



ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ЗАДАТАК

Експериментални задатак 1

Одређивање магнетне пермеабилности вакуума [12п]

1. УВОД

У овом експерименту два соленоида су густо намотана један преко другог и може се сматрати да су попречни пресеци оба намотаја исти и пречника R (једнаком спољњем пречнику цеви на коју су намотане). Унутрашњи, дужи соленоид, дужине L_1 има $N_1 = 450$ навоја, а спољни, краћи калем има $N_2 = 300$ намотаја, слика. Истражићемо ефекат електромагнетне индукције, тако што ће дужи соленоид играти улогу примара, кроз који ћемо пропуштати наизменичну струју ефективне вредности I_{eff} , док ће краћи соленоид у овом случају бити секундар у празном ходу у коме ће се индуковати електромоторна сила ефективне вредности $\mathcal{E}_{eff}$.

Извор наизменичне струје је продужни кабал са прекидачем на вашем столу, али немојте бринути, није у питању извор напајања градске мреже напона 230 V, већ је у питању трансформисан напон чија је ефективна вредност око 6 V. Исти извор напајања користе више такмичара, због чега је потребно да водите рачуна да не направите кратки спој и више такмичара оставите без извора напајања. Како би ту ситуацију предупредили, ваша апаратура је осигурана осигурачем. Водите рачуна како поступате са вашом експерименталном поставком, јер прегоривањем овог осигурача остајете без извора наизменичне струје и нећете бити у могућности да даље спроводите мерења. На продужном кабу се налази прекидач, којим искључујете довод извора. Кориситите овај прекидач ОБАВЕЗНО, и када рукујете апаратуром, он мора бити искључен, а укључујете га кратко док вршите мерења. Немојте да вас збунује што лампица у прекидачу не светли када укључите продужни кабал, јер је она дизајнирана за напон од 230 V, а не 6 V. По везивању кола, можете укључити прекидач и вршити мерења. Немојте остављати затворено коло предуго, може вам се загрејати апаратура, што може довести до прегоривања осигурача. Жице које су укључене у продужни кабал НЕ СМЕТЕ дирати, искључивати и/или укључивати друге жице, то води ка дисквалификацији, јер можете угрозити извор напајања и тиме и друге онемогућити да наставе са радом. На продужном каблу САМО користите прекидач да укључите и убрзо потом искључите извор напајања.

Како би сте мењали струју кроз калем, на располагању су вам отпорници, чијим везивањем у коло примара можете мењати вредност јачине струје. Реализацију електричног кола можете извршити на протоплочи која вам је на располагању.

Задатак 1. [1,5п] Известити израз за ефективну вредност индуковане електромоторне силе на секундару у зависности од ефективне вредности струје која протиче кроз примар.

Задатак 2. [5п] Извршити неопходна мерења зависности из претходног дела задатка и графички представити резултате. Са графика одредити релевантне величине са припадајућим грешкама. Број мерења које морате остварити за цртање графика је минимално десет. Користећи мерне инструменте који су вам на располагању извршите сва друга неопходна мерења и искористите релевантне величине скинуте са графика како би одредили вредност магнетне пермеабилности вакуума са припадајућом грешком.

Задатак 3. [5,5п] На располагању вам је гвоздена шипка чију релативну магнетну пермеабилност треба одредити. Извршити мерења зависности ефективне вредности индукованог напона секундара од ефективне вредности јачине електричне струје примара (минимум 10), графички представити резултате и са графика одредити релевантне величине са припадајућим грешкама. Користећи мерне инструменте који су вам на располагању извршите сва друга неопходна мерења и искористите релевантне величине скинуте са графика како би одредили вредност релативне магнетне пермеабилности гвоздене шипке са припадајућом грешком.



**ИЗБОРНО ТАКМИЧЕЊЕ УЧЕНИКА СРЕДЊИХ ШКОЛА
ШКОЛСКА 2023/2024 ГОДИНА.**



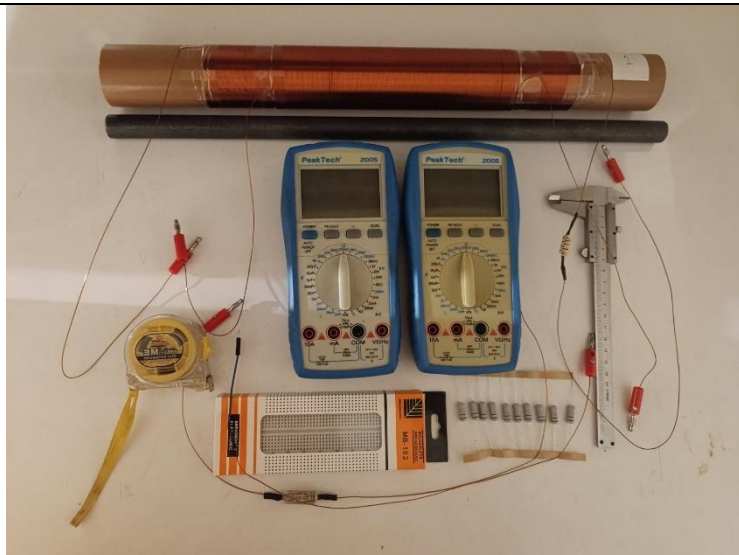
**Друштво физичара Србије и
Министарство просвете Републике Србије**

**20. и 21. мај 2025.
Београд**

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ЗАДАТАК

Напомена. Сваки резултат изразити са припадајућом грешком, полазећи од грешки директно мерених величина. За грешке мерења струје и напона узети вредност најмањег подеока. Експлицитно написати у раду вредности грешки величина које сте мерили.

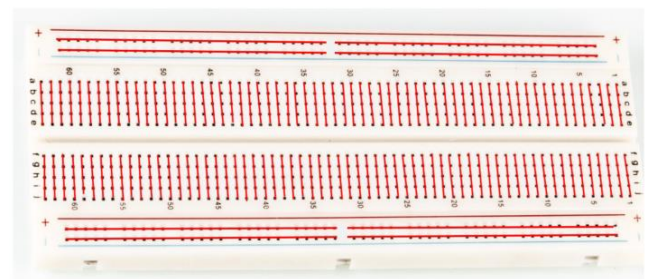
Извесни инструменти омогућавају директно мерење коефицијента самоиндукције калема, што се може искористити за одређивање тражених величина. Тајј метод у овом експерименту није дозвољен и неће се бодовати.



У овом експерименталном задатку на располагању вам је

- извор наизменичног напона од око 6 V – продужни кабал са прекидачем
- намотани калемови ($N_1 = 450$, $N_2 = 300$)
- два унимера за мерење струје и напона
- десет отпорника
- протоплоча
- конекторски каболови
- метална шипка
- метар
- нонијус (на централном столу)

Протоплоча је корисно средство за изградњу кола без лемљења. На њој се налазе рупице у које се убадају електронске компоненте и краткоспојници. Све рупице које су спојене линијама као на слици, су електрично повезане са доње стране плоче. Због тога је могуће повезати многе каблове један с другим без лемљења.



Слика. Шема повезаности контакта на протоплочи

Свим такмичарима желимо успешан рад !

Задатак припремили и експеримент реализовали: Проф. др Владимир Марковић, ПМФ Крагујевац, Проф. др Имре Гут, Департман за физику, Нови Сад и Проф. др Милан Ковачевић, ПМФ Крагујевац

Рецензент: Проф. др Ненад Стевановић, ПМФ Крагујевац

Председник комисије: Проф. др Имре Гут, Департман за физику, Нови Сад



ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ЗАДАТАК

РЕШЕЊЕ

Задатак 1 [1,5п].

Индукција магнетног поља у соленоиду се може одредити Амперовим законом

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I,$$

уз претпоставку да је поље ван соленоида занемарљиво, а унутар соленоида константно:

$$B = \frac{\mu_0 N_1 I}{L_1} \text{ [0,5п]},$$

где је N_1 број намотаја у соленоиду, L_1 дужина соленоида, а I јачина струје која протиче кроз калемове. Магнетни флуks кроз N_2 намотаја другог соленоида је

$$\Phi = \mu_0 \frac{N_1 N_2}{L_1} S I \text{ [0,5п]},$$

где је S попречни пресек калемова. Према Фарадејевом закону, електромоторна сила у другом соленоиду износи

$$\varepsilon = \left| \frac{d\Phi}{dt} \right| = \mu_0 \frac{N_1 N_2}{L_1} S \frac{dI}{dt}.$$

Ако се кроз примар пропусти наизменична струја

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

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

$$\varepsilon(t) = \mu_0 \frac{N_1 N_2}{L_1} S \omega I_0 \cos(\omega t).$$

Индукована електромоторна сила у секундару је наизменична и има исту фреквенцу као струја у првом, а њена ефективна вредност је

$$\varepsilon_{eff} = \mu_0 \frac{N_1 N_2}{L_1} S \omega I_{eff} \text{ [0,5п]},$$

где је I_{eff} ефективна вредност струје у примару.

Задатак 2 [5п].

Измерене вредности I_{eff} и ε_{eff} су приказане у Табели 1 и графички представљене [2п].

Табела 1. [1,5п]

I (mA)	U (mV)
184,0	63,8
169,8	58,9
160,3	55,6
150,8	52,4
142,3	49,4
134,9	46,8
128,2	44,5
122,1	42,4
116,5	40,4
111,4	38,6
106,3	36,8
102,3	35,5





ИЗБОРНО ТАКМИЧЕЊЕ УЧЕНИКА СРЕДЊИХ ШКОЛА ШКОЛСКА 2023/2024 ГОДИНА.



Друштво физичара Србије и
Министарство просвете Републике Србије

20. и 21. мај 2025.
Београд

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ЗАДАТАК

Са графика се може одредити коефицијент правца повлачећи праву кроз две тачке $A(104, 36)$ и $B(176, 61)$ релацијом $k = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}$, на основу које, заменом бројних вредности се добија $k = 0,3472 \frac{V}{A}$. Грешка волтметра износи $\Delta U = 0,1 \text{ mV}$ [0,1п], док је грешка читавања амперметра $\Delta I = 0,1 \text{ mA}$ [0,1п], на основу чега је грешка коефицијента правца $\Delta k = k \left(\frac{\Delta I}{x_B - x_A} + \frac{\Delta U}{y_B - y_A} \right)$ [0,2п], тј. $\Delta k = 0,0037 \approx 0,004 \frac{V}{A}$ (за грешке напона и јачине електричне струје узети грешке уређаја или најмањи подеок графика, у зависности од тога које вредности су веће). Коначно резултат пишемо као $k = (0,35 \pm 0,004) \frac{V}{A}$ [0,2п], $\delta_k = \frac{\Delta k}{k} \cdot 100\% \approx 2\%$ [0,1п].

Из вредности коефицијента правца праве чији је израз $k = \mu_0 \frac{N_1 N_2}{L_1} S \omega$ може се одредити магнетна пермеабилност ваздуха $\mu_0 = \frac{k L_1}{N_1 N_2 S \omega}$ [0,1п], тј. $\mu_0 = 13,301 \cdot 10^{-7} \frac{H}{m}$. Грешка ове физичке величине се може израчунати релацијом $\frac{\Delta \mu_0}{\mu_0} = \frac{\Delta k}{k} + \frac{\Delta L_1}{L_1} + \frac{2 \Delta r}{r}$ [0,2п], где је r полупречник попречног пресека, $r = (2,5 \pm 0,001) \text{ cm}$, одређен мерењем пречника нонијусом $R = (5,00 \pm 0,002) \text{ cm}$ [0,1п], док дужину калема меримо метром $L_1 = (31,8 \pm 0,1) \text{ cm}$ [0,1п] $\Delta \mu_0 \approx 0,03 \cdot 10^{-7} \frac{H}{m}$. Резултат записујемо као $\mu_0 = (13,3 \pm 0,3) \cdot 10^{-7} \frac{H}{m}$, [0,1+0,1п] $\delta \mu_0 \approx 3\%$ [0,1п].

Задатак 3 [5,5п].

Уметањем гвоздене шипке унутар калемова, уводимо материјал са магнетном пермеабилношћу μ_r , али она не испуњава цео попречни пресек, већ само површину $S_2 < S$. Нека је површина испуњена ваздухом S_1 , где је $S = S_1 + S_2$. Индукција магнетног поља је

- у зони материјала $B_2 = \mu \frac{N_1}{L_1} I(t)$, где је $\mu = \mu_0 \mu_r$
- у зони без материјала (ваздух) $B_1 = \mu_0 \frac{N_1}{L_1} I(t)$.

Укупни флукс кроз други соленоид је

$$\Phi(t) = \mu_0 \frac{N_1 N_2}{L_1} I(t) (S_1 + \mu_r S_2) \text{ [0,4п]},$$

а индукована електромоторна сила

$$\varepsilon(t) = \left| \frac{d\Phi}{dt} \right| = \mu_0 \frac{N_1 N_2}{L_1} (S_1 + \mu_r S_2) \frac{dI}{dt},$$

тј.

$$\varepsilon_{eff} = \mu_0 \frac{N_1 N_2}{L_1} (S + (\mu_r - 1) S_2) \omega I_{eff}.$$

Трансформишимо израз у облик

$$\varepsilon_{eff} = \mu_0 \frac{N_1 N_2}{L_1} S \omega (1 + (\mu_r - 1) \frac{S_2}{S}) I_{eff},$$

Израз на десној страни једнакости испред заграде не представља ништа друго до коефицијент правца праве из претходног задатка $k = \mu_0 \frac{N_1 N_2}{L_1} S \omega$, те можемо писати $\varepsilon_{eff} = k (1 + (\mu_r - 1) \frac{S_2}{S}) I_{eff}$ [0,9п] (уколико је изведен претходни израз у коме није замењено k дати исто бодова).

Измерене вредности I_{eff} и ε_{eff} за овај задатак су приказане у Табели 2.

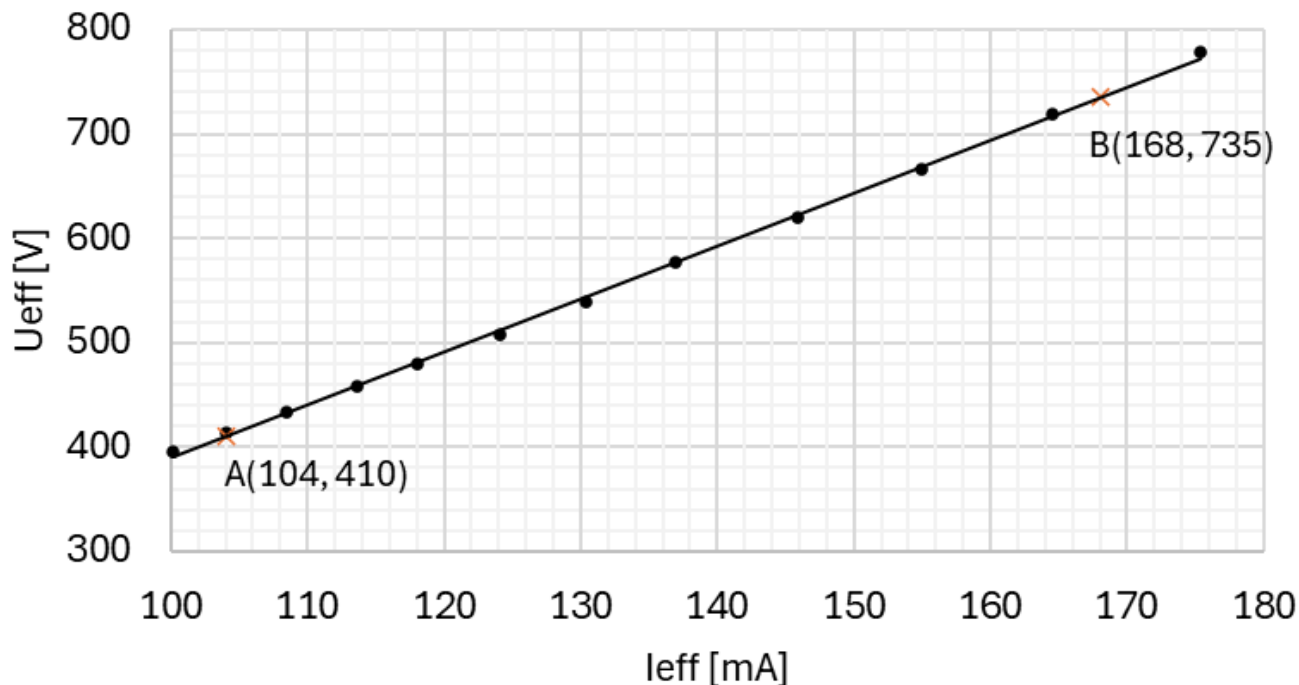
Табела 2 [1п]

I (mA)	U (mV)
175,3	778
164,5	719
155,0	666
145,9	620
137,0	577
130,4	540
124,1	508
118,0	480
113,6	458
108,5	433
104,1	414
100,2	395



ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ЗАДАТАК

График зависности индуковане електромоторне
силе од јачине струје примара са језгром



Са графика **[1,5п]** се може одредити коефицијент правца повлачећи праву кроз две тачке $A'(112, 450)$ и $B'(168, 735)$ релацијом $k' = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}$, на основу које, заменом бројних вредности се добија $k' = 5,078 \frac{V}{A}$. Грешка волтметра износи $\Delta U = 1 \text{ mV}$ **[0,05п]**, док је грешка очитавања амперметра $\Delta I = 0,1 \text{ mA}$ **[0,05п]**, на основу чега је грешка коефицијента правца $\Delta k' = k' \left(\frac{2\Delta I}{x_B - x_A} + \frac{2\Delta U}{y_B - y_A} \right)$, тј. $\Delta k' = 0,036 \approx 0,04 \frac{V}{A}$ (за грешке напона и јачине електричне струје узети грешке уређаја или најмањи подеок графика, у зависности од тога које вредности су веће). Коначно резултат пишемо као $k' = (5,09 \pm 0,04) \frac{V}{A}$, **[0,1п]** $\delta k' = \frac{\Delta k'}{k'}$. $100\% \approx 1\%$ **[0,1п]**.

Из вредности коефицијента правца праве чији је израз $k' = k(1 + (\mu_r - 1) \frac{S_2}{S})$ ($k' = \mu_0 \frac{N_1 N_2}{L_1} S \omega (1 + (\mu_r - 1) \frac{S_2}{S})$) може се одредити релативна магнетна пермеабилност меког гвожђа $\mu_r = 1 + \frac{S}{S_2} \left(\frac{k'}{k} - 1 \right)$ **[0,2п]**, тј. $\mu_r = 86,156$. Грешка ове физичке величине се може израчунати релацијом $\Delta \mu_r = \frac{S}{S_2} \left(2(\delta_r + \delta_{r'}) \left(\frac{k'}{k} - 1 \right) + \frac{k'}{k} (\delta_k + \delta_{k'}) \right)$ **[0,6п]**, $(\Delta \mu_r = \frac{1}{S_2^2} \left(\frac{k'}{k} - 1 \right) (S_2 \Delta S + S \Delta S_2) + \frac{S}{S_2 k^2} (k \Delta k' + k' \Delta k))$ где су δ_r и $\delta_{r'}$ релативне грешке полупречника попречних пресека S и S_2 , где је r' полупречник гвоздене шипке, $r' = (1 \pm 0,01) \text{ cm}$ добијен на основу мерења пречника нонијусом $R' = (2 \pm 0,02) \text{ cm}$ **[0,1п]**, $\Delta \mu_r \approx 3$. Резултат записујемо $\mu_r = (86 \pm 2)$ **[0,3+0,1п]**, $\delta \mu_r = 3\%$ **[0,1п]**.