

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет комп'ютерних наук, фізики та математики
Кафедра фізики та методики її навчання

МАЯТНИК ФУКО. ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА
Кваліфікаційна робота
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

Виконав: студент 2 курсу, групи 211М
Спеціальності 014 Середня освіта (Фізика)
Освітньо-професійної програми
Середня освіта (Фізика)
Двоян Євгеній Миколайович

Керівник
доктор пед. наук, кандидат фіз.-мат. наук
проф. Кузьменков С.Г.

Рецензент
доц. Кравцов Г.М.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. Теорія маятника Фуко	6
1.1. Історія маятника Фуко.....	6
1.2. Фізичні основи маятника Фуко.....	28
РОЗДІЛ 2. Діючі маятники Фуко	32
2.1. Найбільш відомі маятники Фуко у світі.....	32
2.2. Діючі маятники Фуко в Україні.....	36
РОЗДІЛ 3. Маятник Фуко на кафедрі фізики та методики її навчання	
ХДУ	39
3.1. Проекти компактних маятників Фуко, які можна зробити в дома.....	39
3.2. Опис діючої моделі.....	41
ВИСНОВКИ	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	45

ВСТУП

Актуальність дослідження. У природі періодичні процеси спостерігаються надто часто, наприклад, обертання планет навколо Сонця чи Місяця навколо Землі. У житті і техніці також існує досить багато приладів і пристроїв, заснованих на періодичних процесах: коливання маятникових механізмів годинника, обертання й рух різних машин. Усі ці прилади беруть участь у періодичному русі і слугують для різних промислових чи побутових потреб людства.

Створення маятника Фуко дало змогу продемонструвати важливу властивість нашої планети як системи відліку – її неінерціальність. І, мабуть, найголовніше – спостереження за коливаннями такого маятника дає змогу отримати наочний доказ обертання Землі навколо своєї осі. Фізичні рівняння, які описують обертання площини коливань маятника наводять в багатьох підручниках загальної фізики, наприклад у Берклеєвському курсі фізики, курсі Фейнманівських лекцій з фізики тощо.

Практичних інструкцій з побудови маятника Фуко мало. У літературних джерелах можна знайти лише описи моделей діючих маятників. Конструкція історичного маятника Фуко масштабна і складна для реалізації у стінах освітніх закладів. Тому нами було вирішено проаналізувати існуючі моделі маятника Фуко, обрати компактну модель для створення на базі кафедри фізики та методики її навчання Херсонського державного університету.

З огляду на актуальність проблеми було обрано тему кваліфікаційної роботи і поставлено наступну мету і завдання дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дипломна робота виконувалась відповідно до тематичного плану наукових досліджень кафедри фізики та методики її навчання:

«Інноваційні освітні технології навчання фізики та астрономії у закладах освіти різних рівнів» (реєстраційний номер 0119U101144 від 19.03.2019).

Мета дослідження: створення діючою моделі компактного маятника Фуко на базі кафедри фізики та методики її навчання ХДУ.

Для досягнення мети дослідження були поставлені наступні **завдання:**

1. Вивчити теоретичний матеріал з досліджуваної теми;
2. Дослідити історію створення та фізичні основи роботи маятника Фуко;
3. Описати найбільш відомі та діючі маятники Фуко у світі та в Україні.
4. Дослідити існуючі проекти компактних маятників Фуко.
5. Реалізувати авторський проект зі створення компактного маятника Фуко на базі кафедри фізики та методики її навчання Херсонського державного університету.

Об'єкт дослідження – маятникові системи.

Предмет дослідження – маятник Фуко.

Методи дослідження: теоретичний аналіз літературних і Інтернет-джерел інформації, моделювання фізичних процесів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в створенні оригінального компактного маятника Фуко.

Практичне значення одержаних результатів полягає у систематизації матеріалу про історію створення маятника Фуко, принцип роботи, про різні види моделей маятника, створених по всьому світу. Запропонована діюча модель маятника Фуко може використовуватись в навчальних цілях на кафедрі фізики та методики її навчання Херсонського державного університету, а також в інших університетах і закладах середньої освіти.

Апробація результатів дослідження: основні результати роботи опубліковано в науковій збірці ХДУ «Магістерські студії» (2020 рік) у статті «Варіант компактного маятника Фуко».

Робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дипломної роботи становить 47 сторінок. Список використаних джерел становить 41 найменування.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРІЯ МАЯТНИКА ФУКО

1.1 Історія маятника Фуко

Перед тим як приступити до опису знаменитих дослідів Фуко з маятника, не можемо обійти мовчанням, що дослід цей відомий був деяким вченим ще за 159 років до народження Фуко і за 191 рік до виробництва їм своїх дослідів.

Спостерігати за гойданнями світильників в соборі, виявляється, любив не тільки Галілей. Цю пристрасть він передав і своєму учневі Вінченцо Вівіані. У 1660 р. на відміну від Галілея він звернув увагу на іншу особливість коливань маятника на довгій нитці.

Виявляється, площину їх хитань постійно відхиляється, причому завжди в одну і ту ж сторону – за годинниковою стрілкою, якщо дивитися на маятник зверху вниз. А в 1664 р вчений з міста Падуї Джованні Полени пов'язав це відхилення з обертанням Землі – мовляв, Земля обертається, а площину коливань маятника як була, так і залишається. Ось і спостерігається це стоять на Землі людьми як відхилення площини хитань маятника.

Але виявляється, це властивість маятника було відомо і всюдисущим древнім. Дійсно, нове – це добре забуте старе. Ось що писав з цього приводу у своїй «Природній історії» римський вчений Пліній Старший, який жив в I ст. до н. е.: «Є можливість влаштувати компас без магніту. Для цього потрібно взяти маятник і змусити його коливатися за певним напрямом. При поворотах корабля маятник буде зберігати в своїх коливаннях заданий йому напрямок».

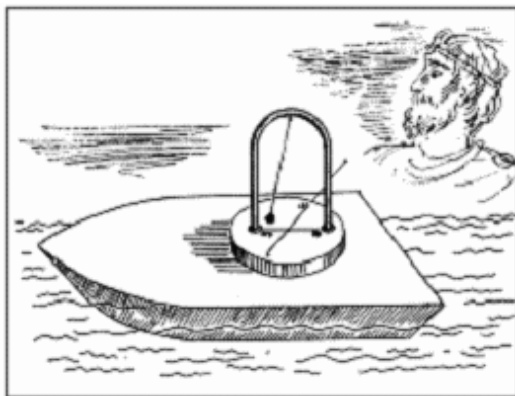


Рис.1.1. Компас Плінія Старшого на кораблі

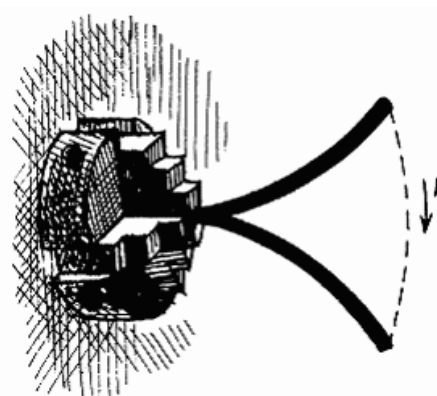


Рис.1.2. Пруток, затиснутий в обертовому патроні, не змінює площину коливань

Під дослідом Фуко розуміються спостереження над вільно коливаючим маятником, причому останній, зберігаючи в дійсності задану йому площину качання незмінною, видимим чином відхиляється в бік, протилежний напрямку добового обертання Землі, тобто за годинниковою стрілкою. Це цікава властивість маятника була відомо деяким вченим задовго до дослідів самого Фуко, причому Фуко про ці досліди і спостереження вчених нічого не знав і до свого доказу добового обертання Землі за допомогою маятника прийшов (як побачимо далі) абсолютно самостійним шляхом.

Яким же чином стали відомі науці ці "досліди Фуко", задовго до Фуко? Щоб відповісти на це питання, доведеться забігти вперед.

У квітні 1851 року, тобто вже в той час, коли ім'я Фуко, як нового Колумба, який відкрив Америку наочний доказ добового обертання Землі, гриміло по всьому світу, коли фізики і астрономи всіх країн багато говорили, писали і читали про маятник, директор Музею фізики і природної історії у Флоренції, вчений Антінорі, пише члену паризької Академії наук, Франсуа Араго, лист, в якому розповідає про "старовинні спостереження членів Академії дель-Чіменто над гойданнями маятника". Грунтуючись на цьому листі і ще на деяких пізніших даних, ми і постараємося розібратися в "дослідах Фуко до Фуко".

У 1657 році у Флоренції, під заступництвом великого герцога тосканського Фердинанда і його брата принца Леопольда Медічі, заснована була стала згодом знаменитої своїми дослідженнями Академія дослідів. Проіснувала ця академія не більше 10 років і була закрита за дуже характерному приводу: римський папа зажадав скасування цієї єретичного установи, відмовляючись в іншому випадку дарувати кардинальського капелюх колишньому її голові, принцу Леопольду. Академія ця мала серед своїх членів ряд чудових фізиків-експериментаторів. Найвідомішим з них був "останній учень Галілея", як він сам себе називав, Вінченцо Вівіані (1622-1703). Йому-то і належить, очевидно, перше в історії спостереження над видимим відхиленням площині хитання маятника. У його невиданих паперах є наступне: "Ми помічаємо, що все одноритні маятники мають властивість відхилення площині гойдання, і завжди в одну і ту ж сторону, за напрямками АВ, CD, EF (рис. 1.3) тобто з права наліво".

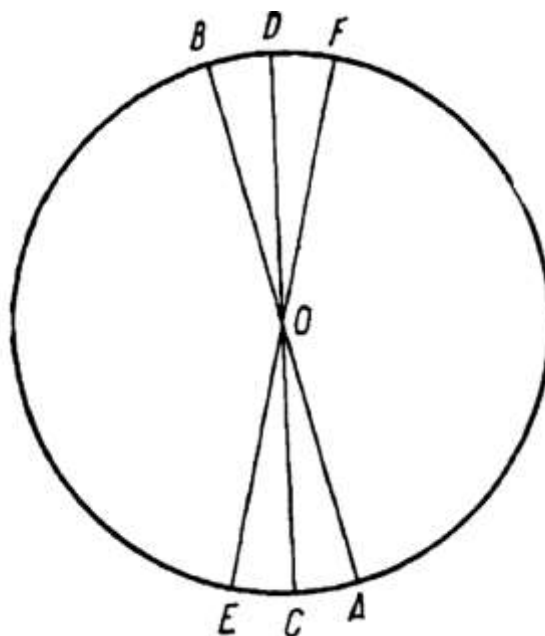


Рис.1.3. Відхилення коливань маятника по малюнку Вівіані

Записка ця відноситься, за всіма даними, до 1660 року, пізніше - до 1661-му. Крім цієї записки, є ще два спостереження над зміною площині

хитання маятника, що відносяться до тих же часів. Одна із записок - без підпису; інша, датована 28 листопада 1661 року підписано Гарджіоні і містить такі відомості:

1. Видима зміна площини коливань маятника особливо зручно спостерігати, насипавши під маятником трохи мармурової пудри, на якій вістря маятника залишало б сліди;

2. Маятник, все більше відхиляється від свого колишнього положення, описує вже не вертикальну дугу, але мабуть починає рухатися по овальній спіралі.

Зрозуміло одне: спостерігаючи видимий рух площині хитання маятника, флорентійські академіки обмежувалися записом того, що вони бачили, не намагаючись зрозуміти, чому саме відбувається спостережуване ними явище. Але вже в 1669 році вчений фізик в Падуї, Джіованні Полени, кажучи про дослідження руху маятника Гюйгенсом, пише: "Таким чином ми відзначаємо (беручи до уваги гіпотезу обертання Землі), що хитання маятника не опишуть навіть і однією дуги в одній і тій же площині".

Ця замітка є першою спробою правильного пояснення досліду з маятником. Далі, в 1782 році Пуансіне де Сиври, переводячи "Натуральну історію" Плінія, робить зауваження: "Є можливість влаштувати компас без магніту. Для цього потрібно взяти маятник і змусити його гойдатися за певним напрямом. При поворотах корабля маятник буде зберігати в своїх коливаннях заданий йому напрямок, Питання тільки в тому, як підтримувати коливальну силу маятника". Відомий історик фізики Поггендорф каже з цього приводу: "Так як Пуансіне де Сиври не був ні математиком, ні фізиком, то ці слова вказують ще на одного попередника в цій справі". Нарешті в 1833 році подібні ж досліди з вельми задовільними результатами розробив вчений Бартоліні в Ріміні (Італія).

Така коротка (і цілком ймовірно далеко не вичерпна) історія "дослідів Фуко до Фуко".

Для нас важливо відзначити дві обставини:

1. Спостереження видимого відхилення площині хитання маятника під впливом добового обертання Землі безсумнівно мали місце і до дослідів Фуко;

2. Сам Фуко про роботи своїх попередників нічого не знав і прийшов до думки про застосування маятника для наочного доказу добового обертання Землі абсолютно самостійно.

Цікаво простежити за тим ланцюгом висновків, яка привела Фуко до думки шукати в русі вільно коливаючого маятника доказ добового обертання Землі. Вказівка на це ми знаходимо в наступних цілком ясних і точних словах самого експериментатора: "Незалежність площині коливання від точки приросту може бути виявлена легко відтвореним дослідом, який направив мене цим шляхом. На осі токарного верстата і за її направленням укріпимо круглий, гнучкий, сталевий прут; виведемо його з положення рівноваги і надамо самому собі, привівши його у коливальний рух ...

Якщо тепер приведемо рукою вісь верстата в обертальний рух, то побачимо, що площина коливання не бере участі в цьому обертанні ". Встановивши цей факт, Фуко природно перейшов від спостережень над коливаннями стрижня до спостережень над коливаннями вільно підвішеного маятника. Перші його досліди в цьому напрямку були зроблені в будинку його матері в Парижі, на розі вулиць Асс і Вожирар. Місцем виробництва дослідів був обраний льох, в вершині склепі якого Фуко приробив великий шматок металу. До нього прикріплювалася дрiт із загартованої сталі завдовжки в 2 м, що закінчувався латунною кулею масою 5 кг вістрям вниз.

Пуск цього приладу проводився так: на сочевицю надягала дротова петля, діаметром, значно більшим її, до петлі прив'язувалася

нитка; куля відводилась у бік і закріплювався в такому положенні прив'язаною нитки до стіни льоху. Коли куля переходила в стан спокою, Фуко перепалював нитку; дротова петля падала на землю, і куля починала повільні коливання. Дуга коливання в цих дослідах була від 15° до 20° . Відхилення площини хитань внаслідок добового обертання Землі було ясно видно оку приблизно через півгодини.

Але Фуко не заспокоївся на такому результаті: він придумав спеціальне пристосування, щоб помічати відхилення площині хитань маятника раніше, ніж через півгодини. Під вістря сочевиці Фуко ставив на землю ще одне вістря, спрямоване прямовисно вгору так, щоб в нерухомому стані маятника це вістря трохи стикалося з вістрям сочевиці.

Які ж результати цих перших дослідів Фуко в погребі? Ось маленький уривок з його записів:

"П'ятниця (3 січня), з 1-2 години (Ночі). Перший дослід. Результат сприятливий, нитка лопнула.

"Середа, 8 січня, 2 години ранку (тобто ночі). Маятник повернувся в сторону добового обертання небесної сфери".

Так встановлюється дата першого цілком вдалого досліду з маятником.

Отримавши в погребі задовільні результати, Фуко розповів про новий відкритий ним способі доказу добового обертання Землі колегам по науці - паризьким фізикам і астрономам. Дослідом зацікавилися, і директор паризької обсерваторії Араго запропонував невтомному експериментатору повторити досліди в більш значних розмірах, дозволивши йому скористатися для цієї мети залом меридіанного кола обсерваторії. За допомогою механіка Фромана, Фуко встановив свій маятник в цьому приміщенні, причому довжина нитки була вже 11 м, так що відхилення площині хитання маятника було видно вже після двох повних коливань. Досліди в обсерваторії відбулися в другій половині

січня 1851 року. Третього лютого того ж року Фуко представив про свій дослід письмове повідомлення в паризьку Академію наук, описавши всю обстановку експерименту і встановивши закон відхилення площині хитання маятника:

$$a = b \sin \varphi$$

де a – видимий кут відхилення маятника,

b – кут повороту земної кулі за той же проміжок часу,

φ – широта місця спостереження.

Для оцінки цього повідомлення академією були призначені вчені: Араго, Пулье і Біне.

Дослід Фуко скоро став відомий всьому тодішньому вченому світу. Всі хотіли дізнатися докладніше про пристрій, приведення в дію і теоретичному обґрунтуванні дивовижного маятника, який робив добове обертання Землі, яке можна було побачити своїми очима. Записки, заперечення, питання посипалися за адресою і Академії Наук і самого автора дослід. Не обійшлося і без курйозів. Один заповзятливий буржуа "зрозумів" дослід Фуко в тому сенсі, що Земля своїм обертанням надає руху маятник, і таким чином виходить невичерпне джерело енергії - свого роду вічний двигун. Чому не заробити на такому вигідному справі? І буржуа пише Фуко лист: "Пане Фуко! Я дуже хотів би мати один з ваших маятників, що приводяться в рух за допомогою обертання Землі. Скажіть, будь ласка, де міг би я придбати такий? Буду вам надзвичайно вдячний за вказівку ". Коли було опубліковано вже відомий нам лист директора флорентійського музею Антінорі до ворогів про спостереження академіків дель-Чіменто, підняли голову заздрісники і вороги Фуко; вони пустили чутку, що він плагіатор і що ідея блискучого дослід вкрадена ним у Вівіані і ін.

Як би там не було, галас, вироблений дослідом Фуко, був настільки великий, що дійшов навіть до вух президента Французької республіки, принца Луї-Наполеона, який вирішив терміново поставити дослід в більших масштабах, з тим, щоб демонструвати його публічно. Принц-президент і піддані йому бонапартисти і клерикали керувалися в даному випадку, не цілями народної освіти, а бажанням використовувати маятник для відволікання від більш важливих питань (підготовки до оголошення другий монархії). Рішення президента було повідомлено Фуко в такій формі: "президент республіки побажав, щоб дослід був повторений з усіма можливим перевагами в Пантеоні".

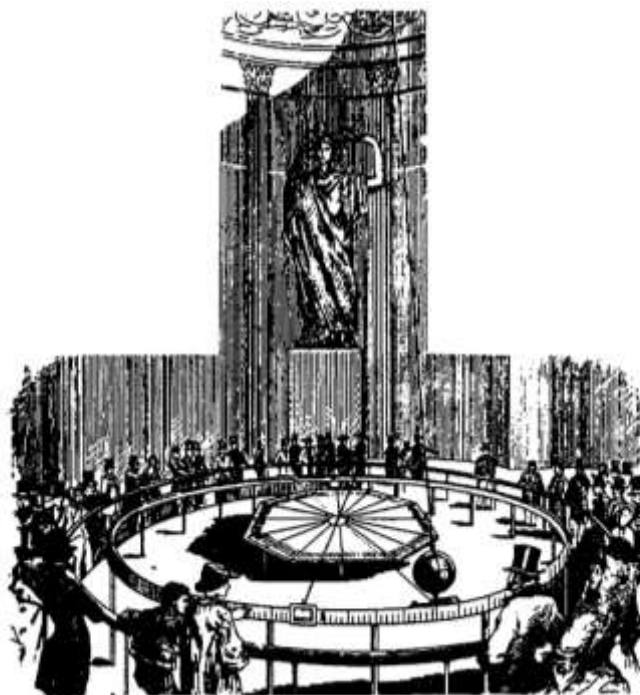


Рис.1.4. Демонстрація Фуко а Паризькому Пантеоні (квітень 1851 р.)

"Бажання президента" було приведено у виконання дуже швидко, і маятник, "показує наочно обертання Землі", був відкритий для огляду вже в квітні того ж 1851 року (рис.1.4 та 1.5).

Масштаби дослідів були дійсно величезні: нитка – сталевий дріт 1,4 мм в діаметрі, довжиною 67 м, маса вантажу – 28 кг; період коливань

– 16 с, причому сочевиця здійснювала за цей період часу шлях (туди і назад) в 14 м. Відхилення площини коливань за той же час становило 2,5 мм.

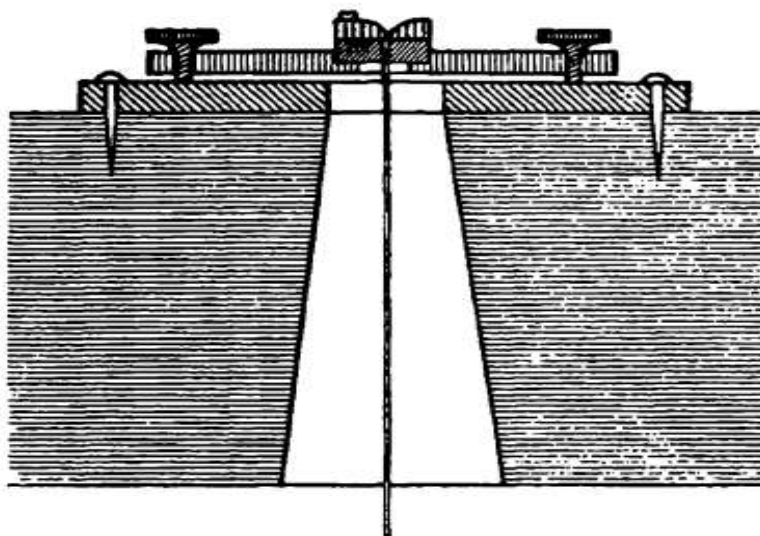


Рис.1.5. Підвіс маятника Фуко в Пантеоні

Щоб зробити дослід ще більш наочним, по обидва боки, на відстані близько 6 м від центру розмахів, були насипані купки піску, так що вістря сочевиці залишали на цьому піску сліди площини хитання маятника, весь час відхиляється справа наліво. Яке враження справляла демонстрація досліду на аудиторію, можна судити хоча б по вигуку, що вирвався у одного з присутніх: "Що було б, як би Галілей свого часу міг так відповісти кардиналу Беллармін і іншим інквізиторам на їх доводи про неможливість обертання Землі!"

При слові "так" говорив на плавно коливаючий перед ним маятник. Досліди в Пантеоні тривали весь рік і були раптово припинені через державний переворот 2 грудня 1851 року.

Інтерес до досліду протягом кількох наступних років не ослаб, так як, судячи зі звітів паризької Академії наук, весь час інші вчений поміщали на сторінках офіційного органу Академії інформацію, пояснювальні статті, а іноді й цілі дослідження про маятник Фуко. Самому Фуко при його житті теж довелося ще раз встановити і

демонструвати свій дослід. Це було на Всесвітній Паризькій виставці в 1855 році. На цей раз демонстрація дослідів була вдосконалена; разом з маятником, Фуко виставив особливий електромагнітний механізм, призначення якого було підтримувати затухаючі коливання маятника, періодично посилюючи йому силові імпульси (рис.1.6).

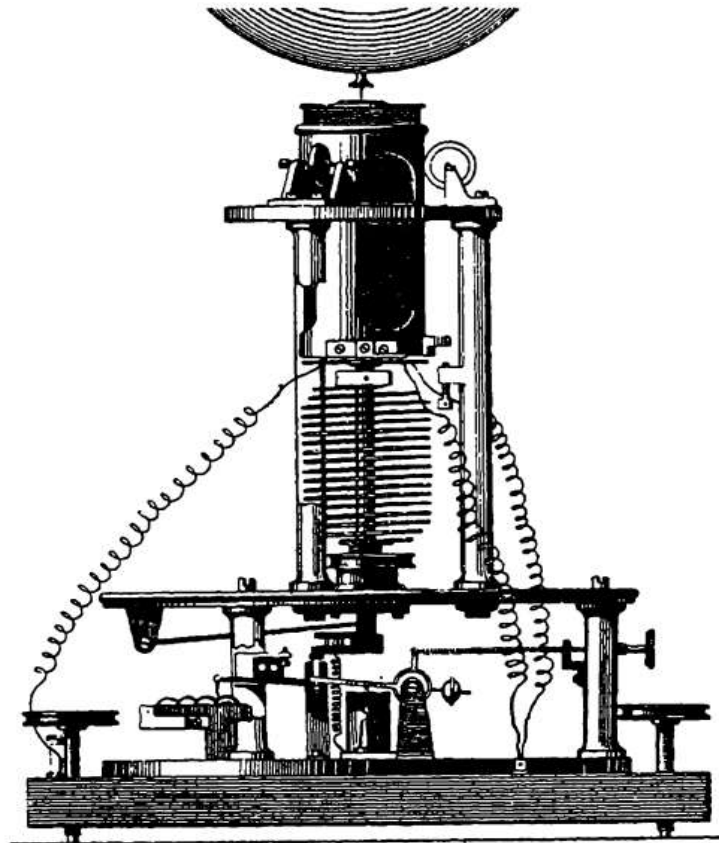


Рис.1.6. Електромагнітний пристрій для підтримки коливань

Ось такими були знамениті установки і демонстрації "дослідів Фуко", пророблені автором цього історичного експерименту. Прилади, що служили Фуко при його демонстраціях, на щастя не втратились для потомства. До теперішнього часу в центральній вітрині 26-й залі Національної консерваторії мистецтв і ремесел в Парижі зберігаються:

- 1) сочевиця маятника Пантеону,
- 2) маятники Фуко 1851 і 1855 року,
- 3) електромагнітний апарат з виставки 1855 року,

4) прилад Сильвестра, який показує, як змінюється відхилення маятника в різних широтах,

5) глобус, на якому нанесені послідовні напрямки площині хитання маятника.

Будинку матері Фуко, в погребі якого її син вперше почав свої досліди, в даний час не існує: на місці його побудували нову будівлю. На розі фасаду цього будинку є дві дошки: одна із зображенням маятника, інша з написом: "Тут височів будинок, де помер 11 лютого 1868 Жан-Бернар-Леон Фуко, член Інституту, який народився в Парижі 19 вересня 1819 року. Будинок цей так і відомий у парижан під назвою: "Будинок маятника".

Маятник Фуко - це маятник, який використовується для того щоб продемонструвати добове обертання Землі. Наявність добового обертання відповідально за поступовий поворот площини коливань маятника. Вперше ефект продемонстрований Л.Фуко (1851 рік), в даний час в світі є діючі маятники Фуко, використовувані в демонстраційних цілях.

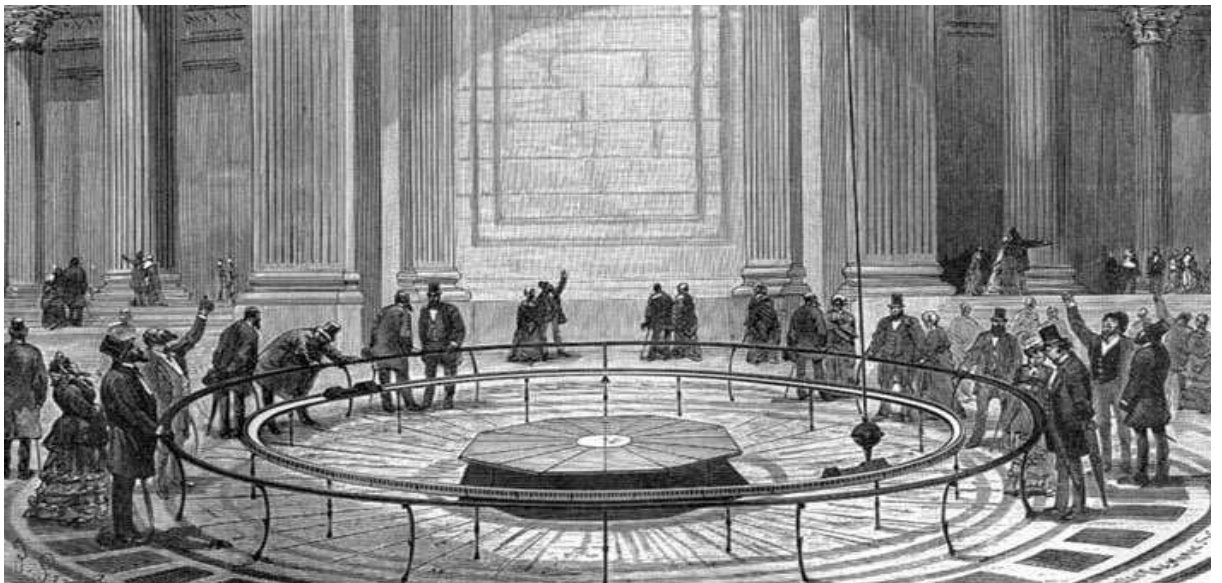


Рис 1.7. Жан Фуко і його маятник

Найбільший в історії маятник Фуко - з довжиною нитки 98 метрів – перебував з 1931 до 1986 року в Ісаакіївському соборі в Санкт-Петербурзі. Під час проведення екскурсії відвідувачі могли спостерігати за експериментом: площину обертання підвішеного під куполом маятника поверталася, і стрижень збивав сірникову коробку на підлозі.



Рис.1.8. Маятник Фуко в Ісаакіївському соборі

У 1986 році маятник через несправність підвісного механізму зняли і помістили в музей Ісаакіївського собору.

Той факт, що Земля обертається навколо своєї осі, сьогодні відомий кожному школяреві. Однак не завжди люди були переконані в цьому: виявити обертання Землі, перебуваючи на її поверхні, досить важко. Звичайно, можна здогадуватися, що добове рух небесних тіл по небесній сфері - це і є прояв обертання Землі. Але ми вбачаємо це явище саме як рух Сонця і зірок по небу.

Як тільки основні дані дослідів Фуко стали відомі вченому світу, у всіх наукових центрах Європи, та й інших частин світу, почалися повторення і різні вдосконалення експерименту великого французького

фізика. Особливо насичений такими повтореннями був перший рік постановки досліду самим автором - 1851 рік.

Ось найбільш значні експерименти цього року:

1) В тому ж Парижі і в тому ж меридіаном залі Паризької обсерваторії, у другій половині січня де працював сам Фуко, французький фізик і математик Браве провадив досліди над конічними маятника. Він встановив (у другій половині 1851 г.) два маятника, з яких один був довжиною 10,2 м, а інший 10,1 м. Вантажом йому служив мідний циліндр, наповнений ртуттю, масою 10,55 кг. Свої теоретичні міркування і результати дослідів Браве виклав в статті, надрукованій в журналі Ліувілль в 1854 році.

2) В травні того ж року член Філософського товариства в Ліверпулі Сміт повідомив паризькій Академії наук, що дослід Фуко був повторений ним в Ліверпулі.

3) Баден Поуел продемонстрував дослід в Оксфорді в Радкліфської бібліотеці. Довжина маятника 24,15 м, маса близько 5,49 кг.

4) Т. Бунт двічі провадив досліди в Брістолі:

а) перший раз в церкві Миколая (довжина маятника - 15,9 масою - 24 кг);

б) в Інституті філософії (довжина - 6,82 м, маса 15,8 кг).

5) Гальбрайт і Гаутон відтворили 10 дослідів в Дубліні (довжина маятника становила 10,62 м).

6) У травні того ж 1851 року вчені Дюфур, Вартманн і Маріньяк повторили дослід в Женеві (довжина маятника 20 м, свинцева тягар масою 12 кг). Їх спостереження встановили різницю між величиною відхилення маятника, що коливається по меридіану і по паралелі; за їхніми даними отримувалось, що відхилення маятника, що коливається по паралелі, дещо менше.

7) У червні дослід був повторений Морреном в Ренні, в актовій залі Факультету наук (довжина маятника - 19,70 м, масою - 30 кг).

Цікаво, що результати спостережень цього вченого прямо протилежні результатам женеvських учених. Морро знайшов різницю відхилень маятника, але, за його даними, менше відхилення виходить коли коливання маятника в площині меридіана.

8) У вересні відбулися досліди д'Олівейра в Ріо-де-Жанейро (Південна Америка) на $22^{\circ} 54'$ пд. Широти (перший випадок досліду Фуко в південній півкулі). Довжина маятника - 4,365 м, масою вантажу - 10,5 кг.

9) Момене повторив дослід в Реймсі в кафедральному соборі. Вантаж для цього досліду був виготовлений Момене під наглядом самого Фуко. Маятник ще кілька разів служив для демонстрації досліду в різних місцях і при різних обставинах. Маса його - 28 кг, довжина - 40 м.

10) Патер Секкі відтворив дослід Фуко в Римі в церкві св. Ігнатія. Довжина маятника - 31,89 м; маса - близько 28,5 кг. Результати дослідів Секкі оприлюднені в Записках Ватиканської академії.

11) У тому ж 1851 році Лампрей і Шоу повторили дослід в Коломбо, на Цейлоні (північна широта - $6^{\circ} 56'$). Довжина маятника - 20 м, маса - 22,8 кг.

Крім перерахованих вище, демонстрації повторювались також в Кельні, Нью-Йорку, Дубліні та інших містах.

У 1852 році відбулися п'ять серій дослідів Гарті в Кельні, в Кельнському соборі. Довжина маятника близько 50 м; досліди відбулися від 24 травня до 14 червня і були проведені надзвичайно ретельно; саме, підвіс маятника був виготовлений за способом Кардана (два вкладених одне в інше кільця, що забезпечують незалежність точки підвісу в яких би не було нахилів вправо і вліво). В результаті, середні дані з 36 дослідів відрізнялися від обчислених за формулою Фуко менше, ніж на $1/8$ хвилини дуги при загальному відхиленні маятника за 1 годину понад

11°. Гарті виклав свої спостереження і отримані результати в особистій книзі.

Той же 1852 рік слід відзначити як початок нового напрямку в спостереженнях над маятником Фуко. Це новий напрямок складалося в ідеї заміни великий демонстраційний маятник маленьким, близько 1 м довжини, забезпеченим усіма технічними пристроями, що забезпечують точність спостереження. Перша ідея такого складного лабораторного маятника належить італійському вченому Порро, але особливу увагу було звернуто на неї тільки тоді, коли ідея ця була підтримана найбільшим математиком всіх часів Карлом Гаусом. У листі до Гумбольдта від 10 травня 1853 року Гаус пише, що він вважає надзвичайно цікавим і цілком можливим побудувати маятник лабораторних розмірів, забезпечений кардановим підвісом і іншими технічними пристосуваннями, який давав би можливість точного спостереження відхилення площині коливань. Однак, очевидно, цим листом і закінчилося участь Гауса в роботах з маятником Фуко.

У 1868 році вантаж Реймського маятника Момене вдруте фігурував при повторенні досліду Фуко в кафедральному соборі в Ам'єні (довжина маятника близько 50 м).

У 1879 році відбулися знамениті дослідження Каммерлінг-Оннеса в Гронінгені (Голландія). Це був перший випадок здійснення в лабораторній обстановці ідеї Гауса - Поро. Каммерлінг-Оннес влаштував маятник довжиною всього в 1,2 м. Весь маятник був укладений в посудину, що мав форму усіченого конуса, з-під якого викачане повітря. Спостереження за відхиленням площини коливань маятника проводилися шляхом оптичної установки - в трубу з мікрометричним окуляром (рис. 1.9).

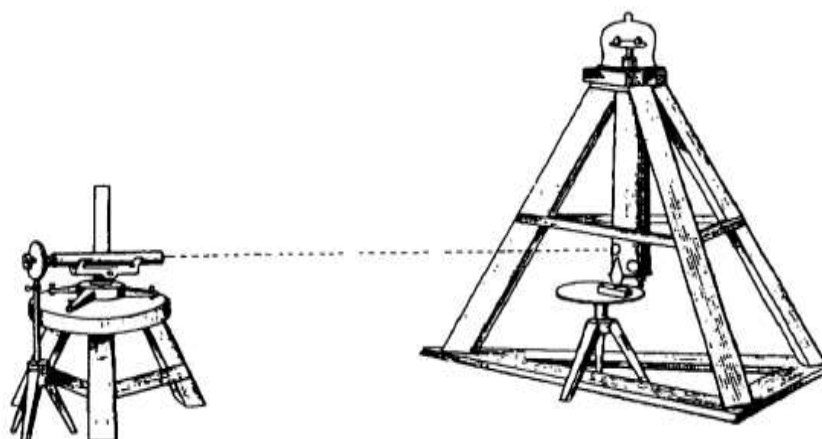


Рис. 1.9. Установка лабораторного маятника Камерлінг-Оннеса

Результати своїх спостережень Каммерлінг-Оннес, так само як і Гарті, виклав в окремій брошурі.

У 1884 році дослід Фуко, в звичайних розмірах, демонструвався в обсерваторії в Жювізі. Довжина маятника становила 10 м. Вантаж цього маятника був виконаний з міді відомою фірмою Секретан. Далі слід згадати ще про двох маятниках, які представляли щось середнє між звичайним демонстраційним маятником і маятником лабораторного типу. Мається на увазі маленькі лабораторні маятники, пристосовані для публічної демонстрації досліду шляхом відкидання тіні маятника на екран.

Це маятник Едельман (1892) і маятник Альфонса Берже (1900) (рис.1.10).



Рис. 1.10. Лабораторний маятник Альфонса Берже

Останній демонструвався на одному з засідань французького Астрономічного товариства (керованого знаменитим Каміллом Фламмаріона). А також був показаний 11 Августа 1900 року делегатам Міжнародного фізичного конгресу у великій лабораторії професора Липпмана в Сорбонні. Ось як описує цю демонстрацію один з російських делегатів з'їзду (професор П. В. Зілов):

"Маятник Фуко, не більше 1 м довжини, підвішувався (Кардан) до дерев'яного триніжок, який містився на лекційному столі. Тінь маятника проектувалася на екран між наклеєними на ньому двома вертикальними смугами чорного паперу; через два-три гойдання вже було помітно переміщення тіні".

Паралельно з різноманітними повтореннями і варіаціями досліду Фуко йшли і теоретичні дослідження цього питання. Ряд вчених, головним чином французьких, присвятили маятнику Фуко свої аналітичні роботи. Це були: Біне (1851), Серре (1872), Бертран (1882), Вілларсо (1879), Лорентца (1886) і ін.

Щоб закінчити історію дослідів з маятника Фуко, вироблених в ХІХ столітті, слід згадати ще про один примітний факт. У 80-х роках ХІХ століття вчений дослідник Жорж Сір побудував досить оригінальний апарат, що дозволяє перевіряти закон синуса (закон відхилення хитань маятника) на всіх широтах. Прилад описаний і зображений в мемуарах Товариства ревнителів в Дубс за 1880 рік. Він являє собою встановлений на глобусі маленький маятник, який може ковзати по цьому глобусу від полюса до екватора. Прилад дає в мініатюрі ту картину явищ, яка вийшла б у установці досліду Фуко на різних широтах.

Початок ХХ століття ознаменувався повторенням досліду Фуко в тому самому паризькому Пантеоні і майже при тих же умовах, як це було зроблено в 1851 році за життя Фуко. Воно було організовано французькою астрономічним товариством, причому найближчим

керівництво було покладено на неодмінного секретаря товариства, відомого астронома-популяризатора Камілла Фламмаріона і Альфонса Берже. Ось яким чином відбулася ця урочисте відтворення досліду.

У засіданні Астрономічного товариства від 8 січня 1902 року член Товариства Вільфрід де-Фонвіель зробив повідомлення про значення досліду Фуко, як кращого і наочно матеріального докази добового обертання Землі; при цьому він висловив думку про те, наскільки корисно було б повторити знаменитий дослід на тому ж самому місці. Пропозиція була негайно прийнята, причому загальне керівництво було покладено на К. Фламмаріона. Він зацікавив міністра народної освіти і домовився з архітектором Пантеону; йому вдалося зафіксувати дату відновлення досліду - 22 жовтень 1902 року. Рівне о 2 годині дня, 22 жовтня стався урочисте повторення історичного досліду (рис.1.11).

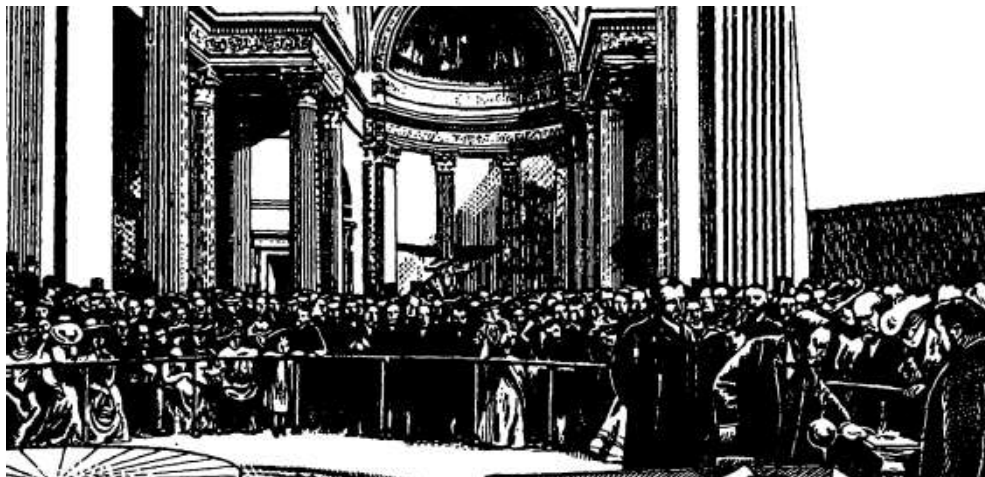


Рис.1.11. 1902 рік, демонстрація досліду Фуко в Пантеоні

Якщо заглянемо в звіти про це торжество, видрукувані в бюлетенях французького Астрономічного товариства, то нас вразить дуже дивний тон опису торжества: мова йде ніби не про науковому експерименті, а про парадному виставі. Серед присутніх: міністр

народної освіти Шомье, міністр торгівлі, представник президента республіки, представник католицької церкви абат Моле, французький Астрономічне суспільство в повному складі, члени сім'ї покійного Фуко, знаменитий композитор Сен-Санс і нескінченна низка генералів, чиновників, депутатів, комісарів і так далі з їхніми дружинами. Мабуть, з усіх сил намагалися створити шум. Для чого? Кому це було потрібно? Відповідь на ці питання знаходимо в промовах міністра освіти Шомье і самого Фламмаріона. Шомье сказав, між іншим, таке: "При вигляді такого грандіозного видовища душа людська підноситься і очищається. Шляхетна краса закону єства постає у всій своїй цнотливості і сліпуче блищить в німбі променів Істини ". Ще помітніше ідеалістичні ноти в промові Фламмаріона, в устах якого астрономія вбирається прямо в богословські шати: "Над релігіями", говорить Фламмаріон, "вона (астрономія) ставить Релігію, над людськими богами вона шанує Бога, вона розглядає чудеса і відкидає забобони". Якщо ми пригадаємо, в чому полягали політичні та розумові рухи того часу, нам стануть зрозумілі справжні рушійні сили цього спектаклю. В екваторіальній Африці - повстання бурів, на Далекому Сході - бунт "Великого Кулака", навіть в задавленою царизмом Росії, і там - сутички, страйки, знаменита "Обухівська оборона", в самій Європі - посилюється бродіння "привиду комунізму", тяга до критицизму і атеїзму. Ось чому, якщо в 1851 році принц- Наполеон використовував дослід в Пантеоні в числі коштів, які допомогли йому непомітно здійснити монархічні задуми, то в 1902 році з дослід Фламмаріона необхідно було створити щось парадне, щоб знову відвернути маси від свідомості необхідності запеклої класової боротьби.

По суті справи в досліді Фламмаріона не було нічого особливо примітного, крім хіба того, що він став першим повним повторенням дослід самого Фуко, в тих же масштабах і на тому ж самому місці, що і в 1851 році. Довжина маятника становила 67.54 м, в якості нитки

фігурувала фортепіанна струна діаметром 0,72 мм, надана для цієї мети директором фабрики роялів Плейель в Ліоні. Тягар маятника була та ж, що в Реймском соборі верб Ам'єні, тобто груз Момене в 28 кг .

Дослід Фламмаріона мав, проте то безсумнівне значення, що він знову порушив інтерес до цього чудового експерименту. Знову посипалися статті та запити, тільки місцем приміщення цих статей зроблено не звіти Академії наук, як в 1851 році, а Бюлетень Французького астрономічного товариства і ряд журналів, в яких співпрацював і частково редагував наукові відділи все той же Камілл Фламмаріон (наприклад, журнал "Космос").

З повідомлень, виступів і пропозицій того часу ми виділимо тут тільки сконструйовану інженером Канневелем мініатюрну модель маятника Фуко. Яка складається з свинцевої кулі, покритою міддю) масою в 1,25 кг, сталевий нитки діаметром 0,36 мм, пристосувань для підвісу, ящика з піском і розділеного картонного циферблату в 50 см в діаметрі для реєстрації відхилення хитань маятника. Все це міститься в одному ящику. Повідомлення про прилад Канневеля проникло в російську періодичну пресу: в журналі "Нива" за 1903 рік вміщено опис цього приладу під заголовком: "Маятник Фуко у себе вдома". В початку 1903 року в Бельгії, в м Монсі, в церкві св. Вандру, дослід Фуко був повторений вченими Ацельсоном і Жоржем Квіньоном (довжина маятника-24 м, маса вантажу -10 кг). Цей дослід цікавий абсолютно ясним натяком на можливість, і навіть необхідність антиклерикальної його використання. Квіньон закінчує своє письмове повідомлення Фламмаріона так: "І ось в тих місцях, де колись засуджували обертання Землі, ми сьогодні демонструємо це всім бажаючим вчитися і йти вперед".

У тому ж році у Відні відбулося ще одне повторення досліду з маятником. Вчений встановив в приміщенні віденської Ротонди маятник довжиною 81 м, з тягарем масою 36 кг (застосований Карданов підвіс).

Це перший випадок установки маятника ще в більших розмірах, ніж в Пантеоні.

14 травня 1911 року дослід Фуко був повторений в Барселоні, в великому залі університету. Виробляв дослід ректор університету Де-Буе, загальна конструкція - під керівництвом інженера Матео Грау. (Довжина маятника -15,9 м, вантаж сталє нікелева, масою 38,71 кг). Дослід цікавий тим, що в ньому вперше був застосований електричний спосіб приведення маятника в дію, а не шляхом перепалювання нитки вручну, як робилося раніше. 16 червня 1912 року дослід був повторений ще в Ліоні професором лімба і абатом Нанті. Установка була зроблена в базиліці Собору богоматері. Довжина маятника була 27,5 м, а вантажем в останній, четвертий, раз послужив тягар Момене, яка і залишається в цьому місті до теперішнього часу.

Заслуговує на увагу також наступний вельми примітний факт. Клерикали, не втрачайте можливості тим чи іншим способом "допомогти" науці (в своїх, зрозуміло, видах), самі вирішили організувати цікавий експеримент і притому в такій країні, яка до останнього часу про маятник Фуко і не думала, саме в Австралії. Вчений Гаген, відомий своєю книжкою про обертання Землі і механічних доказах цього; справедливо знайшов, що в той час в північній півкулі дослід Фуко був проведений безліч разів. А в південній півкулі був тільки один випадок такого експерименту, саме в Ріо-де-Жанейро, а тому було б дуже корисно виконати ще кілька подібних дослідів в південній половині земної кулі. Гаген служив як вчений при Ватиканській обсерваторії. У 1914 році Обсерваторію відвідав патер Вільфрід Райан, асистент Сейсмографічні станції в Сіднеї (Австралія). Гаген: скористався цим випадком і відповідно інструктував: австралійського сейсмограф-клерикала. Після приїзду до Австралії Райану вдалося зацікавити свого директора, патера Пігота, і постановка дослідів відбулася (в соборі, на Базарній площі королеви Вікторії). Були

зняті фотографічним способом коливання маятника (рис. 18); копія знімка була послана в Ватикан, де знімок був збільшений і повішений в одній із зал обсерваторії.

У 1930 році у Відні відбувся другий дослід, на цей раз в куполі музею (Довжина маятника - 42 м, в якості тягаря - гарматне ядро в 40 кг). Дослід чудовий тим, що в ньому вперше в якості підвісу застосований кульковий підшипник, що дає можливість майже повністю уникнути закручування нитки маятника. Нам залишилося викласти коротко найголовніші характеристики, що стосуються сучасних постійно діючих маятників усього світу.

1.2 Фізичні основи маятника Фуко

Спочатку розглянемо які існують маятники та їх характеристики.

Фізичний маятник – осцилятор, який представляє собою тверде тіло, яке здійснює коливання в полі якихось сил відносно точки, яка не являється центром мас цього тіла, або нерухомої осі, перпендикулярно направленою дії сил і не проходить через центр мас цього тіла.

Період малих коливань фізичного маятника:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgh}} \quad (1.1)$$

Математичний маятник – осцилятор, який представляє з себе механічну систему, яка складається з матеріальної точки, що знаходиться на невагомій і нерозтяжній нитці або стержні в полі тяжіння.

Період малих коливань математичного маятника довжиною l в полі тяжіння з прискоренням вільного падіння g приблизно дорівнює:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1.2)$$

і як можна побачити період коливань математичного маятника явно не залежить від амплітуди і маси маятника.

Пружинний маятник – осцилятор, представляє собою пружину, один кінець якої жорстко закріплений, а на другому розташований вантаж.

Період коливань пружинного маятника с коефіцієнтом жорсткості k і масою вантажу m приблизно дорівнює:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (1.3)$$

Незважаючи на свою простоту, з математичним маятником зв'язаний ряд цікавих явищ.

Якщо амплітуда коливань маятника близька до π , тобто, рух маятника на фазовій площині близький до сепаратриси, то під дією невеликої періодичної вимушеної сили система демонструє хаотичну поведінку.

Якщо точка підвісу не рухома, а здійснює коливання, то у маятника може з'явитися нове положення рівноваги. Якщо точка підвісу достатньо швидко коливається вгору-вниз, то маятник отримує стійке положення. Така система називається маятником Капіці.

Маятник Фуко являє собою математичний маятник, площина коливань якого повільно повертається відносно земної поверхні в сторону, протилежну напрямлено обертанню Землі. Тому найбільш наочною ілюстрацією і доказом осьового обертання Землі є коливання маятника Фуко. Ключовою відмінністю маятника Фуко від звичайного математичного маятника є особливість кріплення верхньої частини троса (наприклад, за допомогою карданного шарніра), яка дає змогу маятнику вільно колитися в будь-якій вертикальній площині.

Колівання такого маятника було вперше продемонстровано Жаном Бернаром Леоном Фуко у 1851 р. Під великим куполом паризького Пантеону на тросі довжиною 67 м була підвішена латунна

куля масою 28 кг. Період коливання маятника такої довжини становить близько 17 с.

Під час вільних коливань, коли сил, які могли б вивести маятник з площини коливань, немає, ця площина зберігає свою орієнтацію у просторі. Водночас Земля під цим маятником буде провертатися. Спостерігачам же здаватиметься, що площина коливань маятника повертається у просторі. Якщо такий маятник розмістити точно на географічному полюсі Землі, то площина коливань зробить повний оберт (повернеться на кут в 360°) за 23 год 56 хв 4 с (осьовий період обертання Землі). На менших широтах кутову швидкість обертання площини коливань маятника визначають за формулою:

$$\omega = \omega_{\oplus} \sin\varphi, \quad (1.4)$$

де φ – широта місця спостереження. Тоді для періоду обертання площини коливань отримуємо:

$$T = \frac{T_{\oplus}}{\sin\varphi}. \quad (1.5)$$

Звідси випливає, що зі зменшенням широти період T збільшуватиметься і на екваторі, де $\sin\varphi = 0$, він стає нескінченно великим. Повний оберт паризького маятника Фуко становив ≈ 32 год, тобто за 1 год площина коливань поверталась приблизно на 11° , що не важко було помітити.

Зміщення маятника, встановленого в довільній точці на Землі, можна пояснити дією сили Коріоліса, яка максимальна на полюсах і відсутня на екваторі. В такому випадку, чим менша широта місцевості на якій розташований маятник, тим менша його швидкість відхилення.

На Північному і Південному полюсі Землі (вісь обертання Землі лежить в площині коливань маятника) площина коливань маятника Фуко здійснює поворот на 360° за зіркову добу (на 15° за зіркову

годину), на екваторі (вісь обертання Землі перпендикулярна площині коливань маятника) площина коливань маятника Фуко нерухома, в довільній точці з географічною широтою φ (кут між вісь обертання Землі і площиною коливань маятника

$\alpha = 90^\circ - \varphi$) швидкість обертання площини коливань ідеального маятника Фуко ω_p (в градусах за зоряну годину) відносно площини Землі становить:

$$\omega_p = 15 \sin \varphi . \quad (1.6)$$

Маятник Фуко потребує обережності під час встановлення, тому що неточна конструкція може визвати додаткові відхилення, які маскують ефект обертання Землі.

Для того, щоб виключити вплив підвісу на маятник Фуко, застосовують спеціальні підвіси (рис.1.12.). А для того, щоб уникнути бокового поштовху (тобто, щоб маятник гойдався строго в площині), куля відводять в сторону, прив'язують до стіни, а потім перепалюють мотузку.

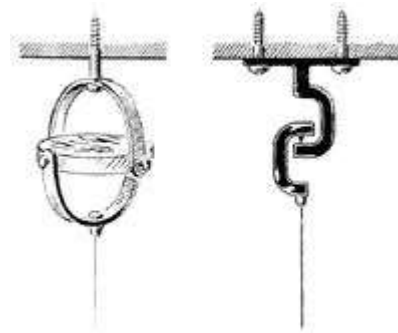


Рис.1.12. Підвіс маятника Фуко

Як пізніше було зазначено, Нобелівська премія Камерлінг-Оннесу, який розробив більш повну теорію маятника Фуко для його докторської дисертації (1879 р.) геометричної недосконалості системи або пружності опорного дроту може викликати між двома горизонтальними модами коливань, які визвали Маятник Оннеса може за час перейти від

лінійного до еліптичного коливання. Також початковий запуск маятника має вирішуючі значення; традиційний спосіб зробити це – використовуючи вогонь, таким чином уникаючи небажаного бічного руху.

Опір повітря гасить коливання, тому деякі маятники Фуко в музеях оснащені електромагнітними або другими приводами; інші запускають регулярно. Крім опору повітря, другою головною проблемою при створенні 1-метрового маятника Фуко в теперішній час, є забезпечення відсутності пріоритетним напрямком качання.

Під час практичного здійснення досліду з маятником Фуко важливо усунути причини, що порушують його вільні коливання. Для цього його і роблять дуже довгим, з важким і симетричним вантажем на кінці. Маятник повинен мати однакову можливість гойдатися в усіх напрямках, бути добре захищеним від вітру. Зміцнюють маятник або на карданном шарнірі, або на горизонтальному шарикопідшипнику, який обертається разом з площиною хитання маятника. Велике значення для результатів досліду має пуск маятника без бокового поштовху. На першій публічній демонстрації досліду Фуко в Пантеоні саме для цього маятник і прив'язали мотузкою. Коли маятник після прив'язування прийшов в стан повного спокою, мотузку перепалили і він почав рухатися.

РОЗДІЛ 2

ДЮЧІ МАЯТНИКИ ФУКО

2.1. Найбільш відомі маятники Фуко у світі

Всього в світі моделей маятників Фуко близько двадцяти, в тому числі в США, Франції, Румунії, Австралії, Кувейті та інших країнах.

Таблиця 2.1

Найбільш відомі маятники Фуко у світі				
Країна, місто	Місце встановлення	Дата встановлення	Довжина нитки м	Маса вантажу кг
Росія, Санкт-Петербург	Ісаакіївський собор	12 квітня 1931 р.	98	28
Японія, Нагасакі	Фукусайдзі	1979 р.	25	-
Італія, Болонья	Базиліка Сан-Петроніо	-	67	28
Литва, Вільнюс	Костел Св. Іоанів	Червень 2011 р.	35	28
США, Нью-Йорк	Генеральна асамблея ООН	1995 р.	24,5	91
Франція, Париж	Пантеон	8 січня 1851 р.	67	28

Пантеон, Париж



Жан Фуко вперше продемонстрував свій експеримент 8 січня 1851 року. У погребі свого будинку в Парижі фізик виконав дослід з маятником довжиною 2 метри. Експеримент викликав підвищений інтерес і вже в березні того ж року він був здійснений публічно. Під куполом Пантеону на сталевому дроті, довжина якої сягала 67 метрів, був підвішений 28-кілограмовий вантаж з вістрям.

Під маятником огородили коло, по периметру якого насипали пісок. Приблизно за 32 години маятник здійснив повний оборот і окреслив на піску траєкторію свого обертання. За допомогою цього експерименту було наочно продемонстровано добове обертання Землі.

Ісаакіївський собор, Санкт-Петербург



На пасхальну ніч з 11 на 12 квітня 1931 року в Ісаакієвському соборі вперше був встановлений маятник Фуко. Близько 7 тисяч глядачів стали свідками наукового тріумфу. Бронзовий куля, підвішений до купола, був приведений в дію для наочної демонстрації обертання Землі. Маятник зняли в 1986 році, а в центр купола, де раніше кріпився трос, повернули голуба - символ Святого Духа. У свою чергу маятник Фуко помістили в сховище Ісаакіївського собору.

Фукусайдзі, Нагасакі



У портовому японському місті Нагасакі на острові Кюсю знаходиться незвичайний храмовий комплекс, який має форму черепахи. Фукусайдзі був заснований китайськими монахами в 17 столітті, але під час атомного вибуху 1945 року був знищений. На згадку про загиблих храм був відновлений в 1979 році. Щодня рівно о 11:02 подзвін - це час вибуху атомної бомби. У храмі над останками 16 500 загиблих під час Другої світової війни підвішений 25-метровий маятник Фуко.

Базиліка Сан-Петроніо, Болонья

Мабуть, найбільш відповідним місцем для демонстрації маятника Фуко став італійський «місто наук», де був заснований найстаріший університет Європи (1088 рік). Кафедральний собор Болоньї, який присвячений єпископу і покровителю міста святому Петронія, будувався

кілька століть, починаючи з 1390 року. Передбачалося, що за розміром він повинен був перевершити собор Святого Петра у Римі, але папа Римський вчасно втрутився в амбітний план.

Проте, базиліка вражає своїми розмірами. Довжина будівлі складає 132 метра, ширина - 66 метрів, висота склепінь - 45 метрів.

Костел Святих Іванів, Вільнюс

Названий на честь Святого Іоанна Хрестителя і Святого Іоанна Євангеліста, костел був побудований в XVIII столітті за проектом Йоганна Крістофа Глаубіца (перше дерев'яна будівля, закладене в 1387 році, згоріло). У 1960-х роках він був переданий Вільнюському державному університету, з яким становить архітектурний ансамбль. У костелі знаходиться єдиний в Литві маятник Фуко.

Побачити його можна, піднявшись на другий поверх 68-метрової дзвіниці, яка була відкрита для відвідування в 2011 році після її капітальної реставрації. Там, в Музеї науки, над мармуровим циферблатом обертається маятник.

Генеральна асамблея ООН, Нью-Йорк

Одним з найвідоміших є маятник Фуко встановлений у вестибюлі Генеральної асамблеї ООН у Нью-Йорку (подарунок Нідерландів 1955 р.). позолочена куля масою 91 кг коливається на тросі довжиною 24,5 м. Карданний шарнір дозволяє сфері вільно гойдатися в будь-якому напрямку. Встановлений під маятником електромагніт компенсує тертя об повітря, забезпечуючи рівномірний рух маятника. Повний оберт площина коливань цього маятника робить за 36 год 45 хв. За допомогою математичних розрахунків встановлено, що період обертання варіюється в залежності від географічної широти пункту земної поверхні, в якому знаходиться маятник.

2.2 Діючі маятники Фуко в Україні

Таблиця 2.2

Діючі маятники Фуко в Україні				
Місто	Місце встановлення	Дата встановлення	Довжина нитки м	Маса вантажу кг
м. Київ	Київський політехнічний інститут	Лютий 2011 р.	22	43
м. Харків	Харківський планетарій	Вересень 2012 р.	6	28
м. Ужгород	Ужгородський національний університет	Вересень 2013 р.	22	43
м. Переяслав - Хмельницький	Музей космонавтики	Липень 2015 р.	25	-
м. Луцьк	ТРЦ "Адреналін Сіті"	Липень 2015 р.	12	-

м. Київ, Київський політехнічний інститут



6 вересня в Науково-технічній бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» урочисто відкрито погруддя видатного французького фізика і астронома, члена Паризької Академії наук Жан Бернар Леон Фуко (1819 - 1868). Автором погруддя є відомий скульптор - заслужений художник України Анатолій Валієв. Місце і час відкриття бюста обрано не випадково: в лютому цього року тут уже відкрито єдиний в Україні маятник Фуко. Більш того, в 2011 році виповнилося 160 років від запуску першого такого маятника в Паризькому Пантеоні, а в цьому місяці виповнюється 192 роки з дня народження винахідника.

Варто додати, що перед тим як бюст Фуко був відкритий поглядам присутніх (а їх на церемонії було дуже багато), їм була презентована нова система підтримки коливань маятника, індикації часу і кута зміщення площини коливань відносно земної поверхні. Завдяки цим пристосуванням з цікавого приладу, що наочно демонструє обертання Землі, маятник Фуко, побудований в бібліотеці НТУУ «КПІ», перетворений на справжній лабораторно-дослідний комплекс.

Такий маятник - є математичним маятником, причому відхилений від урівноваженого стану, він робить коливання в площині нерухомої системи відліку. Маятник Фуко Київської політехніки має висоту 22 м, діаметр бронзової кулі - 28 см, вага - 43 кг.

м. Харків, Харківський планетарій



24 вересня 2012 р запускений маятник Фуко в музеї «Космос» Харківського планетарію. Маятник Фуко - найвідоміший прилад, який доводить добове обертання планети навколо своєї осі. Подія приурочена Дню осіннього рівнодення і Дню миру.

м. Ужгород, Ужгородський національний університет

18 вересня 2013 р. у фойє головного корпусу Ужгородського національного університету відбулось урочисте відкриття унікального маятника Фуко, який демонструє добове обертання Землі.

Особливістю пристрою, встановленого в УжНУ, є те, що це єдиний в Україні та на пострадянському просторі маятник Фуко безперервної дії.

м. Переяслав – Хмельницький, Музей космонавтики

Експозиція музею налічує понад 450 експонатів. Всі вони розташовані в п'яти умовних залах, що визначені архітектурними особливостями церкви. Експозиція демонструє вітчизняну історію освоєння космосу, дозволяє побачити предмети, які використовувались під час космічних польотів. Центральне місце в ній займає маятник Фуко – перший в Україні.

РОЗДІЛ 3

МАЯТНИК ФУКО НА КАФЕДРІ ФІЗИКИ ТА МЕТОДИКИ ЇЇ НАВЧАННЯ ХДУ

3.1. Проєкти компактних маятників Фуко, які можна зробити вдома

1. Прив'яжіть до олівця нитку з грузилом - наприклад, з гайкою. Покладіть на стіл лінійку і, тримаючи олівець горизонтально, підштовхніть маятник, щоб він гойдався уздовж лінійки (рис. 3.1). Почніть поступово повертати олівець в горизонтальній площині. Ви переконаєтеся, що поворот олівця не вплинув на маятник, він буде як і раніше гойдатися вздовж лінійки. Під час цього досліду не повинно бути вітру, протягу, які могли б вплинути на маятник.

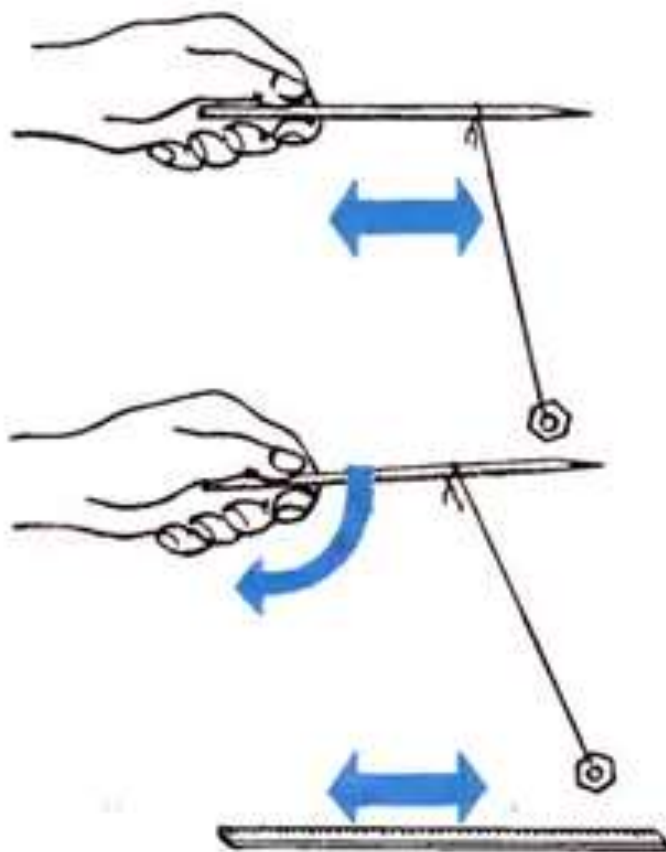


Рис. 3.1

2. Можна перевернути догори ногами табуретку і зміцнити на кінцях двох її ніжок, по діагоналі, якусь дерев'яну палицю або металеву трубку, а до середини її прив'язати маятник. Примусьте його гойдатися так, щоб площина його гойдання проходила між ніжок табуретки. Повільно повертайте табуретку навколо її вертикальної осі, і ви помітите, що тепер маятник гойдається вже в іншому напрямку (рис. 3.2). Насправді він гойдається все також, а зміна відбулася з-за повороту самої табуретки, яка в даному досліді грає роль нашої Землі.

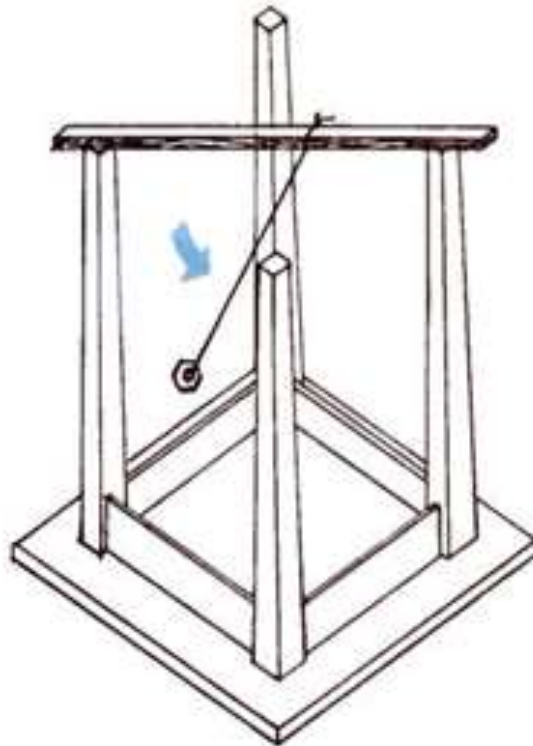


Рис. 3.2

3. Візьміть дерев'яну дошку довжиною 50-60 сантиметрів, завширшки 12-15 сантиметрів і товщиною 2-3 сантиметри. Зміцніть на ній П - образну підставку з вузьких дерев'яних рейок. Висота підставки має бути близько 30-40 сантиметрів. В середині верхньої поперечини просвердлите вертикальний отвір і вставте в нього шматочок дроту, загнув верхній кінець, щоб він тримався в отворі. Нижній кінець зволікання загніть гачком, на ньому буде підвішений маятник. Цей гачок повинен вільно обертатися в своєму гнізді.

На тонкому шнурку підвісьте до гачка який-небудь важкий тягарець (велику гайку, велику кульку від підшипника, загорнувши його в ганчірочку).

Розгойдайте маятник так, щоб його розмах не перевищував довжини підставки. Повертаючи підставку навколо її вертикальної осі проти годинникової стрілки, ви тим самим як би повторить в мініатюрі обертання Землі із заходу на схід. Наша модель Землі повертається, а маятник продовжує коливатися в тій площині, в якій він був запущений.

3.2 Опис діючої моделі

Маятник складається з таких елементів:

- металева пластина,
- втулка із затискачем для струни,
- потай для кулькового підшипника,
- кульковий підшипник $d=15$ мм,
- гітарна струна,
- куля (вантаж) із затискачем для струни
- тринога

Підвіс для нашої моделі маятника ми робили з металевої пластини в якій був зроблений потай для зовнішнього діаметру підшипника, який був запресований в пластину з потаєм. У внутрішній діаметр підшипника запресована втулка з затискачем для струни (рис.3.3).



Рис. 3.3. Схема підвісу маятника

Гітарну струну вирішили взяти, тому що вона не буде так деформуватися під вантажем, як це би було з ниткою. Вантаж, кулястої форми, був зроблений з цементно-гранітного розчину, також по центру кульки було зафіксовано затискач для струни (Рис. 3.4).



Рис. 3.4. Затискач для струни на вантажі

Проект зі створення компактного маятника Фуко для використання в навчальних цілях на базі кафедри фізики та методики її навчання Херсонського державного університету представлено в наступних картинках.



Зовнішнє кільце нерухомо закріплене у металевій платівці, яка кріпиться на тринозі. Довжина нитки становить близько 1 м. За розрахунками період коливань такого маятника дорівнює майже точно 2 с. Для широти м. Херсона $\varphi = 46^\circ$ згідно з формулою (1.5) площина коливань маятника обертається з періодом 33 год 17 хв і 17 с. Отже, для того, щоб побачити зміщення площини коливань на 1° потрібно чекати 5,5 хв.

ВИСНОВКИ

1. Маятник Фуко є наочнішим доказом обертання Землі навколо своєї осі.

Зазвичай ці маятники роблять великими – з довжиною підвісу в десятки метрів. Тоді за невелику кількість коливань можна побачити зміщення площини коливань.

Проте, якщо знехтувати цією традицією, то довжина маятника може бути будь-якою (у розумних межах). Головними проблемами залишаються вільний підвіс і сила тертя у точці підвісу, яка примушує коливання згасати з часом.

2. Вільний підвіс у нашому проєкті був здійснений за допомогою кулькового підшипника (вальниці) коченя. Нитка (струна) маятника була з'єднана з рухомим внутрішнім кільцем.

Зовнішнє кільце нерухомо закріплене у металевій платівці, яка кріпиться на тринозі. Довжина нитки становить близько 1 м. Період коливань такого маятника дорівнює майже точно 2 с. А площина коливань маятника обертається з періодом 33 год 17 хв і 17 с. Отже, для того, щоб побачити зміщення площини коливань на 1° потрібно чекати 5,5 хв.

Експерименти, здійснені з цим маятником продемонстрували його ефективність. Запропонована діюча модель маятника Фуко може використовуватись в навчальних цілях на кафедрі фізики та методики її навчання Херсонського державного університету, а також в інших університетах і закладах середньої освіти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э. Теория колебаний. М.: Физматгиз, 1959. 915 с.
2. Арнольд В. И., Козлов В. В., Нейштадт А. И. Математические аспекты классической и небесной механики. М.: Эдиториал УРСС, 2002. 416 с.
3. Асламазов Л. Г., Варламов А. А. Удивительная физика. — М.: Наука, 1988. — 160 с.
4. Берклеевский курс физики. Том 1. Киттель Ч., Найт В., Рудерман М. Механика. (1983)
5. Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. — 3-е изд. — М.: Советская энциклопедия, 1969—1978.
6. Борн М. Лекции по атомной механике. Харьков: ОНТИ, 1934. Т. 1.
7. Булатов Л. А., Бертяев В. Д., Киреева А. Е. Анализ движения маятника Фуко., 2010
8. Горелик Г. Е. Новые слова науки - от маятника Галилея до квантовой гравитации. — М., 2013.
9. Дубровский В. Н., Смородинский Я. А., Сурков Е. Л. Релятивистский мир. — М.: Наука, 1984. — 176 с.
10. Журавский А. М. Справочник по эллиптическим функциям. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1941. 235 с.
11. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику: Від маятника до турбулентності і хаосу.- М.: Наука, 1988. 368 с.
12. Зоммерфельд А. Механика. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 368 с.
13. Козлов В.В. // УМН. 1983. Т. 38. В. 1.
14. Козлов В.В. // УМН. 1986. Т. 41. В. 5.

15. Козлов В.В. Методы качественного анализа в динамике твердого тела. Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2000. 256 с.
16. Козлов В.В. Симметрии, топология и резонансы в гамильтоновой механике. Ижевск: Изд-во Удмурт. гос. ун-та, 1995. 432 с.
17. Кошкін Н.І., Ширкевич М.Г., Довідник з елементарної фізики.- Москва, Наука. 1972.
18. Красносельський М.А., Покровський А.В. Системи з гістерезисом.- М., Наука, 1983. 271 стор.
19. Кузнєцов С.П. Динамічний хаос (курс лекцій).- М.: Физматлит, 2001.
20. Кузьменков С. Г. Посилення ролі доведень під час навчання астрономії. Докази обертання Землі навколо своєї осі та навколо Сонця. // Фізика та астрономія в рідній школі. – 2015. – № 3. – С. 28–33.
21. Кузьмін П.В. Коливання. Короткий конспект лекцій, видавництво КГСХА, 2002 р.
22. Ламб Г. Теоретическая механика. Т.2. Динамика. М., Л.: ГТТИ, 1935. – 311 с
23. Ландау Л.Д., Ахиезер А.І., Ліфшиц Е.М. Курс загальної фізики. Механіка і молекулярна фізика.- Москва, Наука raquo ;, 1969.
24. Лішевській В. Наука і життя, 1988, №1.
25. Малінецькій Г.Г., Потапов А.Б., Подлазов А.В. Нелінійна динаміка: підходи, результати, надії.- М.: УРСС, 2006.
26. Мандельштам Л. И. Лекции по теории колебаний. М., «Наука», 1972.
27. Маркеев А. П. // ДАН. 2017. Т. 477. № 4.
28. Маркеев А. П. // ДАН. 2017. Т. 477. № 5.
29. Маркеев А. П. // ДАН. 2018. Т. 482. № 6.

- 30.Маркеев А. П. Нелинейные колебания симпатических маятников // Нелинейная динамика, 2010, т. 6.
- 31.Маркеев А. П., Сухоручкин Д. А. // Вест. Удмурт. ун-та. Математика. Механика. Компьютерные науки. 2018. Т. 28. В. 2. С.
- 32.Мельников В. К. // Тр. ММО. 1963. Т. 12. С. 3-52.
- 33.Мигулин В. В., Медведев В. И., Мустель Е. Р., Парыгин В. Н. Основы теории колебаний. М., «Наука», 1978.
- 34.Михайлов А. А. Земля и её вращение. — М.: Наука, 1984. — 80 с.
- 35.Пуанкаре А. Новые методы небесной механики. В кн.: Избранные труды. М: Наука, 1971. Т. 1. 771 с.
- 36.Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 1. - М. : Наука, 1987.
- 37.Сафиуллин Р.К. Движение и силы в неинерциальных системах отсчета. Влияние силы Кориолиса на климат Земли.,2014
- 38.Стокер Дж. Нелинейные колебания в механических и электрических системах. Москва: ИИЛ, 1953. 256 с.
- 39.Стрелков С. П. Введение в теорию колебаний. М., «Наука», 1964.
- 40.Трофимова Т. И. Курс физики. - М. : АСАДЕМ1А, 2006.
- 41.Трубецькой Д.І. Коливання і хвилі для гуманітаріїв.- Саратов: ГосУНЦ Коледж 1997.392 с.
- 42.Хилькевич С. С. Физика вокруг нас. — М.: Наука, 1985. — 160 с.