

Европейската олимпиада по физика, 2020 г.

Нено Тодоров, Георги Александров, Виктор Иванов

Софийски университет Св. Климент Охридски, Физически факултет,
София 1164, бул. Джеймс Баучер 5

Абстракт. В статията накратко е описана историята и организацията на Европейската олимпиада по физика (ЕОФ) и нейното място сред другите международни състезания от подобен мащаб, като например Международната олимпиада по физика (МОФ) и Азиатските олимпиади по физика (АОФ). Обсъдени са предизвикателствата пред провеждането на ЕОФ – 2020 в условия на пандемия. Представени са условията на задачите на ЕОФ – 2020, като техните решения ще бъдат подробно анализирани в следваща статия. Дадена е справка за представянето на българския отбор на ЕОФ – 2020.

КРАТКА ИСТОРИЯ И ПРЕДИСТОРИЯ НА ЕВРОПЕЙСКАТА ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКА

Международната олимпиада по физика (МОФ) е най-старото и без съмнение – най-престижното международно състезание по физика. Пред първенците от МОФ са отворени вратите на всеки университет по света и затова медалът от олимпиадата е най-ценния трофей за всеки ученик със сериозни намерения да се посвети на физиката. Първата МОФ, организирана от проф. Чеслав Шисловски, е проведена през 1967 г. във Варшава, като в нея участват пет държави от бившия социалистически блок: Полша, Унгария, България, Румъния и Чехословакия. Постепенно олимпиадата се разраства като обхваща и останалите европейски социалистически страни и СССР. През 1972 г. в МОФ за първи път се включва западноевропейска държава – Франция, както и неевропейска страна – Куба. Днес в МОФ участват повече от осемдесет държави от всички континенти с приблизително четиристотин състезатели. Като се вземат предвид ръководителите на отбори, наблюдателите, членовете на местния организационен комитет, проверители на задачи и доброволци, се вижда, че в олимпиадата участват от порядъка на хиляда човека. Освен това организаторите трябва да подготвят опитни постановки за експерименталния кръг на състезанието в няколкостотин копия. Вижда се, че организирането на събитие от подобен мащаб е голямо логис-

тично предизвикателство, а бюджетът на МОФ наближава един милион US долара. За много от отборите значителен проблем са и разходите за участие в олимпиадата – такса правоучастие в размер на 3500 USD, и дори по-големи суми за презокеански полети до страната домакин. Затова постепенно възникна идеята да бъдат организирани по-малки по мащаб международни състезания, но на академично ниво, съпоставимо с нивото на МОФ.

Днес регулярно се провеждат редица “локални” олимпиади по физика с висок рейтинг, като Балтийската олимпиада по физика, Иbero-американската физична олимпиада, Международната олимпиада по експериментална физика (отворена основно за състезатели от Русия и бившите съветски републики) и т.н. Без съмнение обаче най-близо до нивото и стила на МОФ е Азиатската олимпиада по физика (АОФ), която датира от 2000 г. С пълно основание може да се каже, че АОФ е по-младят “брат” на МОФ, защото именно азиатски отбори – на Китай, Индия, Южна Корея, Сингапур и др., категорично доминират на Международната олимпиада. Ясно изразената асиметрия между представянето на азиатските отбори и отборите от Стария континент показва необходимостта от организиране на престижно европейско състезание по физика. Водени от това предизвикателство, ентузиазирани университетски и гимназиални преподаватели по физика от няколко европейски страни – Естония, Унгария, България, Латвия, Германия и Русия, учредиха през 2017 г. Европейска олимпиада по физика (ЕОФ). Домакин на първата ЕОФ беше Естония, след което се проведеха още две “присъствени” олимпиади: през 2018 г. в Русия и през 2019 г. в Латвия. Както ще се спрем по-подробно в следващите раздели, през 2020 г. олимпиадата се проведе дистанционно заради COVID-пандемията.

Още от самото начало ЕОФ привлече голям интерес както от европейските държави, така и от гостуващи отбори от други континенти. На последната олимпиада участваха 29 европейски държави и 21 гостуващи отбора от Азия, Северна Америка и Южна Америка, а общият брой на участниците беше близо 250.

ОСНОВНИ ПРИНЦИПИ ПРИ ОРГАНИЗИРАНЕТО И ПРОВЕЖДАНЕТО НА ЕВРОПЕЙСКАТА ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКА

За да разберем защо още със стартирането си ЕОФ привлече толкова много участници, трябва да бъдат анализирани приликите и разликите с другите “конкурентни” състезания – МОФ и АОФ. Учебната програма на ЕОФ на практика съвпада с програмата на МОФ/АОФ, което гарантира съпоставимо ниво на подготовка на участниците. Както МОФ/АОФ,

Европейската олимпиада се провежда в два състезателни кръга: теоретичен върху три задачи; и експериментален върху две задачи или върху една задача с по-голям брой подусловия. Това означава, че ЕОФ тества комплексни умения – както за решаване на сложни теоретични задачи, така и за боравене с апаратура, планиране на експеримент, снемане и обработване на данни. Затова за много от състезателите участието им в ЕОФ е генерална репетиция за предстоящата МОФ. С това обаче приликите между трите олимпиади на практика се изчерпват.

В последните години се забелязва тенденция на “набъбване” на условията на задачите от МОФ/АОФ. Задачите за тези две състезания се подготвят от екип от страната домакин. Най-често това са университетски преподаватели или изследователи от институти, които се стремят да адаптират съвременни научни проблеми под формата на ученически задачи. Това налага въвеждането на редица понятия и съотношения, излизащи далече отвъд учебната програма на олимпиадата. Затова често пъти условията на теоретичната тема превишават 10 страници, като текстът изобилства с подробности, например от историческо естество, които не са пряко свързани с физиката на задачата. Това крие сериозен риск дори отлично подготвени ученици да се загубят в несъществени описания и да не могат да разберат същността на поставените въпроси. Освен това учениците губят значително време в четене на условията, което е за сметка на времето за решаване на задачата.

От самото начало в ЕОФ беше прет друг принцип за съставяне на задачите. Задачите се подбират от постоянно действащ международен Академичен комитет, съставен от преподаватели с голям опит в организирането и провеждането на ученически олимпиади в собствените им страни. Всеки член на този комитет има право да предлага неограничен брой задачи за предстоящата олимпиада. Задачите следват строго учебната програма на олимпиадата и се разделят на три групи: “лесни”; “средно трудни”; и “много трудни”, които обаче се оценяват с еднакъв брой точки. На заседание на комитета непосредствено преди състезанието се подбират най-добрите задачи от всяка категория, които съставят теоретичната тема. Условието на теоретичната тема трябва да обхваща не повече от една стандартна страница, а на експерименталната тема – до две страници, ако се налага включването на по-подробно описание или снимки на експерименталната постановка. От една страна това позволява на ръководителите на отбори да преведат условията на задачите на собствения си език за много по-кратко време, отколкото на МОФ/АОФ, и така да се съсредоточат върху качеството на преведения текст. От друга страна учениците изразходват много по-малко време за прочитане

на условията. Така те могат бързо да се ориентират в трудността на различните задачи и да започнат работа по задачата, в която се чувстват най-сигурни.

Освен по обем на текста, задачите от ЕОФ силно се различават по стил от тези от МОФ/АОФ. Типичната задача от Международна (Азиатска) олимпиада съдържа голям брой подусловия (понякога над десет) и е като коловоз, който рано или късно отвежда ученика до крайния резултат, стига ученикът да прояви достатъчна устойчивост на вниманието при четене на текста и да има достатъчно добра техника за математически пресмятания. Задачите от ЕОФ обаче не съдържат повече от две-три подусловия, а често пъти изобщо нямат обособени подусловия. Проблемът е ясно формулиран, а състезателите имат пълната свобода да избират метода за неговото решаване. Понякога дадена задача има до пет-шест различни варианта за решаване. Затова задачите от ЕОФ в много по-пълна степен стимулират творческото мислене на учениците и тренират уменията им да строят физични модели, отколкото това се постига от задачите на МОФ/АОФ.

ОЛИМПИАДА В УСЛОВИЯ НА ПАНДЕМИЯ

През 2019 г. беше планирано IV ЕОФ да се проведе в град Сату Маре в Румъния. С избухването на пандемията от Covid-19 през 2020 г. обаче стана ясно, че присъственото провеждане на олимпиадата е невъзможно. Междувременно бяха отменени както АОФ, така и МОФ. След неколкостратни консултации между членовете на Академичния комитет на ЕОФ, беше решено Европейската олимпиада да бъде проведена дистанционно в периода 20–26 юли 2020 г. Така ЕОФ стана единственото международно състезание по физика през 2020 г.

Задачите бяха подбрани след няколко заседания на Академичния комитет в Zoom сесия, а темите бяха изпратени на ръководителите на отбори за превод три часа преди началото на състезанието. За да се гарантира, че по време на превода няма да изтече информация към учениците, ръководителите на отбори участваха в Zoom сесия на живо, като екраните на работните им компютри бяха под непрекъснато видеонаблюдение. Разпечатването на условията и работата на учениците по време на двата кръга – теоретичния и експерименталния, също бяха наблюдавани онлайн. След приключване на състезанието работите на учениците бяха сканирани и изпратени на Академичния комитет за проверка на решенията.

Докато теоретичният кръг протече на практика при същите условия, както при присъствено състезание (поне от гледна точка на учениците),

то дистанционното провеждане на експерименталния кръг беше истинско предизвикателство и в крайна сметка доведе до реална иновация в историята на физичните олимпиади. Първоначалната идея беше няколко дена преди състезанието на ръководителите на отбори да се изпрати списък с леснодостъпни уреди и материали, с чиято помощ учениците сами да сглобят експериментална постановка, на която да направят нужните измервания. Този формат на провеждане на експерименталния кръг обаче крие известни рискове. Първо, поради пандемията доставката дори на стаандартно оборудване (обикновено с произход Китай) е затруднена, особено в по-малките страни. Второ, в зависимост от конкретния доставчик или складови наличности, различните отбори биха работили с различни по модел уреди, което поставя участниците в неравностойни условия. Поради подобни съображения се стигна до идеята експерименталните задачи да не бъдат под формата на реален, а на компютърно симулиран експеримент. За целта няколко доброволци разработиха компютърен код, симулиращ поведението на две реални системи – Ръдърфордско разсейване на сноп електрони от зареден обект, и механична “черна кутия”, съдържаща определен брой масивни обекти и пружини. За да се симулират случайни грешки при експеримента, към резултатите от виртуалния експеримент софтуерно се добавяше Гаусов “шум” с реалистични стойности на стандартното отклонение. Работата на учениците се състоеше в това да задават определени стойности на допустимите за контролиране параметри, например на ускоряващото напрежение и на началното положение на електронния сноп, и да изследват стойностите на други параметри, които биха били достъпни за измерване в реален експеримент – например координатите на точката от екрана, в която попада електронният сноп. Поради добавеният случаен шум учениците трябваше да правят неколкостепенни измервания при едни и същи стойности на входните параметри, както биха постъпили в реалния експеримент. По-нататък резултатите от “измерванията” обаче се обработваха не с компютър, а “на ръка” с разчертаване на таблици, построяване на графики на милиметрома хартия и т.н. Както в теоретичния кръг, решенията на учениците на експерименталните задачи се сканираха и изпращаха за проверяване от Академичния комитет. В момента тече процедура по придобиване на лиценз за публичен достъп (GPL) върху симулационния софтуер за двете експериментални задачи, след което програмите ще може да бъдат изтеглени свободно като изпълними файлове за трите основни операционни системи – Windows, Linux и OSX.

БЪЛГАРСКОТО УЧАСТИЕ И ПРЕДСТАВЯНЕ В IV ЕВРОПЕЙСКА ОЛИМПИАДА

Българският отбор за участие в IV ЕОФ беше съставен в края на юни след приключване на Националната олимпиада по физика. Участници в отбора станаха първите пет ученици в класирането за състезателната група 11. – 12. клас:

1. Васил Николов, 12. клас, ПЧМГ – София;
2. Александър Проданов, 10. клас, ППМГ “Никола Обрешков”, Казанлък;
3. Александър Илиев, 11. клас, СМГ “Паисий Хилендарски”, София;
4. Иво Петров, 12. клас, СМГ “Паисий Хилендарски”, София;
5. Тодор Тодоров, 11. клас, СМГ “Паисий Хилендарски”, София.

Александър Проданов завоюва златен медал, а останалите ни участници – бронзови медали. Следва да отбележим, че златният ни медалист е десетокласник и тепърва ще има възможност да развие потенциала си като състезател.

Ръководители на отбора са гл. ас. д-р Нено Тодоров (Физически факултет на СУ) и Георги Александров – студент от Физическия факултет на СУ, златен медалист от III ЕОФ в Латвия. Български представител в Академичния комитет на олимпиадата е проф. Виктор Иванов, също от Физическия факултет на СУ.

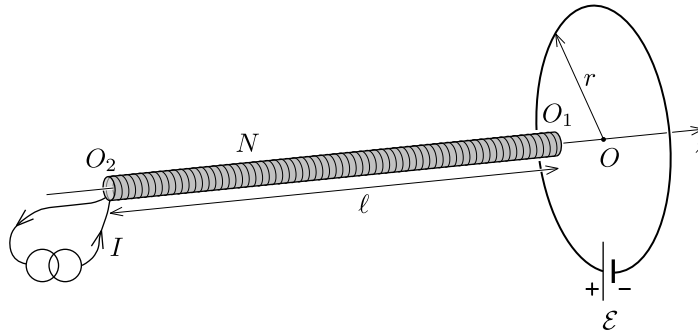
УСЛОВИЯ НА ЗАДАЧИТЕ ОТ IV ЕОФ

Теоретичен кръг

Задачите са номерирани в ред на нарастване на тяхната трудност. Автори на задачите са, както следва: Мате Вайхт (Унгария), Виктор Иванов (България), Ян Калда (Естония).

T1: Намотка и затворен контур

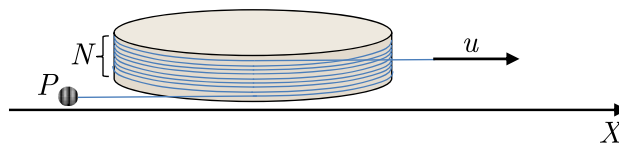
Затворен контур с форма на окръжност с радиус r се състои от идеална батерия с електродвижещо напрежение \mathcal{E} и проводник със съпротивление R . Дълга намотка, запълнена с въздух, е поставена по оста на контура (оста z). Дължината ѝ е $\ell \gg r$, площта на сечението ѝ е A ($\sqrt{A} \ll r$), а броят на навивките ѝ е N . Намотката е свързана към идеален източник на постоянен ток I . Посоката на токовете в намотката и затворения контур са едни и същи (на чертежа - по посока на часовниковата стрелка).



- Намерете силата F_1 , действаща на намотката, когато предната ѝ част O_1 се намира в центъра на контура O . Каква сила F_2 действа на намотката, когато задната ѝ част O_2 се намира в центъра на контура?
- Сега приемете, че намотката се движи бавно с постоянна скорост v по оста z , като тръгва много далече от контура, минава през центъра му и продължава надясно в положителната посока на z . Начертайте графика на тока J , който протича в контура, като функция на времето. Опишете по-интересните/важни точки от графиката и съответните им стойности. Скоростта v е достатъчно малка, за да се пренебрегне самоиндуктивността на контура.

T2: Механичен ускорител

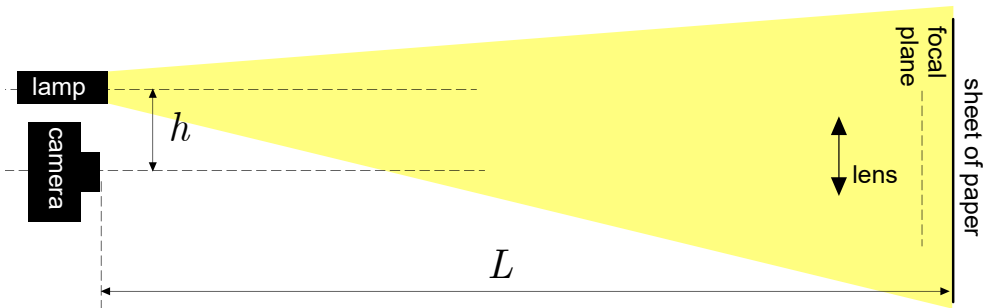
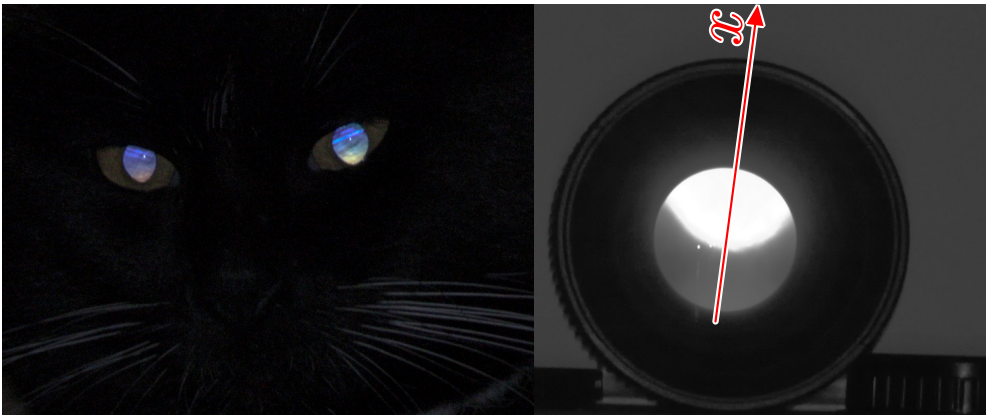
Безмасова нишка е намотана N пъти около застопорен цилиндър, както е показано на чертежа. Първоначално свободните (навивки) краища на нишката са успоредни на оста X . След това тежка материална точка P е закачена за единия край на нишката, а другият край се дърпа с постоянна скорост u в посока на оста X . Намерете максималната скорост, която получава материалната точка.



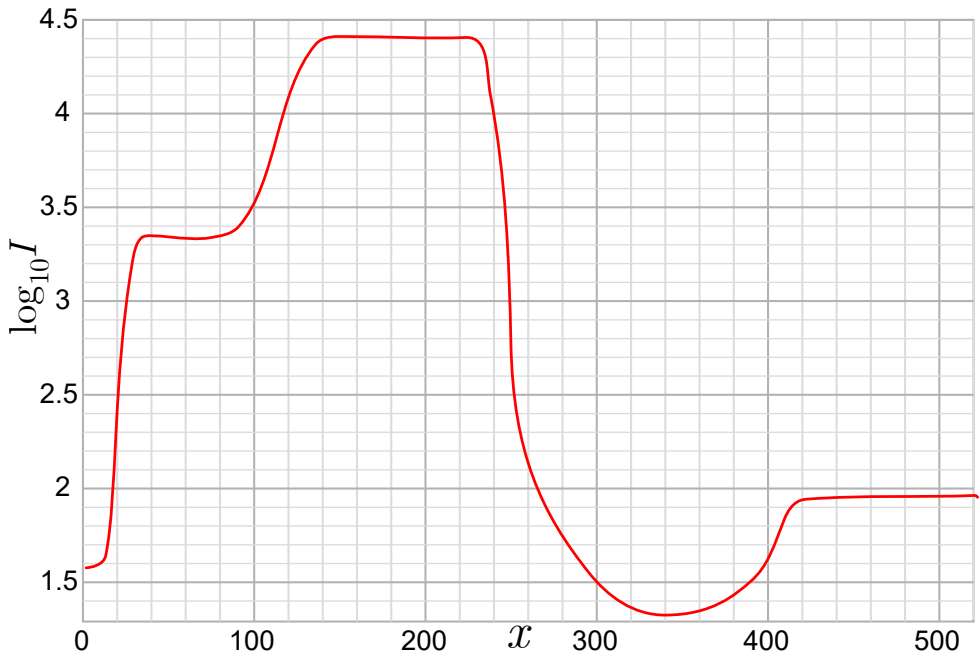
Нишката е неразтеглива и гъвкава. Приемете, че навивките са близко една до друга, така че лежат в една равнина, перпендикулярна на оста на цилиндъра. Триенето в системата се пренебрегва. Не отчитайте силата на тежестта.

T3: Котешки очи

Сигурно сте забелязали, че в тъмното очите на котка, осветена от фар, изглеждат много ярки, както се вижда на лявата снимка. Този ефект може да се моделира с помощта на леща, както е показано на снимката вдясно и диаграмата под снимките.



Снимката вдясно е правена с цифрова камера. Интензитетът на светлината, регистрирана от пикселите на сензора, намиращи се по стрелката (на снимката вдясно), е показан на графиката долу. Начертан е десетичен логаритъм от интензитета (мерен като брой фотони, събрани от всеки пиксел) като функция на координатата x , мерена в единици дължини на страната на пикселите.



Лещата може да се приеме за идеално тънка леща с фокусно разстояние $f = 55 \text{ mm}$ и диаметър $D = 39 \text{ mm}$; но все пак не забравяйте, че графиката е на реално измерени данни и лещата съдържа неидеалности. Частичното отражение от ярко осветените части на лещата може да намали контраста: тъмните части изглеждат по-светли, отколкото би трябвало; този ефект може да се пренебрегне за лещата на камерата, но не и за лещата-модел на котешко око.

Според дадените ви данни, оценете (с точност 20%) разстоянието h между оста на камерата и оста на лампата (която се приема за точков източник), ако разстоянието между камерата и листа хартия е $L = 4.8 \text{ m}$.

Експериментали задачи

E1: Скрит заряд

Въведение

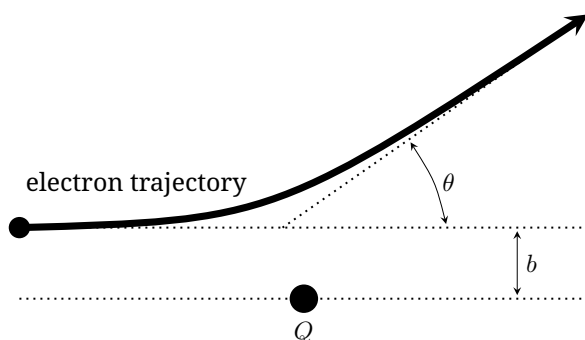
Неизвестен точков заряд Q е фиксиран в пространството. Успоредно на оста z се изстрелват електрони далече от заряда, които се разсейват електростатично от него и попадат върху детектиращ екран. Можем да научим подробности за скрития заряд, ако променяме началната кинетична енергия и началните x_i и y_i координати на лъча от електрони и измерваме координатите x_f и y_f на електрона, попаднал върху плоския детек-

тиращ екран с крайни размери, перпендикулярен на оста z , намиращ се на $z = 0$.

Ще ви е полезна формулата за разсейване на Ръдърфорд:

$$b = \frac{kqQ}{2E} \frac{1}{\tan(\theta/2)}$$

където b е прицелния параметър, E е енергията на електрона, $q = -1.602 \times 10^{-19} \text{C}$ е зарядът на електрона, $k = 8.99 \times 10^9 \text{Nm}^2/\text{C}^2$, и θ е ъгълът на разсейване. Прицелният параметър се дефинира като най-малкото разстояние между целта и правата, по която щеше да се движи електрона, ако не взаимодействаше с целта; ъгъл на разсейване е ъгълът между първоначалната посока на движение на електрона, далече от целта, и крайната посока на движение, далече от целта, след като вече се е разсеял от нея.



Задача

Задачата е да се определи позицията (x_Q, y_Q, z_Q) , както и големината и знака на заряда Q , възможно най-точно. Трябва да представите груба оценка на грешката за получения резултат. Грешката на началната позиция на лъча е от порядъка на 0.5 mm.

За всички експерименти трябва да представите добре означени таблици с данни, графики и необходимите формули, показващи какво сте измерили и как сте получили резултата.

Интерфейс на програмата

Програмата очаква да въведете напрежение, с което електронът ще се ускори, изписвайки следното съобщение:

Beam accelerating voltage in V:

Въведете число между 1 и 10000 и натснете **return**. Програмата очаква началните координати на лъча, като започва с x_i , изписвайки съобщението:

x-coordinate of the electron beam in cm:

Въведете число между -20 и 20 и натиснете **return**. Накрая програмата очаква стойност за y_i със съобщението:

y-coordinate of the electron beam in cm:

Въведете число между -20 и 20 и натиснете **return**. Ако някое от горните три числа е невалидно, програмата изписва

Invalid entry.

и ще поиска отново стойност, като припомни позволените граници.

След като трите числа са въведени, програмата изписва

Electron beam fired with parameters $(x, y, V) =$

изписва пак началните данни, след което:

Electron detected at $(x, y) =$

и дава положението на детектирания електрон на екрана. Ако електронът не уцели екрана, който е с крайни размери, ще бъде изписано

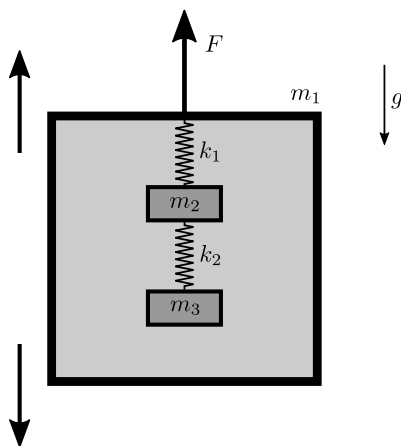
Electron not detected...

След това цикълът се повтаря, позволявайки въвеждане на нов опит.

E2: Черна кутия

Въведение

Разполагате с механична “черна кутия”, състояща се от кутия с маса m_1 . Вътре в кутията има трупче с маса m_2 , закачено за безмасова пружина с коефициент на еластичност k_1 , която в другия край е хваната за горната част на кутията. Трупче с маса m_3 е свързано с m_2 чрез друга безмасова пружина с коефициент k_2 . Има малко съпротивление, зависещо



от скоростта на телата. Земното ускорение е $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, успоредно на стените на кутията.

Кутията може да се движи нагоре-надолу на стъпки, с постоянно ускорение в рамките на една стъпка. Ускорението се задава, въвеждайки в програмата продължителността (в секунди) на всяка стъпка и съответстващото ѝ ускорение. Симулацията показва в “реално време” силата F , която трябва да действа на кутията, за да поддържа ускорението в съответния момент, също така показва и времето. Резултатите от симулациите ще се запишат на текстов файл в същата папка, в която се намира програмата.

Забележка: При всяко измерване на силата F има малка грешка. За малки отмествания деформациите на пружините са линейни, но за големи стават нелинейни. Стойностите за k_1 и k_2 са дефинирани за малки деформации около равновесното положение, когато кутията е в покой. Силата F и ускорението са положителни, ако са насочени нагоре. Дължината на страната на кутията 0.6 m и първоначално се намира по средата на стая с височина 3 m . Експериментът се прекратява автоматично, ако кутията удари тавана или пода на стаята или при всеки сблъсък кутия-трупче или трупче-трупче. Фигурата не е в мащаб.

Задача

Определете всички параметри: m_1, m_2, m_3, k_1, k_2 . В тази задача не се изисква оценка на грешките.

За всички експерименти трябва да представите добре означени таблици с данни, графики и необходимите формули, показващи какво сте измерили и как сте получили резултата.

Интерфейс на програмата

Първоначално програмата изисква последователно въвеждане на действия, като имате следните възможности:

- Въведете две числа и натиснете **return**, за да добавите стъпка от движението, например **1.5 -0.4**

Първото число е **продължителност** на стъпката в секунди (трябва да е кратно на 0.01 s), а второто число – **ускорение** в m/s^2 (трябва да е между -30 и 30).

- Въведете **repeat** и цяло число и натиснете **return**, за да повторите действията: **repeat 10**

Цялото число е **брой повторения** на действията. Всяко повторение трябва да приключи с действие **endrepeat** (вижте по-долу).

- Въведете **endrepeat**, за да спре да се повтаря действието. Ако започнете експеримента, всички действия между **repeat** и **endrepeat** се повтарят дадения брой пъти. Не може да има цикъл в цикъла.
- Въведете **sample** и число и натиснете **return** за да смените стъпката на времето (sampling time), например: **sample 0.4**
Числото е новия **sampling time**, тоест времето, през което се показва стойност в текстовия файл. Sampling time трябва да е кратно на 0.01 s, което е и стойността по подразбиране.
- Въведете **begin**, за да приключите последователността от действия и да започнете експеримента.

Можете да въведете няколко действия на един ред и да натиснете **return**, например:

sample 0.4 repeat 10 1.5 0.4 1.5 -0.4 endrepeat begin,

за да започете експеримент със sampling time 0.4 s и ускорявате кутията съответно с $a = 0.4 \text{ m/s}^2$ и $a = -0.4 \text{ m/s}^2$ десет пъти.

Ако въведете грешни входни данни, ще получите едно от следните съобщения и може да се опитате да въведете ново действие:

- Ако ускорението е недопустимо:
Acceleration is out of range.
- Ако продължителността на ускорението е недопустима:
Duration is out of range.
- Ако sampling time е недопустимо:
Sampling time is out of range.
- Ако броят повторения е недопустим:
Number of repeat times is out of range.
- Ако направите цикъл в цикъла:
Cannot repeat actions inside another repeat.
- Ако прекратите несъществуващо повторение:
Cannot end repeat outside repeat.
- Във всички останали случаи:
Invalid entry.

След като въведете **begin**, програмата ще поиска име на изходния файл със съобщението:

Enter name for output file (e.g. "results"). You should use Latin letters and numbers because some special characters are not allowed.

Въведете име на файла и натиснете **return**. За името използвайте само латински букви и числа. Данните се запазват в **.txt** файл с даденото име, в същата папка като програмата.

След това програмата изписва
Begin experiment.

и започва експеримента. Програмата показва времето след началото на експеримента (**Time (s)**), измерената стойност на силата F (**Force (N)**) и ускорението на кутията (**Accel (m/s²)**). Данните се изписват в текстовия файл по същия начин.

След това тя ще изпише едно от следните съобщения:

- Ако експериментът приключи успешно:
Experiment ended successfully.
- Ако кутията се удари в тавана:
The box hit the ceiling. Experiment ended.
- Ако кутията се удари в пода:
The box hit the floor. Experiment ended.
- Ако трупчетата се ударят в кутията или едно с друго:
Masses and/or the box collided. Experiment ended.

След като експериментът приключи, може да започнете нов експеримент.