

Одређивање убрзања слободног падања

1. ПОДАЦИ О ЧАСУ

Дефинисање часа

Физика, Гравитационо поље, убрзање силе теже, одређивање убрзања слободног падања, II разред гимназије, демонстрациона вјежба.

Увођење новине

Осавременен начин експерименталног одређивања убрзања слободног падања. Начини експерименталног одређивања описани у уџбеницима за основну и средњу школу нису очигледни и углавном захтијевају скупу специјализовану опрему. Овдје описани експериментални поступак иако користи уобичајена техничка средства (дигитални фотоапарат, рачунар и пројектор) ставља нагласак на оно шта се заправо дешава.

Мотивација

Потреба да ученици стичу знања, која су у стању да примијене. Непосредни искуствени доживљај развија интересовање ученика према физичким појавама.

2. ПЛАНИРАЊЕ И ОРГАНИЗАЦИЈА ЧАСА

Очекивани исходи

Ученици су у стању да

- примјењују стечена знања о убрзаном кретању;
- резултате мјерења записују у облику табеле;
- графички прикажу зависност измјерених величина и да на основу графика израчунају тражену величину;
- израчунају аритметичку средину мјерене величине, апсолутну и релативну грешку мјерења

Методе и облици рада

Методе: експерименталне, графичке, метода усменог излагања, демонстрација
Облици рада: фронтални рад, индивидуални рад.

Усаглашеност са наставним планом и програмом

Тема је дио програма предмета.

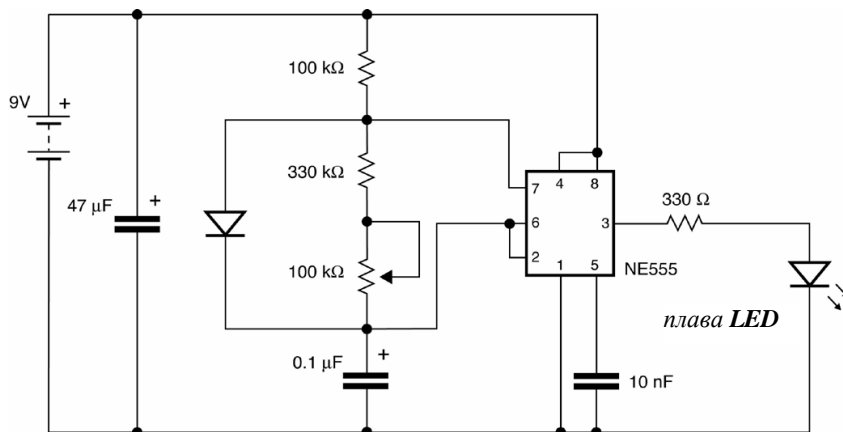
Средства и помагала потребна за извођење часа

Дигитални фотоапарат, рачунар, дигитални пројектор, тијело које слободно пада (нарочито електронско коло кућне израде), милиметарски папир. Учионица која има могућност замрачивања.

Потребно вријеме: школски час (45 мин).

Опис експеримента

Идеја експеримента је да се помоћу дигиталног фотоапарата забиљежи путања тијела које слободно пада, на добијеној фотографији изврше мјерења и на основу њих одреди убрзање слободног падања. Тијело које слободно пада у овом експерименту је посебна направа-електронско коло кућне израде, чија LED диода емитује бљесак свјетлости у једнаким временским размацима. Електронско коло направљено посебно за ову намјену је израђено према шеми датој на слици 1.



Слика 1



Слика 2. Практична изведба кола са слике 1

Ово коло је засновано на добро познатом интегрисаном колу 555, осцилатору, који има вријеме укључивања и искључивања око 50 ns . Коло напаја обична батерија напона 9V . У практичној изведби ово коло може стати на штампану плочу димензија $5\text{cm} \times 2,5\text{cm}$ или мању (слика 2), колико су приближно димензије батерије од 9V . Помоћу промјенљивог отпорника од $100\text{k}\Omega$ може се подешавати фреквенција којом ће се палити и гасити диода у колу. Фреквенцметром или осцилоскопом подесити коло на фреквенцију 30Hz . То значи да ће сваких 33ms диода емитовати бљесак свјетлости у трајању 50ns . Штампана плоча са овим колом се причврсти за батерију (слика 2) која га напаја и то ће у овом експерименту бити тијело које слободно пада.

Дигитални фотоапарат поставити на сталак, вријеме експозиције подесити на 2s просторију дјелимично замрачити. Са растојања од $4\text{--}5 \text{ m}$ направити снимак као на слици 3. „Тијело“ је најлакше испустити ако се држи између палца и кажипрста, да приликом падања не дође до ротације тијела. На под поставити већи комад спужве да се „тијело“ не оштети при удару у под. На знак особе која снима помоћник пушта „тијело“ да слободно пада. Други помоћник стоји покрај првог помоћника и у руци држи штап дужине 1m на чијим крајевима су упале црвене диоде које напаја друга батерија од 9V причвршћена уз штап.

У описаном експерименту је употребљен аматерски дигитални фотоапарат *Sony s650* који нема могућност ручног подешавања времена експозиције (ту могућност имају тек професионални апарати) али у ноћном моду без блица има вријеме експозиције око 1s . С обзиром да вријеме

падања са висине од око $1,8 \text{ m}$ износи неких $0,6\text{s}$ може се поменути начином забиљежити путања тијела које слободно пада. Ипак, можда, ће требати више покушаја да се добије јасан снимак.

Након што се добије задовољавајућа фотографија као на слици 3, пренесе се на рачунар и помоћу дигиталног пројектора увећа на зиду до природне величине тако што се штап дужине 1m вертикално постави уз зид а пројектором слика увећава док се слика штапа не изједначи са стварним штапом. На тај начин се повећава прецизност мјерења у односу на случај да је мјерење извршено на одштампаној фотографији а неупоредиво је бољи визуелни доживљај.

На слици се уочи прва одвојена тачка (први забиљежени бљесак) и у тој тачки узимамо да је пређени пут $s = 0$ и вријеме $t = 0$ па ћемо је надале звати нулта тачка. Потом мјеримо растојања од нулте тачке до прве тачке (растојање s_1), од нулте до друге тачке s_2 , од нулте до



Слика 3

треће s_3 итд. Потом се израчунавају растојања између сусједних тачака Δs_1 , Δs_2 итд. $\Delta s_1 = s_1$ растојање између нулте и прве тачке, $\Delta s_2 = s_2 - s_1$

растојање између друге и прве тачке, $\Delta s_3 = s_3 - s_2$ растојање између треће и друге тачке. Пошто је временски интервал између два бљеска био веома кратак $\Delta t = 33ms$, можемо узети да је тренутна брзина на средини тог временског интервала једнака $v_n = \frac{\Delta s_n}{\Delta t}$. Ово нам омогућава да

израчунамо тренутне брзине и нацртамо график зависности брзине од времена за тијело које слободно пада (слика 4). Вријеме које је протекло од почетка падања добијамо сабирајући интервале од по $33ms$. Убрзање слободног падања израчунавамо са графика као нагиб праве линије $g = \frac{\Delta v}{\Delta t}$. Затим се црта график зависности пута од времена (слика 5). Програм попут

Ексела се може искористити да на основу измјерених вриједности за s и t пронађе аналитички облик функције која најбоље описује зависност пута од времена. Коефицијент уз t^2 је половина од убрзања g . Потом се нађе аритметичка средина за убрзање одређено из графика $v-t$ и са графика $s-t$ и упореди са усвојеном вриједношћу и израчуна апсолутна и релативна грешка мјерења.

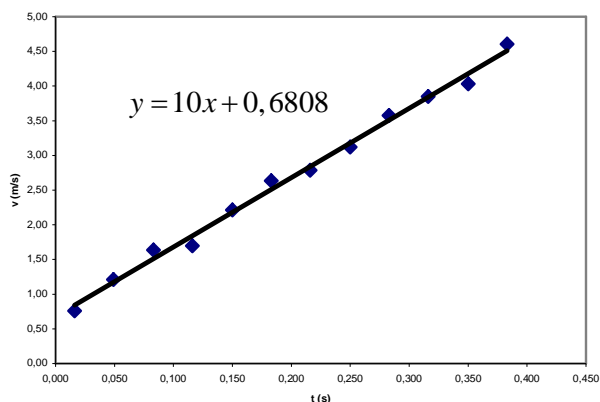
Сљедећа табела даје резултате мјерења извршених на слици 3.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$s(n) (10^{-2} m)$	2,5	6,5	11,9	17,5	24,8	33,5	42,7	53,0	64,8	77,5	90,8	106,0
$t = n \cdot \Delta t (10^{-3} s)$	33	67	100	133	167	200	233	267	300	333	367	400
$\Delta s(n) (10^{-2} m)$	2,5	4,0	5,4	5,6	7,3	8,7	9,2	10,3	11,8	12,7	13,3	15,2
$V_n = \Delta s_n / \Delta t (m/s)$	0,76	1,21	1,64	1,70	2,21	2,64	2,79	3,12	3,58	3,85	4,03	4,61
$t (10^{-3} s)$	16	49	83	116	150	183	216	250	283	316	350	383

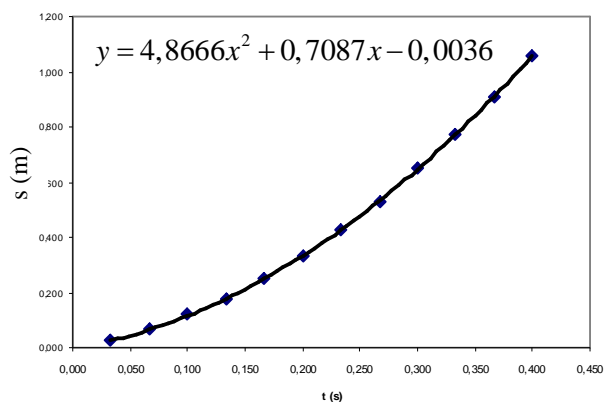
Коефицијент уз x на слици 4 је убрзање слободног падања g а коефицијент уз x^2 на слици 5 је $g/2$. Па добијамо: $g_1 = 10m/s^2$, $\frac{g_2}{2} = 4,867m/s^2$, $g_2 = 9,734m/s^2$

Аритметичка средина $g_s = \frac{g_1 + g_2}{2} = \frac{10 + 9,734}{2} \frac{m}{s^2} = 9,867 \frac{m}{s^2}$. Ако ову вриједност упоредимо са тзв. стандардним убрзањем слободног падања заокруженим на три децимале $g^\theta = 9,807m/s^2$, апсолутна грешка је $\Delta g = |g_s - g^\theta| = 0,060m/s^2$.

Релативна грешка $\delta g = \frac{\Delta g}{g^\theta} \cdot 100 = 0,6\%$



Слика 4: График зависности брзине од времена добијен на основу резултата мјерења кориштењем програма Excel



Слика 5: График зависности пута од времена добијен на основу резултата мјерења кориштењем програма Excel

У закључку часа могу се ученицима поставити питања зашто на снимку диода даје свијетле линије иако се може сматрати да је она тачкасти извор свјетлости и зашто те линије како тијело пада постају све дуже.

У прилогу 1 дат је радни лист за ученике.

Организација часа (ток часа)

планирани садржај рада	активност наставника	активност ученика	планирано вријеме у min	методе и облик рада	начин праћења рада ученика	очекивани исходи
Понављање појмова тренутна брзина, убрзање, убрзање слободног падања	Поставља питања и прати одговоре	Одговарају на питања	5	Питања и одговори фронтални	Праћењем одговора	Знају и разумију поменуте појмове
Експериментално одређивање убрзања слободног падања (увод)	Упознаје ученике са током (етапама) експеримента	Прате излагање наставника	4	Усмено излагање фронтални	Праћењем активности ученика	Ученици у основи упознати са ток ом експеримента
Прављење снимка „тијела“ које слободно пада и његово преношење на рачунар	Одређује ученике који ће помагати при прављењу снимка. Успут поставља питања. Прави снимак из више покушаја.	Прате ток експеримента, одговарају на питања, неки од ученика помажу при прављењу снимка	8	Демонстрација, питања и одговори фронтални	Праћењем активности ученика и њихових одговора	Упознали су начин на који се користи дигитални фотоапарат за специфичну намјену-снимак са дугом експозицијом
Анализа фотографије која је увећана до природне величине помоћу видео пројектора и мјерења растојања	Давање упутстава и помагање ученицима који врше мјерења	Једни врше мјерења на фотографији а сви остали биљеже резултате мјерења	7	Експеримент, индивидуални	Обилази и прати рад ученика, разјашњава и допуњује	Оспособљени ученици да самостално записују резултате мјерења у облику табеле
Демонстрација програма Ексел за обраду резултата мјерења и цртање графика. Одређивање g са графика и релативне грешке мјерења	Демонстрира специфичне могућности програма Ексел	Преписују израчунате резултате у табелу и прате ток демонстрације	14	Демонстрација, фронтални	Провјером попуњености табела потребним подацима	Разумијевање начина на који су израчунати подаци којима је попуњена табела. Упознали специфичне могућности програма Ексел
Ручно цртање графика зависности брзине од времена	Задаје задатак, дијели милиметарски папир и помаже у одабиру размјере	Цртају график на основу резултата мјерења	5	Илустрација, индивидуални	Праћењем израде графика и исправљањем	Оспособљени ученици да самостално цртају график на основу резултата мјерења
Даје упутство за одређивање убрзања слободног падања на основу нацртаног графика	Даје упутства	Слушају упутство и по потреби праве забиљешке	2	Усмено излагање, фронтални	Прати исправност израчунавања	Оспособљени ученици да самостално заврше цртање графика и одреде g на основу графика

Час припремио: Милко Бабић

Прилог 1

Одређивање убрзања слободног падања (g) (експериментална вјежба)

n – редни број мјерења, фреквенција којом се пали *LED* диода је 30 Hz

$\Delta t = 33 \text{ ms} = 33 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ вријеме које протекне између два бљеска *LED* диоде

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$s(n) (10^{-2} \text{ m})$														
$t = n \cdot \Delta t (10^{-3} \text{ s})$	33	67	100	133	167	200	233	267	300	333	367	400	433	467
$\Delta s(n) (10^{-2} \text{ m})$														
$V_n = \Delta s_n / \Delta t (\text{ m/s})$														
$t (10^{-3} \text{ s})$	16	49	83	116	150	183	216	250	283	316	350	383	417	450

Задаци:

1. Измјерене вриједности за s уписати у табелу
2. Израчунати Δs - растојање између сусједних свијетлих тачака
 $\Delta s_1 = s_1$ растојање између прве и нулте тачке
 $\Delta s_2 = s_2 - s_1$ растојање између друге и прве тачке
 $\Delta s_3 = s_3 - s_2$ растојање између треће и друге тачке итд.
3. Израчунати тренутне брзине v_n према обрасцу из табеле
4. На основу података из четвртог и петог реда у табели нацртати график зависности брзине од времена
5. Са графика одредити убрзање слободног падања g као нагиб праве линије $g = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
6. На основу података из другог и трећег реда табеле нацртати график зависности пута од времена
7. Израчунати апсолутну и релативну грешку мјерења (за стварну вриједност убрзања слободног падања узети тзв. стандардно убрзање слободног падања заокружено на три децимале $g^\theta = 9,807 \text{ m/s}^2$)