	------------

#### ОБРАДА РЕЗУЛТАТА МЕРЕЊА

Стандардна мерна несигурност (МН) висине:		$u_h =$
Стандардна МН тип А густине:	(израз)	$u_{\rho A} =$

Стандардна МН тип Б густине:	(израз)	$u_{\rho_B} =$
Стандардна комбинована МН густине:	(израз)	$u_{\rho_c} =$

Усвојена расподела за комбиновану МН:	
Ниво статистичке сигурности	$P =$
Коефицијент проширења	$k =$
Број значајних цифара несигурности $U_c$ :	

**КОНАЧАН РЕЗУЛТАТ**

$(\rho_x \pm U_c) =$
----------------------

#### 4. МЕРЕЊЕ ГУСТИНЕ ЧВРСТИХ ТЕЛА ХИДРОСТАТИЧКОМ ВАГОМ

##### МЕТОД

Густина чврстог тела:	(израз)
-----------------------	---------

##### ПОСТУПАК МЕРЕЊА

Маса тела:	$m =$
Привидна маса тела:	$m_1 =$
Густина чврстог тела:	$\rho_x =$

##### ОБРАДА РЕЗУЛТАТА МЕРЕЊА

Стандардна мерна несигурност (МН) масе:	$u_m =$
Стандардна МН тип Б густине:	$u_{\rho_B} =$  (израз)

Усвојена расподела за комбиновану МН:

Ниво статистичке сигурности  $P =$

Коефицијент проширења  $k =$

Број значајних цифара несигурности  $U_c:$

##### КОНАЧАН РЕЗУЛТАТ

$(\rho_x \pm U_c) =$



<b>ВЕЖБА 2</b>	<b>МЕРЕЊЕ УБРЗАЊА ЗЕМЉИНЕ ТЕЖЕ ПОМОЋУ КЛАТНА</b>	Датум рада:
----------------	--	-------------

**МЕТОД**

Убрзање земљине теже:	(израз)
-----------------------	---------

**ПОСТУПАК МЕРЕЊА**

Р. бр. мерења	$l_1$	$l_2$	$l_s$	$t_u$	$n$	$T$	$T^2$
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
9.							
10.							

Коефицијент правца оптималне праве:	(израз)	$a =$
Убрзање земљине теже:		$g =$

**ОБРАДА РЕЗУЛТАТА МЕРЕЊА**

Стандардна МН кофицијента правца оптималне праве:	(израз)	$u_a =$
Стандардна МН убрзања земљине теже:	(израз)	$u_g =$

Усвојена расподела за комбиновану МН:

Ниво статистичке сигурности  $P =$ Коефицијент проширења  $k =$ Број значајних цифара несигурности  $U_c$ :**КОНАЧАН РЕЗУЛТАТ**

$$(g \pm U_c) =$$

**РЕЛАТИВНА ГРЕШКА МЕРЕЊА**

Релативна грешка мерења гравитационог убрзања:	(израз)	$\varepsilon_r =$
---	---------	-------------------

**ГРАФИК ЗАВИСНОСТИ**  $T^2 = f(l_s)$  приложити нацртан на милиметарском папиру.

<b>ВЕЖБА 3</b> <b>део 1/3</b>	<b>МЕРЕЊЕ МОДУЛА ЕЛАСТИЧНОСТИ</b> <b>ЖИЦЕ</b>	Датум рада:
----------------------------------	--	-------------

**МЕТОД**

Модуло еластичности жице:	(израз)
---------------------------	---------

**ПОСТУПАК МЕРЕЊА**

Дужина жице <span style="float: right;"><math>l =</math></span>					
Пречник жице	$d_1 =$	$d_2 =$	$d_3 =$	$d_4 =$	$d_5 =$
Средња вредност пречника жице	(израз)				$d_s =$

Р. бр. мерења	Маса тега $m_i$	Истезање $\Delta l_i$		
		При повећању силе	При смањењу силе	Средња вредност
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				

Коефицијент правца оптималне праве:	(израз)	$a =$
-------------------------------------	---------	-------

Модуо еластичности жице:

$$E_Y =$$

#### ОБРАДА РЕЗУЛТАТА МЕРЕЊА

Стандардна МН дужине жице:	(израз)	$u_l =$
Стандардна МН тип А пречника жице:	(израз)	$u_{dA} =$
Стандардна МН тип Б пречника жице:	(израз)	$u_{dB} =$
Стандардна комбинована МН пречника жице:	(израз)	$u_{dc} =$
Стандардна МН коефицијента оптималне праве:	(израз)	$u_a =$
Стандардна МН модула еластичности жице:	(израз)	$u_{EY} =$

Усвојена расподела за комбиновану МН:

Ниво статистичке сигурности  $P =$

Коефицијент проширења  $k =$

Број значајних цифара несигурности  $U_c$ :

#### КОНАЧАН РЕЗУЛТАТ

$$(E_Y \pm U_c) =$$

#### РЕЛАТИВНА ГРЕШКА МЕРЕЊА

Релативна грешка мерења модула еластичности:	(израз)	$\varepsilon_r =$
--	---------	-------------------

ГРАФИК ЗАВИСНОСТИ  $\Delta l = f(m)$  приложити нацртан на милиметарском папиру.

<b>ВЕЖБА 3</b> <b>део 2/3</b>	<b>МЕРЕЊЕ МОДУЛА ТОРЗИЈЕ ЖИЦЕ</b>	Датум рада:
----------------------------------	-----------------------------------	-------------

**МЕТОД**

Модуло торзије жице:	(израз)
----------------------	---------

**ПОСТУПАК МЕРЕЊА**

Дужина жице	$l =$				
Пречник жице	$d_1 =$	$d_2 =$	$d_3 =$	$d_4 =$	$d_5 =$
Средња вредност пречника жице	(израз)				$d_s =$
Пречник цилиндра	$D_1 =$	$D_2 =$	$D_3 =$	$D_4 =$	$D_5 =$
Средња вредност пречника цилиндра	(израз)				$D_s =$

Р. бр. мерења	$m$	$M=mgD$	$\varphi[^\circ]$	$\varphi[\text{rad}]$
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				

Коефицијент правца оптималне праве:	(израз)	$a =$
Торзиона константа	(израз)	$c =$
Модуо торзије жице:		$E_s =$

#### ОБРАДА РЕЗУЛТАТА МЕРЕЊА

Стандардна МН дужине жице:	(израз)	$u_l =$
Стандардна МН тип А пречника жице:	(израз)	$u_{dA} =$
Стандардна МН тип Б пречника жице:	(израз)	$u_{dB} =$
Стандардна комбинована МН пречника жице:	(израз)	$u_d =$
Стандардна МН коефицијента оптималне праве:	(израз)	$u_a =$
Стандардна МН торзионе константе:	(израз)	$u_c =$
Стандардна МН модула торзије жице:	(израз)	$u_{E_s} =$

Усвојена расподела за комбиновану МН:	
Ниво статистичке сигурности	$P =$
Коефицијент проширења	$k =$
Број значајних цифара несигурности $U_c$ :	

**КОНАЧАН РЕЗУЛТАТ**

$$(E_s \pm U_c) =$$

**РЕЛАТИВНА ГРЕШКА МЕРЕЊА**

Релативна грешка мерења модула торзије жице:	(израз)	$\varepsilon_r =$
--	---------	-------------------

**ГРАФИК ЗАВИСНОСТИ**  $\varphi = f(M)$  приложити нацртан на милиметарском папиру.

<b>ВЕЖБА 3</b> <b>део 3/3</b>	<b>МЕРЕЊЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИЈЕ</b> <b>НЕПРАВИЛНОГ ТЕЛА</b>	Датум рада:
----------------------------------	---	-------------

**МЕТОД**

Момент инерције неправилног тела:	(израз)
--------------------------------------	---------

**ПОСТУПАК МЕРЕЊА**

Број $n$ пуних осцилација:	$n =$
Укупно трајање $n$ пуних осцилација:	$T_u =$
Период осциловања:	$T =$
Торзиона константа:	$c =$
Момент инерције неправилног тела:	$I =$

**ОБРАДА РЕЗУЛТАТА МЕРЕЊА**

Стандардна МН тип Б периода осциловања:	(израз)	$u_a =$
Стандардна МН торзионе константе:	(израз)	$u_c =$
Стандардна МН момента инерције:	(израз)	$u_I =$

Усвојена расподела за комбиновану МН:	
Ниво статистичке сигурности	$P =$
Коефицијент проширења	$k =$
Број значајних цифара несигурности $U_c$ :	



**КОНАЧАН РЕЗУЛТАТ**

$$(I \pm U_c) =$$

**РЕЛАТИВНА ГРЕШКА МЕРЕЊА**

Релативна грешка мерења  
модула торзије жице:

(израз)

$$\varepsilon_r =$$

<b>ВЕЖБА 4</b> <b>део 1/2</b>	<b>МЕРЕЊЕ БРЗИНЕ ЗВУКА</b> <b>ПОМОЋУ КУНТОВЕ ЦЕВИ</b>	Датум рада:
----------------------------------	--	-------------

**МЕТОД**

Брзина звука у ваздуху:	(израз)
Брзина звука у алуминијуму:	(израз)
Јангов модул еластичности алуминијума:	(израз)

**ПОСТУПАК МЕРЕЊА**

Фреквенција тон генератора:	$v_g =$
Број Кунтових фигура:	$n =$
Дужина ваздушног стуба:	$l_v =$
Дужина алуминијумске шипке:	$l =$
Густина алуминијумске шипке:	$\rho_{Al} =$
Температура у лабораторији:	$t =$
Атмосферски притисак у лабораторији:	$p_a =$
Брзина звука у ваздуху:	$c_v =$
Брзина звука у алуминијуму:	$c_{Al} =$
Јангов модул еластичности алуминијума:	$E_{Y_{Al}} =$

**ОБРАДА РЕЗУЛТАТА МЕРЕЊА**

Зависност брзине звука у ваздуху од температуре:	(израз)	$c =$
--	---------	-------

Апсолутна грешка мерења брзине звука у ваздуху:	(израз)	$\varepsilon_{a1} =$
Релативна грешка мерења брзине звука у ваздуху:	(израз)	$\varepsilon_{r1} =$
Апсолутна грешка мерења Јанговог модула еластичности алуминијума:	(израз)	$\varepsilon_{a2} =$
Релативна грешка мерења Јанговог модула еластичности алуминијума:	(израз)	$\varepsilon_{r2} =$

#### КОНАЧАН РЕЗУЛТАТ

$$(c_v \pm \varepsilon_{a1}) =$$

$$(E_{Y_{Al}} \pm \varepsilon_{a2}) =$$

<b>ВЕЖБА 4</b> део 2/2	<b>МЕРЕЊЕ ОДНОСА СПЕЦИФИЧНИХ  ТОПЛОТА <math>c_p/c_v</math> ЗА ВАЗДУХ</b>	Датум рада:
---------------------------	--	-------------

**МЕТОД**

Однос специфичних топлота $c_p/c_v$ :	          (израз)
--	---

**ПОСТУПАК МЕРЕЊА**

Р. бр. мерења	Разлика нивоа у крацима манометра пре отварања вентила $h_1$	Разлика нивоа у крацима манометра после затварања вентила $h$	Однос специфичних топлота $\kappa$
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			

Средња вредност односа $c_p/c_v$ :	    (израз)	$\kappa_s =$
Стандардна МН тип А односа $c_p/c_v$ :	    (израз)	$u_{\kappa A} =$

Усвојена расподела за комбиновану МН:	
Ниво статистичке сигурности	$P =$
Коефицијент проширења	$k =$
Број значајних цифара несигурности $U_c$ :	

### КОНАЧАН РЕЗУЛТАТ

$(k \pm U_c) =$
-----------------

### РЕЛАТИВНА ГРЕШКА МЕРЕЊА

Релативна грешка мерења однос специфичних топлота $c_p/c_v$ за ваздух:	(израз)	$\varepsilon_r =$
--	---------	-------------------

### БРЗИНА ЗВУКА У ВАЗДУХУ

Брзина звука у ваздуху:	(израз)	$c_v =$
Апсолутна грешка мерења брзине звука у ваздуху:	(израз)	$\varepsilon_a =$
Релативна грешка мерења брзине звука у ваздуху:	(израз)	$\varepsilon_r =$
Коначан резултат:	$(c_v \pm \varepsilon_a) =$	

<b>ВЕЖБА 5</b>	<b>МЕРЕЊЕ СПЕЦИФИЧНЕ ТОПЛОТЕ ЧВРСТИХ ТЕЛА</b>	Датум рада:
----------------	---	-------------

**МЕТОД**

Специфична топлота чврстог тела :	(израз)
--------------------------------------	---------

**ПОСТУПАК МЕРЕЊА**

Маса воде у калориметру:	$m_v =$
Маса чврсте супстанце у зрнастом облику:	$m =$
Температура загрејане супстанце у зрнастом облику:	$t_k =$
Почетна температура воде у калориметру:	$t_1 =$
Крајња температура воде у калориметру:	$t_2 =$
Количина топлоте коју прими калориметар:	$\Delta Q =$ (израз)
Специфична топлота чврсте супстанце у зрнастом облику:	$c =$

**ОБРАДА РЕЗУЛТАТА МЕРЕЊА**

Апсолутна грешка мерења специфичне топлоте чврсте супстанце:	(израз)	$\varepsilon_a =$
Релативна грешка мерења специфичне топлоте чврсте супстанце:	(израз)	$\varepsilon_r =$

## КОНАЧАН РЕЗУЛТАТ

$$(c \pm \varepsilon_a) =$$

Извести израз за стандардну мерну несигурност тип Б специфичне топлоте за случај индиректно мерених величина. Усвојити да су све несигурности мерења масе једнаке  $u_m$  и да су све несигурности мерења температуре једнаке  $u_t$ . Сматрати да су све мерене величине некорелисане. На крају, одредити проширену мерну несигурност  $U_c$  и резултат изразити у облику  $(c \pm U_c)$ , а затим упоредити овај резултат са преходно добијеним резултатом израженим са апсолутном грешком мерења.

<b>ВЕЖБА 6</b> део 1/2	<b>МЕРЕЊЕ ЗАВИСНОСТИ ТАЧКЕ КЉУЧАЊА ВОДЕ ОД ПРИТИСКА</b>	Датум рада:
---------------------------	---	-------------

**ПОСТУПАК МЕРЕЊА**

Атмосферски притисак у лабораторији:	$p_a =$	[mmHg]	$p_a =$	[kPa]
Температура у лабораторији:			$t_a =$	[°C]

Р. бр. мерења	Температура воде $t$ [°C]	Разлика нивоа живе $\Delta h$ [mm]	Притисак $p$ [mmHg]	Притисак $p$ [kPa]	Таблична вредност притиска $p_i$ [kPa]	Одступање притиска $(p - p_i)$ [kPa]
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						

**ГРАФИК ЗАВИСНОСТИ  $p = f(t)$**  приложити нацртан на милиметарском папиру или уз помоћ неког софтверског алата, при чему треба користити експоненцијално фитовање.



<b>ВЕЖБА 6</b> део 2/2	<b>МЕРЕЊЕ ТОПЛОТЕ ИСПАРАВАЊА ВОДЕ</b>	Датум рада:
---------------------------	---------------------------------------	-------------

### МЕТОД

Топлота испаравања воде:	(израз)
--------------------------	---------

### ПОСТУПАК МЕРЕЊА

Маса празног калориметра:	$m_{p1} =$
Маса напуњеног калориметра:	$m_{p2} =$
Маса воде у калориметру:	$m_v =$
Маса мешалице:	$m_m =$
Запремина уроњеног дела термометра у воду:	$\Delta V =$
Маса кондензатора:	$m_{k1} =$
Почетна температура у калориметру:	$t_1 =$
Крајња температура у калориметру:	$t_2 =$
Маса кондензатора са водом:	$m_{k2} =$
Маса кондензоване воде:	$\mu =$
Топлотни капацитет калориметра:	$M =$ (израз)
Топлота испаравања воде:	$q =$

### ОБРАДА РЕЗУЛТАТА МЕРЕЊА

Апсолутна грешка мерења топлоте испаравања воде:	(израз)	$\varepsilon_a =$
--	---------	-------------------

Релативна грешка мерења топлоте испаравања воде:	(израз)	$\varepsilon_r =$
--	---------	-------------------

**КОНАЧАН РЕЗУЛТАТ**

$(q \pm \varepsilon_a) =$
---------------------------

Извести израз за стандардну мерну несигурност тип Б топлоте испаравања воде за случај индиректно мерених величина. Усвојити да су све несигурности мерења масе једнаке  $u_m$  и да су све несигурности мерења температуре једнаке  $u_t$ . Сматрати да су све мерене величине некорелисане. На крају, одредити проширену мерну несигурност  $U_c$  и резултат изразити у облику  $(q \pm U_c)$ , а затим упоредити овај резултат са преходно добијеним резултатом израженим са апсолутном грешком мерења.

<b>ВЕЖБА 7</b>	<b>МЕРЕЊЕ ЖИЖНЕ ДАЉИНЕ СОЧИВА ИЗ РАСТОЈАЊА ПРЕДМЕТА И ЛИКА</b>	Датум рада:
----------------	--	-------------

---

**ДИРЕКТНИ МЕТОД ОДРЕЂИВАЊА ЖИЖНЕ ДАЉИНЕ**

---

**МЕТОД**

Жижна даљина:	(израз)
---------------	---------

**ПОСТУПАК МЕРЕЊА**

Р. бр. мерења	Растојање $p$	Растојање $l$	Жижна даљина $f$

**ОБРАДА РЕЗУЛТАТА МЕРЕЊА**

Средња вредност жижне даљине:	(израз)	$f_s =$
Стандардно одступање мерења:	(израз)	$S =$
Стандардно одступање средње вредности:	(израз)	$S_{f_s} =$

ДИЈАГРАМ ЗА ГРАФИЧКО ОДРЕЂИВАЊЕ ЖИЖНЕ ДАЉИНЕ приложити нацртан на милиметарском папиру.

---

**БЕСЕЛОВ МЕТОД ОДРЕЂИВАЊА ЖИЖНЕ ДАЉИНЕ СОЧИВА**

---

**МЕТОД**

Жижна даљина:	(израз)
---------------	---------

**ПОСТУПАК МЕРЕЊА**

Р. бр. мерења	Растојање $D$	Растојање $d$	Жижна даљина $f$

**ОБРАДА РЕЗУЛТАТА МЕРЕЊА**

Средња вредност жижне даљине:	(израз)	$f_s =$
Стандардно одступање мерења:	(израз)	$S =$
Стандардно одступање средње вредности:	(израз)	$S_{f_s} =$

## **БЕЛЕШКЕ**



## ЛИТЕРАТУРА

К. Станковић, Д. Станковић, П. Осмокровић, *Лабораторијске вежбе из физике*, Завод за физику техничких факултета Универзитета у Београду, 2014.

К. Станковић, *Лабораторијске вежбе из физике*, Академска мисао, Београд 2019.

Ковиљка Станковић

## ПРАКТИКУМ ЗА ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ВЕЖБЕ ИЗ ФИЗИКЕ

Издавач:  
Академска мисао

Рецензенти:  
Проф. др Јасна Црњански  
Доц. др Марко Барјактаровић

Штампа: Висока техничка школа струковних студија Чачак

Тираж: 500 примерака

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета Универзитета у Београду број 1043/3 од 26.9.2019. године овај уџбеник је одобрен као наставни материјал на Електротехничком факултету.

**ISBN 978-86-7466-802-3**  
**ISBN 978-86-7466-804-7 (e-book)**

---

Фотокопирање или умножавање на било који начин или поновно објављивање ове књиге у целини или у деловима није дозвољено без изричите сагласности и писменог одобрења издавача.

---



Izdavač

**Akademska misao**

Primorska 21, Beograd

Tel./Fax: +381 11 3218 354

Marko Vujadinović dipl. el. inž.  
+381 63 30 10 75  
marko.vujadinovic@akademska-misao.rs

Aleksandar Rašković, dipl. el. inž.  
+381 63 30 10 65  
sasa.raskovic@akademska-misao.rs

**www.akademska-misao.rs**

**office@akademska-misao.rs**

---

СР – Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

53.08(075.8)(076)

**СТАНКОВИЋ, Ковиљка, 1979-**

Практикум за лабораторијске вежбе из физике  
/ Ковиљка Станковић. - Београд : Академска  
мисао, 2019 (Чачак : Висока техничка школа  
струковних студија). - 39 стр. : илустр. ; 25 cm

На врху насл. стр: Универзитет у Београду,  
Електротехнички факултет. - Тираж 500. -  
Библиографија: стр. 37.

ISBN 978-86-7466-802-3

а) Физика - Мерења - Вежбе

COBISS.SR-ID 279825420

---