

**ДРУШТВО ФИЗИЧАРА СРБИЈЕ**



# **ЗБОРНИК**

**предавања, програма радионица,  
усмених излагања, постер  
радова и презентација  
са XXIX Републичког семинара  
о настави физике**

**БРАЊЕ – 2011**

*Милошевић*

**ДРУШТВО ФИЗИЧАРА СРБИЈЕ**



# **ЗБОРНИК**

**предавања, програма радионица,  
усмених излагања, постер  
радова и презентација  
са XXIX Републичког семинара  
о настави физике**

**БРАЊЕ - 2011**

# ОРГАНИЗАТОР СЕМИНАРА

## Друштво физичара Србије

### *Стручни одбор:*

1. Јаблан Дојчиловић
2. Иван Дојчиновић
3. Вера Бојовић
4. Милан Ковачевић
5. Душанка Обадовић
6. Татјана Павела
7. Снежана Немеш
8. Славољуб Митић

### *Организациони одбор:*

1. Илија Савић
2. Дарко Танасковић
3. Милица Павков Хрвојевић
4. Татјана Марковић Топаловић
5. Слађана Николић
6. Саша Ивковић
7. Весна Вучић
8. Предраг Давидовић
9. Никола Гркић

### *Уредници зборника:*

Јаблан Дојчиловић  
Иван Дојчиновић

### *Технички уредник:*

Душан Ћасић

### *Издавач:*

Друштво физичара Србије

Тираж: 220 примерака

Штампа: „ТОН ПЛУС“, Нови Београд

## Лабораторијске вежбе из механике

Милан С. Ковачевић, Бранислав Јовановић

*Институт за физику, ПМФ у Крагујевцу,  
Школска управа у Крагујевцу*

**Апстракт.** Лабораторијске вежбе из механике према плану и програму за први разред гимназије су тема једне од радионица Републичког семинара о настави физике. Лабораторијски рад је укратко описан са аспеката учења физике и са аспекта физике као науке. Истакнути су специфични доприноси експерименталног истраживања у настави физике у школи личном развоју способности ученика и квалитету упознавања физике као науке. Са аспекта физике описани су специфични поступци експерименталног мерења у функцији провере основних механичких законитости датих наставним програмом.

### УВОД

У настави физике данас експериментално испитивање физичких појава представља темељ и начин стицања знања и искуства. Како о свету, тако и о експерименталном истраживању света. Учење је и интерпретација нових искустава, стечених физичким огледом или новим информацијама, помоћу аналогича са сопственим претходно развијеним структурама знања. Експериментатор је у ситуацији да комбинује, осмишљава оглед, изводи закључке, интерпретира функционалне односе, математички сажима узајамне везе, мења услове, контролише процесе, проверава исправност резултата и др. Од конкретних експерименталних мерења и опажања, преко анализирања, апстраховања, конструисања претпоставки, моделовања, редуковања итд. ка апстрактном мишљењу. Огледи се користе у контексту проучавања, провере одређених законитости и др. Лабораторијске вежбе у плану и програму наставе и учења физике у првом разреду гимназија, служе за потврђивање фундаменталних законитости у механици 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, 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.

## О МЕРЕЊУ

Основна снага поузданости научног метода огледа се у могућности појединачног издвајања мерљивих својстава тела или појава, физичких величина, и налажење стабилних односа између измерених вредности различитих величина.

Према методологији мерења физичке величине се сврставају у две групе: адитивне, рецимо маса тела, дужина тела и неадитивне, као што су температура тела, модул еластичности и друге.

Чешће него у другим областима, у физици су прецизно дефинисани поступци и прецизна мерења водили великим открићима. Утврђивање односа између физичких величина помоћу експеримената – експериментални метод истраживања, први је увео **Galileo Galilei** (1564-1642).

1960. Интернационални комитет установио је сет стандарда за основне физичке величине-SI (Système International). Основне јединице за дужину, масу и време су метар<sup>1</sup> (m), килограм (kg) и секунда (s). Величине, зависне од основних, се називају изведеним, рецимо, брзина кретања тела, убрзање.

### Дужина

Последње редеофинисање стандарда дужине извршено је у октобру 1983, када је метар одређен као растојање које прође светлост у вакууму за време 1/299 792 458 секунди. Као последица последњег, усвојено је да је брзина светлости у вакууму тачно 299 792 458 m/s. Дакле, дефиниција метра исправна је у целом универзуму, ако је брзина светлости свуда иста.

### Маса

Основна SI јединица масе-килограм (kg), дефинише се као маса цилиндра од легуре платине и иридијума. Цилиндар има исту висину и дијаметар, 39 mm. Чува се у Међународном бироу за тегове и мере у Севру, Француска. Стандарда масе је установљен 1887. и није мењан јер је легура врло постојана.

### Време

Први пут је стандард времена дефинисан као 1/86400 део трајања средњег сунчаног дана 1900-те године. Трајање средњег сунчевог дана није довољно посто-

---

<sup>1</sup> У Француској је метар, као стандардна јединица за дужину, уведен 1799.

јано, ротација Земље око своје осе благо варира са временом. 1967. је секунда редефинисана у циљу постизања веће прецизности – трајање секунде је одређено помоћу уређаја познатог као атомски сат који мери фреквенцију зрачења атома цезијума ( $\text{Cs-133}$ ). Једна секунда је дефинисана као трајање 9 192 631 770 периода осцилација зрачења атома цезијума.

### Димензиона анализа

Реч димензија има посебно значење у физици и описује физичку природу величине. Удаљеност се може изражавати у различитим јединицама, али има једну димензију-дужину. Уобичајене ознаке димензија: дужина, маса и време су  $L$ ,  $M$  и  $T$ , респективно. Изведене величине се изражавају преко других и имају своју димензију. Израз помоћу кога се израчунава интензитет брзине је количник пута,  $s$  и времена,  $t$  ( $v = s/t$ ). Димензија изведене величине се одређује помоћу израза који повезује величину с другим (основним) величинама, с јединичним коефицијентом пропорционалности. На пр. димензија брзине је:  $L/T = LT^{-1}$ .

### Мерење

Мерење је експериментални поступак који број, меру, придружује вредности физичке величине. Као резултат мерења адитивне физичке величине, добија се вредност у облику броја која показује колико је пута измерена величина већа или мања од друге величине, чија је вредност установљена као јединична. Обично се мерења деле на директна и посредна. Директна мерења се обављају уређајима, помоћу којих се мери испитивана величина. Рецимо, маса оловке се мери теразијама, трајање школског часа часовником, дужина штапа-лењиром. Ове исте величине се у другим случајевима могу одредити само посредним мерењима-путем израчунавања вредности помоћу израза који их повезују са другим величинама. Тако се одређује растојање између Земље и Месеца, маса Земље и др. Мерење густине тела на основу мерења масе и запремине, такође припада посредним мерењима.

За мерење, нпр., растојања између две тачке потребно је имати стандардну јединицу дужине-метар. Ако је растојање тачно 25m, значи да је 25 пута дуже од јединичне дужине. Поред бројне вредности величине, важно је писати и мерну јединицу, јер поред метра за дужину постоје и друге јединице, километар, центиметар итд. Еталон стандардне јединице физичке величине треба да је приступачан и поуздан при мерењима-рецимо, са временски стабилним својствима важним за резултат мерења у контролисаним условима.

Мерне методологије су специфичне, зависно од природе величине, да ли су величине адитивне или не и тд.

### Грешка резултата мерења

Квалитет мерења одређује тачност резултата. Код директних мерења тачност се утврђује на основу анализе поступка, апаратуре и резултата поновљених мерења. Тачност посредних мерења зависи још и од структуре формула које повезују директно мерене величине и тражене.

Грешке мерења се деле на грешке које настају због ограничене резолуције мерних инструмената (настаје услед неједнакости кракова ваге за мерење масе

тела, хабања покретних делова инструмента), случајне (грешка читања показивања скале инструмента, утицај влажности ваздуха) и систематске (настају услед неисправности инструмента или поступка мерења).

Апсолутна грешка мерења,  $\Delta x$  је апсолутна вредност разлике између измерене,  $X$  и стварне вредности физичке величине,  $x$  ( $\Delta x = |X - x|$ ). Пошто стварна вредност није позната, у пракси се апсолутна грешка процењује тако да није мања од стварне. При појединачном директном мерењу, граница апсолутне грешке се одређује на основу карактеристика мерног прибора. Ако се измери дужина оловке,  $l$  помоћу лењира са милиметарском скалом, и добије 142mm, за грешку мерења се узима 0,5 mm. Дакле, резултат се изражава у облику:  $l = (142,0 \pm 0,5)$  mm.

Грешке које садрже више од једне „значајне“ цифре своде се на једну. Резултат се заокружује на, према позицији, најзначајнију цифру, применом правила о заокруживању бројева. Поред апсолутне грешке често је важно знати релативну грешку,  $\delta x$  ( $\delta x = \Delta x / x$ ).

Основне метролошке карактеристике мерних инструмената које показују квалитет мерења:

- Опсег мерења – опсег вредности величине коју треба мерити
- Осетљивост мерног инструмента – количник промене у показивању мерног инструмента и одговарајуће промене мерене величине. На пр. код терезија, ако се при оптерећењу таса тегом 1mg, показивање на скали промени за 1 осетљивост је:  $S = 1$  (подеок) / mg .
- Тачност мерног инструмента – најмања вредност мерене величине која се може очитати на скали. То је вредност величине која одговара најмањем подеоку, рецимо на скали лењира, на мензури, динамометру и тд.
- Класа тачности – класификациона карактеристика мерних инструмената.

### Обрада резултата мерења

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 план 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.

### ОПИС ЛАБОРАТОРИЈСКИХ ВЕЖБИ

Листа лабораторијских вежби:

- E1: Проучавање убрзаног кретања тела помоћу Атвудове машине
- E2: Провера закона одржања енергије у механици
- E3: Одређивање коефицијента статичког трења помоћу стрме равни
- E4: Провера основног закона динамике ротације помоћу Обербековог точка
- E5: Провера другог Њутновог закона.

Провера законитости механичких појава се може урадити на много начина, нпр., убрзано кретање тела се може проучавати без Атвудове машине, помоћу стрме равни итд. За сваку вежбу су дате основне напомене које се односе на циљеве експеримента, потребну апаратуру, физичку појаву или закон који се изучава, са питањима за дискусију. 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.

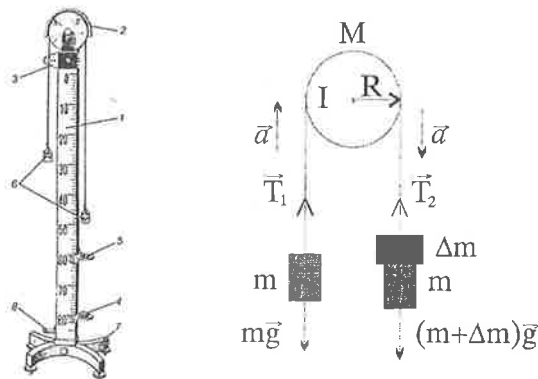
### Е1: Проучавање убрзаног кретања помоћу Атвудове машине

*Циљеви експеримента:*

- провера кинематичких закона кретања  $h = vt$  и  $h = at^2 / 2$ ;
- табеларно и графичко приказивање резултата;
- упознавање са линеарним графиком, интерполацијом резултата мерења и методом најмањих квадрата;
- израчунавање грешки директних мерења;
- упознавање са компјутерским апликацијама за табеларно и графичко приказивање резултата мерења.

*Потребан прибор:* Атвудова машина, метарска трака, хронометар са сензорима.

Атвудова машина је уређај који се често среће у убеницима физике и физичким лабораторијама за анализу разних форми кретања тела. На слици 1 је представљена класична Атвудова машина. Помоћу Атвудове машине проучава се једнако убрзано кретање са и без почетне брзине. Детаљном анализом кретања може се одредити пут, тренутна брзина, убрзање, време у току кога је постигнута тренутна брзина. Наравно, машина се може користити и за низ даљих демонстрација механичког кретања, на пример одређивања брзине код равномерно убрзаног кретања, за проверу закона одржања механичке енергије итд.



СЛИКА 1. Класична Атвудова машина: 1 – дрвени или метални стуб, 2 – точак, 3 – електромагнет за стартовање, 4 – пријемни сточић, 5 – покретни пропусни прстен, 6 – покретни тегови, 7- постолоње, 8 – граничник. Слика десно:  $m_1$  и  $m_2$  – тегови једнаке масе  $\Delta m$  – претег.



Решавањем класичног задатка са Атвудовом машином<sup>2</sup> (Слика 1), помоћу другог Њутновог закона за кретање тегова масе  $m$  и ротацију тачка масе  $M$ , занемарујући масу конца и додатни момент силе трења тачка, добија се формула за убрзање тела:

$$a = \frac{\Delta m}{M / 2 + \Delta m + 2m} g . \quad (1)$$

Очигледно је да је  $a$  мање од убрзања Земљине теже  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ .

*Задатак:* Мерењем времена за које тег прелази различите путеве и цртањем графика типа  $s = f(t^2)$  треба одредити убрзање за различите претеге  $\Delta m$ .

## Е2: Провера закона одржања енергије у механици

*Циљ експеримента:* провера закона одржања механичке енергије,

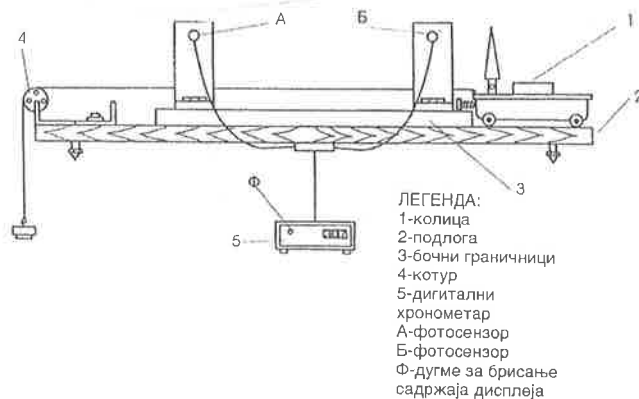
$$\frac{1}{2}mv^2 + mgh = \text{const.}$$

*Потребан прибор:* колица, тег са канапом, метарска трака, дигитални хронометар, додатни тегови.

За проверавање закона одржања механичке енергије користи се систем колица са теговима (Слика 2).

*Задатак:* Треба показати да је смањење потенцијалне енергије тегга, који пада у пољу силе Земљине теже, једнако увећању кинетичке енергије система:

$$\frac{1}{2}(m_k + m_t)v^2 = m_t gh . \quad (2)$$



СЛИКА 2. Колица и тегови помоћу којих се проверава закон одржања механичке енергије.

<sup>2</sup> Два једнака тегга масе  $m$  повезана су канапом који је пребачен преко диска масе  $M$ , полупречника  $R$ . Претег масе  $\Delta m$  налази се на једном од тегова. Треба одредити убрзање тегова са слике 1.

$m_k$  и  $m_t$  су масе колица и тега;  $v$  и  $a$  су брзина и убрзање колица;  $t$  је време кретања колица;  $g$  је убрзање силе Земљине теже;  $h$  је промена висине тега. У тренутку када се тег после падања заустави, колица и тег имају исту брзину. Брзина колица одређује се мерењем времена од тренутка када се тег који је падао зауставио, док колица не пређу задати пут  $s$ , ( $v = s/t$ ). Маса празних колица је  $m_k^0$ . У експерименту се до резултата може доћи и мерењем пута  $h$  и времена  $t$ , после чега се може израчунати убрзање  $a = 2h / t^2$  и упоредити са убрзањем које се добија на основу израза:  $a = m_t g / (m_k + m_t)$ . Може се:

- при сталној маси тега  $m_t$  и дужини пута  $h$ , мењати маса колица  $m_k$  додавањем (одузимањем) тегова;
- при сталним  $m_k$  и  $h$  мењати  $m_t$ ;
- при сталним  $m_t$  и  $m_k$ , мењати  $h$  променом позиције носача фотосензора.

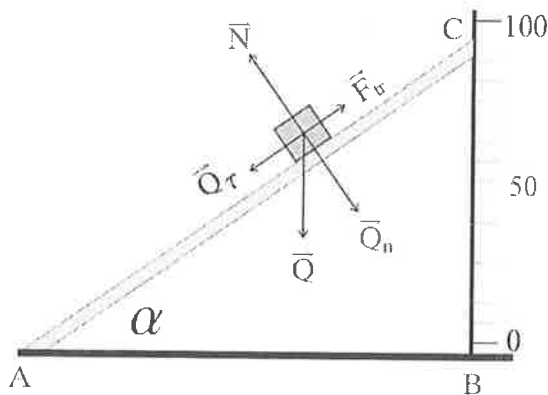
### Е3: Одређивање коефицијента статичког трења помоћу стрме равни

*Циљеви експеримента:*

- израчунавање коефицијента статичког трења;
- дубље схватање појаве трења и силе трења;
- јасније уочавање разлике између статичког и динамичког трења;
- разлагање сила на компоненте;

*Потребан прибор:* стрма раван са угломером, метарска трака, тела различитих маса.

За одређивање коефицијента статичког трења може се користити стрма раван са променљивим нагибом (Слика 3).



**СЛИКА 3.** Изглед апаратуре за одређивање коефицијента трења између тела масе  $m$  и стрме равни. Нагиб стрме равни се одређује помоћу релације  $\tan \alpha = BC/AB$ . Дужина катете АВ се мери метром, а дужина катете ВС се директно читава на инсталираној скали.

На стрмој равни се налази чврсто тело масе  $m$ . На основу анализе сила које делују на ово тело, за једначину кретања се добија:

$$ma = mg (\sin \alpha - \mu \cos \alpha), \quad (3)$$

где је  $\mu$  коефицијент трења. Карактер кретања зависи од знака израза у загради. Када угао  $\alpha$  достигне критичну вредност  $\alpha_0$ , ( $\sin \alpha_0 - \mu \cos \alpha_0 = 0$ ) тело почиње да клизи низ стрму раван равномерном брзином. Тада је тангенцијална компонента  $Q_t$  једнака максималној сили статичког трења,  $mg \sin \alpha_0 = \mu_s mg \cos \alpha_0$ , па је

$$\mu_s = \tan \alpha_0. \quad (4)$$

Дискусија: шта ако је  $\alpha > \alpha_0$  ?

#### Е4: Провера основног закона динамике ротације помоћу Обербековог точка

Циљеви експеримента:

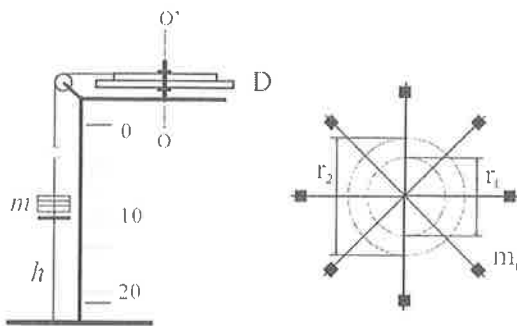
- израчунавање обртног момента и линијског убрзања;
- провера основне једначине динамике ротационог кретања;
- графичко приказивање резултата мерења са линеарном интерполацијом.

Потребан прибор: Обербеков точак, тегови, метарска трака, хронометар.

Једначина за описивање обртног кретања око непокретне осе у облику:

$$I \bar{\alpha} = \bar{M}, \quad (5)$$

назива се основна једначина динамике ротационог кретања.  $\bar{\alpha} = d\bar{\omega} / dt$ , је угаоно убрзање,  $I$  – момент инерције тела и  $\bar{M}$  – момент силе. За проверу реализације (5) може се користити апаратура на Слици 4. За динамички систем са Сликe 4, који се састоји од дискова и тегова на њима, једначина (5) се може написати у скаларном облику:



СЛИКА 4. 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  $m$ , посматрано из тачке  $O'$ . Тег масе  $m$  је обешен о неистегљив канал.

$$I \alpha = M_N - M_{tr}. \quad (6)$$

$I$  је момент инерције обртног дела система,  $M_N$  интензитет момента силе затезања конца, а  $M_{ir}$  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.  $M_{ir} = M_N = rm_0g$ .

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  $\alpha$ , 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:

$$M_N = rm \left( g - \frac{2h}{t^2} \right), \quad (7)$$

код кога се величине на десној страни добијају експериментално. Добијене вредности за  $\alpha$  и  $M_N$  треба представити графички,  $M_N = f(\alpha)$ . Та зависност на основу (6) треба да буде линеарна функција облика  $M_N = I\alpha + M_{ir}$ . Са добијеног графика може се одредити момент инерције система који одговара коефицијенту правца 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]	$M_{ir} = r m_0 g$ [Nm]
$r_1$			
$r_2$			

ТАБЕЛА 2. Провера основне једначине динамике ротационог кретања					
Р. бр.	$m$ [kg]	$t$ [s]	$h$ [m]	$\alpha$ [s <sup>-2</sup> ]	$M_N$ [Nm]

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.

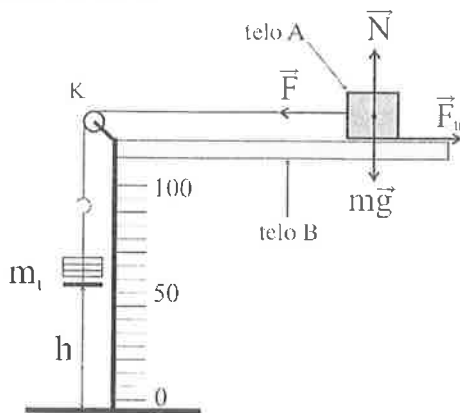
### Е5: Провера другог Њутновог закона

Циљеви експеримента:

- проверка сразмерности силе и убрзања тела:  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{a_1}{a_2}$ ;
- проверка другог Њутновог закона;

Потребан прибор: Атвудова машина, тегови, дигитални хронометар, колица.

Постоји више начина за проверу другог Њутновог закона. Вежба се може реализовати са Атвудовом машином (вежба Е1), помоћу колица са теговима (вежба Е2), или само тегова, Слика 5:



СЛИКА 5. Шематски приказ апаратуре која се може користити за проверу другог Њутновог закона.

### Литература

1. Fornasini, P., *The Uncertainty in Physical Measurements*, New York, Springer, 2008, pp. 258-261.
2. Димић Г., Митриновић М., *Метрологија и физици*, Београд, Грађевинска књига, 1990, str. 65-69.
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.