

ISSN 2406-2626

Број 8  
**НАСТАВА ФИЗИКЕ**



**Зборник радова  
са XXXVII Републичког семинара о настави физике**



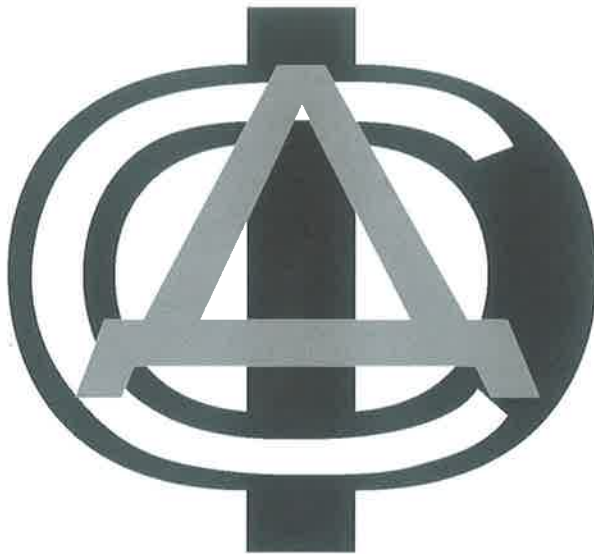
**Кладово 2019.**

*Милош Јовић*

# НАСТАВА ФИЗИКЕ

Број 8, Мај 2019

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.

*Гостујуће уредништво*  
(Комисија за Семинаре ДФС-а)

Саша Ивковић, председник  
Андријана Жекић  
Милан Ковачевић  
Маја Стојановић  
Ненад Стевановић  
Стеван Јокић  
Мирјана Поповић – Божић  
Бранка Радуловић  
Слађана Николић  
Предраг Савић  
Братислав Обрадовић

*Организациони одбор Семинара*

Братислав Обрадовић, председник  
Нора Тркља  
Иван Крстић  
Никола Цветановић  
Јелена Марковић  
Марија Марковић  
Милош Гојковић  
Ненад Грозданић  
Владимир Марковић  
Јована Милијановић

*ВД Главог и одговорног уредника*  
Ивана Богдановић

*Технички уредници*  
Саша Ивковић  
Иван Крстић

*Наслов:*  
„Настава физике“

*Поднаслов:*  
„Зборник радова са XXXVII Републичког семинара о настави физике“

*Издавач:*  
Друштво физичара Србије, Београд

Штампарија:  
СЗП „Сисеро“ Београд

ISSN: 2406-2626

Тираж: 300

CIP – Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

53

НАСТАВА физике: зборник радова са Републичког семинара о настави физике / уредник Ивана Богдановић - 2019, бр. 8 - Београд: Друштво физичара Србије, 2019 - (Београд: Сисеро) - 25 cm  
Два пута годишње  
ISSN 2406-2626 = Настава физике  
COBISS.SR-ID 214910476

## Школски експерименти из физике

Милан Ковачевић, Ненад Стевановић и Владимир М. Марковић

*Природно-математички факултет, Универзитет у Крагујевцу*

**Апстракт.** У раду су приказани експерименти који се могу користити у настави физике у основним и средњим школама. Већина од ових експеримената се могу направити од стране наставника, а који, без обзира на своју једноставност могу демонстрирати неке од фундаменталних појава из физике. Представљени су експерименти у коме се може одредити магнетна пермеабилност вакуума, снимити дифракциона слика, проверити Хајзенбергове релације неодређености посматрајући дифракцију ласерске светлости на прорезу. Посебно истичемо значај да сами наставници заједно са ученицима направе и релаизују Ерстедов оглед на часу када се изучава магнетно поље струје. У раду са талентованим ученицима предлажемо реализацију пројекта јонизационо зрачење у оквиру којег кога се може направити једноставна јонизациона комора од конзерве за кафу.

**Кључне речи:** магнетно поље, дифракција, Ерстедов оглед.

### ОДРЕЂИВАЊЕ МАГНЕТНЕ ПЕРМЕАБИЛНОСТИ ВАКУУМА

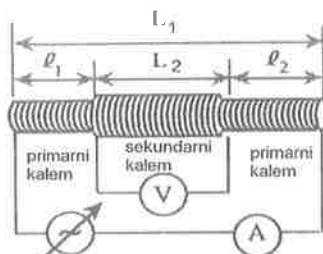
На слици 1 је приказан конструктивно релативно једноставан експеримент, који је реализован у лабораторији за наставна средства физике, у Институту за физику ПМФ-а у Крагујевцу. На калем дужине  $L_1$  који има укупно  $N_1$  намотаја, симетрично је постављен други калем (секундар) дужине  $L_2$ , који има укупан број намотаја  $N_2$ . Дужина секундара је приближно  $L_1/2$ . Ако се кроз примар пропусти електрична струја јачине  $I$ , у њему и око њега се формира магнетно поље индукције  $B$ . Занемарујући ефекте крајева ( $L_1 \gg R_1$ ), ово магнетско поље се може сматрати константним, и дато је формулом [1,2]

$$B = \mu_0 \frac{N_1}{L_1} I, \quad (1)$$

где је  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Н/м магнетска пермеабилност вакуума. Магнетски флуks кроз један намотај секундара је

$$\phi = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S} = \mu_0 \frac{N_1}{L_1} I \cdot S, \quad (2)$$

где је  $S$  површина намотаја другог калема; приближно се може узети да је  $S = \pi R_1^2$ . За укупан магнетски флуks кроз секундар се добија:  $\Phi = N_2 \phi$ .



СЛИКА 13. Опис експеримента: А и V су амперметар и волтметар. Као струјни извор користи се извор наизменичне струје. Карактеристични параметри су:  $N_1 = 440$ ,  $N_2 = 250$ ,  $L_1 = 24.5 \text{ cm}$ ,  $L_2 = 14.5 \text{ cm}$ ,  $l_1 = l_2 = 5 \text{ cm}$ ,  $R_1 = 15.5 \text{ mm}$ . Дебљина жице која је коришћена за намотаје је  $0.5 \text{ mm}$ .

Ако се кроз примар пропусти наизменична струја, мења се укупни магнетски флуks  $\Phi$  у секундару, што доводи до појаве електромагнетне индукције у секундару. Дакле, ако кроз примар протиче наизменична струја чији се интензитет мења по закону

$$I = I_0 \sin \omega t, \quad (3)$$

тада ће у секундару се индуковати електромоторна сила (емс):

$$\varepsilon = \left| \frac{d\Phi}{dt} \right| = \mu_0 N_2 \frac{N_1}{L_1} S \frac{dI}{dt} = \mu_0 N_2 \frac{N_1}{L_1} S I_0 \omega \cos \omega t, \quad (4)$$

или, ако се емс изрази као функција ефективне вредности наизменичне струје добија се

$$\varepsilon_{\text{eff}} = \mu_0 N_2 \frac{N_1}{L_1} S \omega I_{\text{eff}}, \quad (5)$$

где је  $\varepsilon_{\text{eff}}$  ефективна вредност индуковане емс, и  $I_{\text{eff}}$  ефективна вредност наизменичне струје кроз примар. Формула (5) је подесна за цртање функције типа  $\varepsilon_{\text{eff}} = f(I_{\text{eff}})$ , која је линеарна функција, а њен график права линија, чији коефицијент правца зависи од фреквенције  $\omega$ , геометријских карактеристика примара ( $S, L_1$ ) и броја намотаја на оба калема  $N_1$  и  $N_2$ . У нашем експерименту примарни калем је имао 440 густо спакованих навоја од жице дебљине  $0.5 \text{ mm}$ . Дужина примара је  $24.5 \text{ cm}$  и радијус  $15.5 \text{ mm}$ . Секундарни калем је симетрично постављен у односу на средину примара, и имао је укупно 250 намотаја од жице исте дебљине. С обзиром да инструменти који мере наизменичне величине показују управо њихове ефективне вредности, и у овом експерименту амперметар мери ефективну вредност наизменичне струје у примару, а волтметар ефективну вредност напона (емс) у секундару.

## Мерење и рачунање

Кроз примарни калем се пропушта наизменична струја чије су ефективне вредности дате у Табели 1. За крајеве секундарна везан је волтметар који мери индуковани напон (емс) у секундарном калему. Као што се види из Табеле 1 вредност индуковане емс је реда величине од 50 до 450 mV.

ТАБЕЛА 1. Измерене вредности струје у примару и индуковане емс у секундару

Јачина струје $I_{eff} \pm 0.01$ (A)	Индукована емс $e_{eff} \pm 0.001$ (V)
0.30	0.043
0.60	0.085
0.90	0.128
1.20	0.176
1.50	0.219
1.80	0.263
2.10	0.303
2.40	0.350
2.70	0.400
3.00	0.441

Резултати су графички приказани на Слици 2 (тачке на графику). Коришћењем линеарног фита помоћу Excel функције Add Trendline фитовани су експериментални резултати и тако је добијен график функције  $\varepsilon_{eff} = k I_{eff}$  (права линија, Слика 2).

Упоредивањем једначине (5) и једначине праве  $\varepsilon_{eff} = k I_{eff}$ , добија се

$$k = \mu_0 N_2 \frac{N_1}{L_1} S \omega . \quad (6)$$

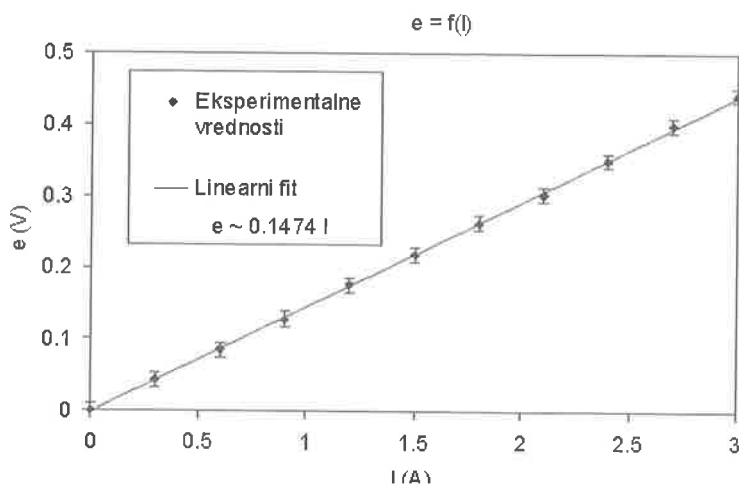
Одређен је коефицијент правца праве, који у овом случају износи 0.1474. Познавајући нумеричку вредност за  $C$ , магнетна пермеабилност вакуума се може израчунати помоћу формуле

$$\mu_0 = k \frac{L_1}{N_1 N_2 S \omega} . \quad (7)$$

Ако се у једначину (7) уврсте нумеричке вредности за параметре описаног експеримента и добијена вредност за  $C$ , израчунава се приближна вредност за магнетску пермеабилност вакуума

$$\mu_0 = 13.76 \cdot 10^{-7} \text{ H/m} .$$

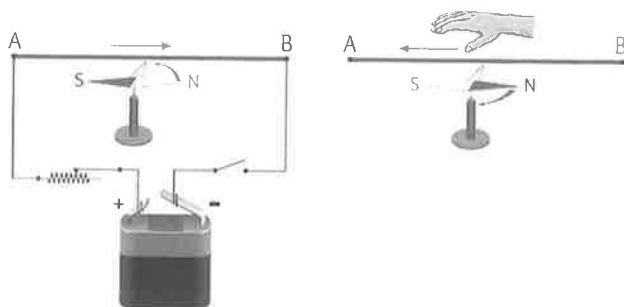
Израчуната вредност одступа (релативна грешка је око 7 %) од табличне вредности за ову константу, која износи  $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ .



СЛИКА 2. Индукована емс у секундару као функција јачине струје у примару. Тачке на графику одговарају експерименталним вредностима из Табеле 1, а права линија је добијена коришћењем линеарног фита во је стил за текст објашњења слике.

## ЕРСТЕДОВ ОГЛЕД

Дански физичар Ханс Кристијан Ерстед 1820. године извео је једноставан оглед тако што је поставио струјни проводник изнад магнетне игле која показује правац север-југ тако да је магнетна игла била паралелна са струјним проводником. Када је кроз струјни проводник пропустио струју запазио је да је магнетна игла скренула за неки угао. Смер и угао скретања зависе од јачине струје у проводнику и од узајамног положаја магнетне игле и струјног проводника. Тиме је први пут довео у везу електричну струју и магнетно поље.



СЛИКА 3: Ерстедов оглед.

*Задатак за наставнике и ученике:* Од материјала понуђеног у коплет-кутији направити Ерстедов оглед. Саставити струјно коло као на слици 3. Дискутовати како скретање игле зависи од јачине струје. Шта ће се догодити ако променимо смер струје, мењајући везе на половима батерије?

За одређивање смера скретања магнетне игле важи правило десне руке: ако се шака десне руке држи изнад проводника са прстима испруженим у смеру протицања електричне струје тако да је длан окренут према проводнику, палац показује смер скретања северног пола магнетне игле.

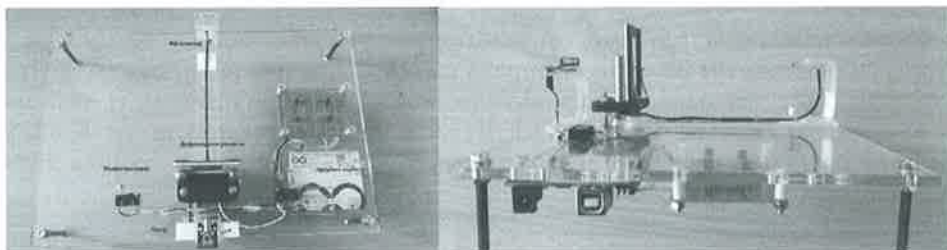
## ДИГИТАЛНИ ДИФРАКОМЕТАР

Дифракција светлости се у школи изучава користећи ласер и дифракциону решетку. Простирањем ласерске светлости кроз дифракциону решетку на екрану (зиду) формира се дифракциона слика, скуп светлих тачака, односно централни и периферни максимума.

Ако светлосни талас, таласне дужине  $\lambda$ , пада на дифракциону решетку константе  $d$ , услов за формирање дифракционих максимума је

$$d \sin \theta = m \lambda, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (8)$$

где је  $\theta$  угао под којим се уочава максимум у односу на осу екрана. Да би се одредио угао, неопходно је измерити растојање екрана до решетке и растојање максимума од осе екрана. На основу тога може да се одреди таласна дужина светлости, уколико је позната константа решетке. То је све што ђаци могу да одраде у оквиру те вежбе на часу примењујући већ познат метод. У изучавању дифракције, пожељно је измерити и интензитете максимума, њихове ширине, као и међусобна растојања. За снимање дифракционе слике направљено је наставно учило – дигитални дифракометар, које је приказано на слици 4.

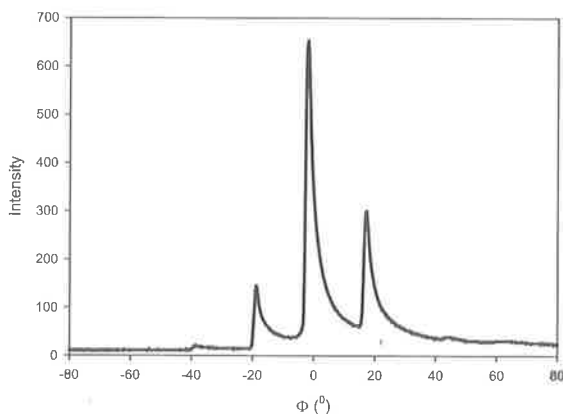


СЛИКА 4. Дигитални дифракометар.

Дифракометар се састоји од постоља на коме се налазе дифракциона решетка, ардуино картица, ласер, фотосензор постављен на краку осе мотора једносмерне струје. У ардуино картици је унет програмски код, који омогућује следеће кораке: укључи се ласерски извор; носач фотосензора се помери до левог микропрекидача, а затим ротира удесно; при ротацији носача удесно снима се напон на фотосензору, који је пропорционалан интензитету ласерске светлости; подаци интензитета светлости у зависности од положаја фотосензора (угла) бележе на рачунар и као



резултат добија се графички приказ дифракционе слике. Угаона резолуција дифрактометра је  $\Delta\phi = 0.20$ . На слици 5 је приказана дифракциона слика.



СЛИКА 5. Дифракциона слика.

Дифрактометар, који је представљен у раду, омогућује да се веома брзо и ефикасно прикаже дифракциона слика на екрану рачунара; да се сниме дифракционе слике дифракционих решетки различитих константи; може се снимити слика светлости кроз један прорез, а и одредити индекс преламања средине кроз коју се простира светлост.

## ХАЈЗЕНБЕРГОВЕ РЕЛАЦИЈЕ НЕОДРЕЂЕНОСТИ

У експериментима као што су Комптоново расејање фотона, Девисонов и Цермеров експеримент расејања електрона на површини кристал и многим другим експериментима, показано је да природа честица у микросвету дуална, тј. таласно-корпускуларна. Павећи аналогију са дуалном природом светлости, де Брољ је дуализам светлости проширио и на честице, придружујући свакој честици талас окарактерисан таласном дужином

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (9)$$

Микросистеми састављени од микрочестица се не могу описати законима класичне механике. У Њутновој нерелативистичкој механици стање класичне честице се може описати помоћу координате  $\vec{r}(x, y, z)$  и импулса  $\vec{p}(p_x, p_y, p_z)$ . Притом се имплицитно подразумева да можемо, до апсолутне грешке мерења, да познајемо просторне координате и импулсе класичних честица. Грешке при одређивању координате,  $\Delta x$ , и импулса,  $\Delta p_x$ , су међусобно независне и у класичној механици могуће је у сваком тренутку, до тачности мерења, одредити координату и импулс честице.

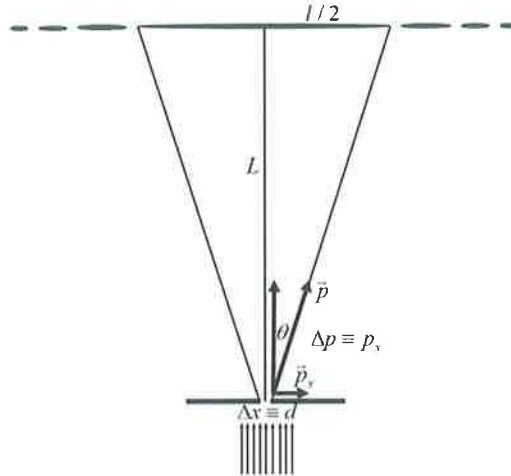
Микросистеми који укључују процесе на атомском и субатомском нивоу се сасвим другачије понашају од класичних система. На атомским скалама долази до испољавања таласних особина микрочестица. Талас се не може тачно лоцирати када се ради о растојањима унутар једне таласне дужине, при чему је  $\Delta x \approx \lambda$ . При интеракцији микрочестице, којој можемо придружити импулс користећи де Бројеву релацију, максималан импулс који честица може предати је једнак њеном укупном импулсу. Како нема начина да се утврди о ком делу импулса се заправо ради у конкретној интеракцији, можемо рећи да је неодређеност импулса

$$\Delta p \approx \frac{h}{\lambda}. \quad (10)$$

Множењем неодређености координате  $\Delta x$  и импулса  $\Delta p$  добија се релација  $\Delta x \Delta p \approx h$ . Хајзенберг је дошао до релација неодређености у облику:

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2} \quad (11)$$

Хајзенбергове релације неодређености које су последица дуалне природе материје се могу демонстрирати и проверити на једноставном експерименту. Уколико ласерску светлост пропуштамо кроз прорез променљиве ширине, на удаљеном екрану ће се добити дифракциона слика светлости. Прорез се може направити користећи ивице жилета, при чему је жилете могуће учврстити на носач. Притом се растојање између жилета, тј. ширина прореза може смањивати помоћу микрометарског завртња, што омогућава познавање ширине прореза.



СЛИКА 6. Шема експеримента дифракције ласерске светлости.

Смањивањем ширине прореза, ширина централног максимума ће расти, услед релација неодређености. Централни (као и остали) максимум се шири услед неодређености компоненте импулса фотона у правцу ширења максимума. Неодређеност компоненте импулса расте смањивањем ширине прореза, тј. смањивањем неодређености координате. Шема експеримента је приказана на слици 6.

У случају Фраунхофереове дифракције, тј. када је екран веома удаљен у односу на ширину прореза, можес користити апроксимација  $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$ . Са слике 6 следи:

$$\Delta p \equiv p_x = p \sin \theta, \quad \tan \theta = \frac{l}{2L} \quad \text{и} \quad p = \frac{h}{\lambda} \quad (12)$$

$$\Delta p = \frac{h}{\lambda} \frac{l}{2L}. \quad (13)$$

Заменом у Хаизенбергову релацију неодређености, добија се неједнакост:

$$\frac{ld}{L} \geq \lambda, \quad (14)$$

где је  $\lambda = h / 2\pi$ . Мерењем величина у релацији (14) Хајзенбергове релације неодређености се могу једноставно проверити.

### ЈОНИЗАЦИОНА КОМОРА ОД КОНЗЕРВЕ ЗА КАФУ

Детектор од кутије за кафу је веома једноставна јонизациона комора која функционише на батерију, где се ваздух користи као медиум за детекцију зрачења. Убрзавајући напон је мањи од 9V и сигнал који се мери се појачава Дарлингтон транзисторима. Услед једноставне конструкције, детектор од конзерве за кафу се може конструисати за један до два часа од стране наставника или ученика. Прецизност је ограничена на радиоактивне изворе средње јачине, који су потребни да се достигну смисаона читавања. Временска константа овог детектора је реда секунде, тако да овај уређај може радити само у интегралном режиму.

Јонизациона комора ради као пропорционални детектор код кога је висина одзивног импулса пропорционална енергији и интензитету зрачења које је сигнал проузроковало. Како се у овом експерименту као медиум користи ваздух, електронско јонски парови који се формирају јонизационим зрачењем брзо се рекомбинују унутар коморе. Молекули кисеоника имају тенденцију да формирају негативне јоне припајајући слободне електроне [6]. Формирани позитивни јони опстају нешто дуже унутар коморе. Ова чињеница је искоришћена у овом експерименту и на централну электроду се доводи негативан потенцијал. Пракса је да се врши колекција електрона, који брже дрифтују па је одзивно време детектора је доста мање. Како се електрони креирани у ваздуху везују за молекуле кисеоника у близини њиховог настанка и није их могуће колектовати, вршимо колекцију позитивних јона. Овај процес је доста спорији и временска константа коморе у оваквој поставци је реда секунде. Због тога ова комора не може радити у импулсном режиму, већ само у интегралном.

Од приложеног материјала треба саставити јонизациону комору чија је шема приказана на слици 7. Електронске компоненте залемити унутар саме конзерве, у непосредној близини места формирања сигнала, због чега није потребно вршити предпојачање. Водити рачуна о поларитету ножица транзистора. Упаковати елементе унутар конзерве, тако да не долази до кратког споја. Мерну жицу директно залемити за базу транзистора. Између мерних тачака влада извесни равнотежни напон, који ће се мењати у зависности од количине слободног наелектрисања које се колектује унутар коморе.



СЛИКА 7. Фотографија и блок схема повезивања електронике јонизационе коморе.

Као проблем се могу поставити питања колико је укупно појачање читавог кола, тј. која је струја потребна на сензорној жици како би се очитао напон од 1V? Претпоставити факторе појачања за  $V_{BC517}=10k$  и  $V_{BC516}=100k$ .

Озрачити детектор са радиоактивним извором. Активност извора се излучује у  $4\pi$  геометрији. На зидовима конзерве долази до рефлексије и апсорпције зрачења. Нпр. бета честица извора  $^{90}\text{Sr}$  у просеку генерише 50 електронско-јонских парова у ваздуху. Извршити калибрацију детектора за извесну геометрију озрачивања.

## ЛИТЕРАТУРА

1. М. Распоповић, Д. Капор, М. Шкрињар, (1998), Физика за VI разред гимназије. Завод за уџбенике и наставна средства Београд
2. Д. Николић, (2013), Експерименти са дифракцијом светлости и њихов значај за физику, ПМФ Ниш
3. Д. М. Ивановић и В.М. Вучић, (1980) Физика II – електромагнетика и оптика- Научна књига, Београд.
4. Калашњиков С. Г., (1977) Електрицитет (превод: В. Бабовић), Наука, Москва
5. В. Цвјетковић, И. Живић, В. Бабовић, (1993) Опити из електромагнетизма и оптике, ПМФ, Крагујевац.
6. G. Knoll, (2000) Radiation detection and measurement, John Wiley and Sons, US.

## Physics experiments in schools

Милан Ковачевић, Ненад Стевановић и Владимир М. Марковић

*Faculty of Science, University of Kragujevac*

Abstract: In this paper school experiments are presented. Most of them can be made by teachers in schools. These experiments are simple and can demonstrate some of fundamental physics processes. In one experiment magnetic permeability of vacuum can be determined, in other diffraction pattern can be examined. Experiment that shows Heisenberg uncertainty principle is presented. We would like to emphasize importance for teachers to realize Oersted experiment in school class, when magnetic field is studied. In work with talented students we would like to present project regarded to ionizing irradiation in which is shown how to build coffee can ionization chamber.