

УДК 53(07)

ВИВЧЕННЯ ГІРОСКОПІВ ЯК СИМЕТРИЧНИХ ТІЛ У ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ ФІЗИКИ СТУДЕНТАМИ ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ АВІАЦІЙНОГО ПРОФІЛЮ

Ольга КУЗЬМЕНКО (м. Кіровоград)

Стаття присвячена розгляду поняття гіроскопа, основних видів гіроскопів, а також вивчення поняття вісі симетрії гіроскопа та принципу обертання симетричних тіл. Прیدілено увагу на формулювання закону динаміки обертального руху, що розглядається нами при вивченні вільного гіроскопу. Розглянуто поняття нутації.

Ключові слова: гіроскоп, вільний гіроскоп, симетрія, загальний курс фізики, навчальний процес, вісь симетрії.

Статья посвящена рассмотрению понятия гироскопа, основных видов гироскопов, а также изучение понятия оси симметрии гироскопа и принципа вращения симметричных тел. Обращено внимание на формулировку закона динамики вращательного движения, которое рассматривается нами при изучении свободного гироскопа. Рассмотрено понятие нутации.

Ключевые слова: гироскоп, свободный гироскоп, симметрия, общий курс физики, учебный процесс, ось симметрии.

The article is devoted to the consideration of concept of gyroscope, basic types of gyroscopes, and also study of concept to the landmark of symmetry of gyroscope and principle of rotation of symmetric bodies. Paid attention on formulation of law of dynamics of rotatory motion that is examined by us at a study free to the gyroscope. The concept of nutation is considered. Expediency of submission to maintenance of educational material from the flat rate of physics is based on fundamental concepts, one of that here is symmetry that is examined in many divisions of physics. An acquaintance and study of concept of symmetry students during consideration a gyroscope will be instrumental in forming of modern scientific thought, and also will provide systematization of knowledges from the flat rate of physics in higher educational establishments and to forming of scientific world view.

Keywords: gyroscope, free gyroscope, symmetry, flat rate of physics, educational process, axis of symmetry.

Постановка проблеми. Дослідження гіроскопів є важливим на сьогодні тому, що вони широко застосовується у багатьох технічних приладах і, зокрема, в сучасних мультимедійних пристроях. Завдяки дослідженням Фуко та винайдення ним гіроскопічних приладів призвело до швидкого розвитку науки та техніки, що в свою чергу веде за собою появу нових моделей цих приладів у яких використовується гіроскоп. Отже, на сьогоднішній день вивчення гіроскопів є актуальним.

Аналіз актуальних досліджень. Поняття симетрії розглядали в роботах В.С. Готта, Ф.М. Землянського, Р.М. Ганієва, Дж. Еліота, П. Добера, Дж. Бірмана, Г.Л. Біра та Г.Е. Пікуса, М.І. Садового, Н.В. Подопрігори, А.В. Шубнікова [7] та ін.

Гіроскопи в фізиці вивчали Борзов В.І. [2], Ішлінський А.Ю. [2], Лазарєв Ю.Ф. [4], Лисов А.Н.[5], Ніколаї Е.Л.[6], Крилов А.Н [8] та ін.

Мета статті полягає в розкритті суті поняття гіроскопа, видів гіроскопів; розглянути вісь симетрії гіроскопів та використання закону динаміки обертального руху, вивчаючи гіроскоп з розділу механіка у процесі навчання студентів із загального курсу фізики у вищих навчальних закладах авіаційного профілю.

Виклад основного матеріалу. В процесі вивчення поняття симетрії, звернемо увагу студентів на поняття вісі симетрії та принципу обертання симетричних тіл. Симетричними називають тіла, що мають площину симетрії, вісь симетрії та центр симетрії. Вісь симетрії – пряма лінія, обертання навколо якої на певний кут суміщає фігуру саму з собою. Число суміщень внаслідок повного оберту називається порядком вісі. Елементарний кут повороту називається найменший кут повороту, при якому фігура суміщається сама з собою.

Вісі симетрії є різних порядків від 1 до ∞ . Наприклад, якщо розглянути вісь симетрії 3-го порядку, то її позначення має вид – 3. Будь-яка асиметрична фігура має безліч вісей симетрії першого порядку, тому що після повного обертання на 360° навколо довільної прямої будь-яка фігура проходить в суміщенні з собою тільки один раз.

Якщо розглянути другий випадок симетрії, коли вісь має порядок ∞ , то фігура суміщується сама з собою внаслідок будь-якого кута повороту, тому що кут повороту є нескінченно малою величиною.

Наприклад, якщо разом з студентами розглянути диск, що обертається навколо центру в своїй площині з постійною кутовою швидкістю, то відмітимо те, що диск має вісь симетрії нескінченного порядку, але він немає площин симетрії, що проходять через центр перпендикулярно до його площини. Так як в такому диску напрямок за часовою стрілкою та проти не дорівнюють між собою.

Вісь симетрії нескінченного порядку може бути єдиним елементом симетрії для тіл, що обертаються та для тіл, які знаходяться в стані спокою.

Як приклад, розглянемо з студентами гіроскоп, що обертається навколо

своєї вісі симетрії. Але перед цим слід нагадати студентами поняття абсолютно твердого тіла, обертального руху відносно нерухомої вісі поступального руху, сформулювати закон обертального руху та застосування законів обертального руху.

Абсолютно твердим тілом називається система частинок, відстань між будь-якими двома з них внаслідок руху тіла лишається сталою.

Поступальний рух – це рух, при якому пряма лінія, проведена між двома довільними точками тіла, лишається паралельною своєму початковому напрямку.

Обертальний рух відносно нерухомої вісі – це рух, при якому будь-яка точка тіла рухається по колу, причому центри всіх кіл лежать на одній прямій, що називається *віссю обертання*.

Оскільки модель *абсолютно твердого тіла* є частковою моделлю *системи частинок*, для твердого тіла є справедливим закон зміни з часом вектору

моменту імпульсу механічної системи $\frac{d\vec{L}}{dt} = \sum \vec{M}_{\text{зовн}}$:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \sum \vec{M}_{\text{зовн}} \quad (1)$$

Бистрота зміни з часом вектору моменту імпульсу твердого тіла дорівнює векторній сумі моментів зовнішніх сил, що діють на тіло.

Під зовнішніми силами у цьому законі розглядають сили, що діють на тіло з боку інших тіл або фізичних силових полів, при цьому не враховуються сили взаємодії між частинками самого тіла. Для використання закону (1) момент імпульсу тіла та моменти сил, що діють на нього, мають бути розраховані *відносно одного і того ж самого полюсу*.

Закон (1) називається *законом динаміки обертального руху*. Цей закон є справедливим для будь-якого довільного обертання тіла та не передбачає наявності фіксованої вісі обертання.

У випадку, коли розглядають *фіксовану нерухому вісь обертання* тіла з потрібно загальний векторний закон (1) взяти в проекціях на цю вісь. Отримаємо

$$\frac{dL_z}{dt} = \sum M_z \quad (2),$$

де L_z визначається за формулою $L_z = I_z \omega$, а проекція моменту кожної діючої на тіло сили M_z – формулою $M_z = \pm |\vec{F}_\perp| \cdot d$. Підставляючи у (2) формулу $L_z = I_z \omega$, отримаємо

$$\frac{d(I_z \omega)}{dt} = \sum M_z. \quad (3)$$

Розглядаючи випадок, коли $I_z = const$ та врахувавши формулу кутового прискорення $\varepsilon(t) = \frac{d\omega}{dt}$, отримаємо

$$I_z \cdot \varepsilon = \sum M_z. \quad (4)$$

Отже, закон динаміки обертального руху тіла відносно фіксованої вісі формулюється так: добуток моменту інерції тіла відносно фіксованої вісі обертання на кутове прискорення тіла дорівнює сумі проєкцій на цю вісь всіх моментів зовнішніх сил, що діють на тіло.

Після того, як ми сформулювали закон динаміки обертального руху тіла, слід розглянути його застосування. Одним із прикладів є гіроскоп.

Гіроскоп (від грецьких *gyros* – обертання, *skopeo* – дивитися):
 1) швидкообертове тверде тіло (наприклад, дзига), вісь обертання якого може довільно змінювати свій напрям у просторі; 2) пристрій, що дозволяє виявити обертання в інерціальному просторі основи, на якій його встановлено [4].

Вільний симетричний зрівноважений гіроскоп – симетричний урівноважений гіроскоп, на який не діють моменти сил [4].

Вільний гіроскоп як тверде тіло може вільно обертатися навколо трьох взаємно перпендикулярних вісей x , y , z , що перетинаються у центрі мас гіроскопу. Це досягається за допомогою спеціального пристрою – карданового

підвісу (рис. 1). Для вільного гіроскопу $\sum \vec{M}_{\text{зовн}} = 0$, тому рівняння (1) дає $\frac{d\vec{L}}{dt} =$

0, звідки

$$L = const \quad (5)$$

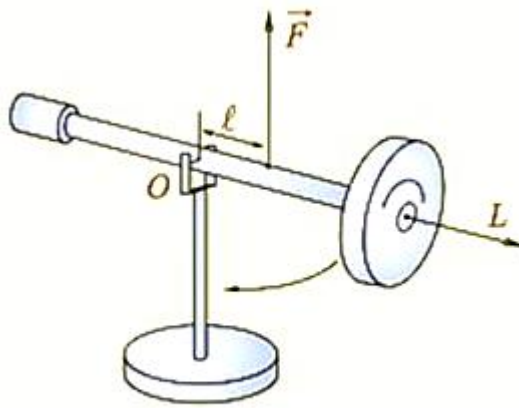


Рис.1. Гіроскоп

Рівняння (5) є частковим випадком закону збереження моменту імпульсу. У випадку обертання симетричного тіла навколо вісі симетрії напрям вектору \mathbf{L} співпадає з віссю обертання, тому рівняння (5) означає, що просторовий напрям вісі обертання вільного гіроскопу є сталим. Ця властивість використовується з метою орієнтації у просторі. Закріпивши гіроскоп у кардановому підвісі у літаку і розкрутивши його на землі відносно вісі z , ми отримуємо *фіксований просторовий напрям*. При подальших еволюціях літака під час польоту напрям вісі обертання z відносно землі змінюватись не буде, що дає можливість визначити відповідні кути повороту літака (цей прилад називається авіагоризонтом).

Якщо вільний гіроскоп розкручений так, що вектор миттєвої кутової швидкості та вісь симетрії гіроскопа не збігаються, то спостерігається рух вільної регулярної прецесії, який називають *нутацією*. Тоді, вісь симетрії гіроскопа, вектори \vec{L} і $\vec{\omega}$ лежать в одній площині, що обертається навколо напрямку $\vec{L} = const$ з кутовою швидкістю, рівною $\vec{\omega} = \frac{\vec{L}}{J_z}$, $\vec{L} = const$, де J_z – момент інерції гіроскопа відносно головної центральної вісі, перпендикулярної вісі симетрії. Ця кутова швидкість при швидкому власному обертанні гіроскопа є досить великою, а нутація сприймається оком як дрібне тремтіння вісі симетрії гіроскопа.

В своїх дослідженнях ми відзначили декілька гіроскопів за класифікацією Ю.Ф. Лазарева [4], а саме:

1) Симетричний – гіроскоп, ротор якого являє собою динамічно симетричне тверде тіло, якому надано швидкого обертання навколо його осі фігури.

2) Сплюснутий – різновид симетричного гіроскопу, в якому екваторіальний момент інерції менший за осьовий.

3) Кулесиметричний – різновид гіроскопа симетричного, в якому екваторіальний момент інерції дорівнює осьовому; назву зумовлено тим, що за цієї умови форма гіроскопа наближається до форми кулі.

4) У кардановому підвісі – гіроскоп, у якому підвіс здійснений завдяки двом додатковим рамкам, які мають змогу обертатися кожна відносно однієї осі: зовнішня рамка відносно зовнішньої вісі підвісу, нерухомої відносно основи; внутрішня рамка – відносно внутрішньої осі підвісу, нерухомої відносно зовнішньої рамки і перпендикулярної зовнішній осі підвісу; ротор гіроскопа має змогу обертатися з великою кутовою швидкістю навколо головної осі підвісу, яка є нерухомою відносно внутрішньої рамки і перпендикулярною до внутрішньої осі підвісу.

5) Лазерний – оптичний прилад для вимірювання абсолютної кутової швидкості основи; використовує ефект Саньяка – виникнення зсуву фаз зустрічних світлових хвиль у обертовому кільцевому інтерферометрі; зазвичай використовується в системах інерціальної навігації.

6) Мікромеханічний – гіроскопічний прилад, призначений для вимірювання куту ристання основи (літака, торпеди тощо); побудований на основі триступеневого астатичного гіроскопа у кардановому підвісі, зовнішню вісь якого встановлено паралельно нормальній вісі.

В кінці вивчення теми механіки твердого тіла, після розгляду гіроскопа доцільно звернути увагу студентів на його використання в авіації. Наприклад, виконання сліпого польоту в умовах відсутності видимості місцевих орієнтирів, а також тривалі багатогодинні безпосадочні перельоти стали можливими завдяки цілому ряду авіаційних гіроскопічних приладів, яким оснащений сучасний літак.

Висновок. В результаті проведених досліджень та вище зазначеного констатуємо те, що доцільність підпорядкування змісту навчального матеріалу із загального курсу фізики базується на фундаментальних поняттях, одним з яких є симетрія, яка розглядається в багатьох розділах фізики. Відповідно ознайомлення та вивчення студентами даного поняття під час вивчення гіроскопу з механіки сприятиме формуванню сучасного наукового мислення, а також забезпечуватиме систематизацію знань з загального курсу фізики у ВНЗ та формуванню наукового світогляду.

Перспективи подальших пошуків у напрямі дослідження полягають в детальному аналізі поняття симетрії у процесі вивчення загального курсу фізики студентами у вищих навчальних закладах і розробці методики навчання фізики з використанням даного поняття.

БІБЛІОГРАФІЯ

1 Использование гироскопов в смартфонах та игровых приставках [Электронный ресурс] / М. Габитов // 3D – новости. – 2011. – С. 25. – Режим доступа до журналу: <http://www.3dnews.ru>.

2 Ишлинский А.Ю. Лекции по теории гироскопов / Ишлинский А.Ю., Борзов В.И., Степаненко Н.П. – Издательство Московского университета, 1983. – 244 с.

3 Кучерук І.М. Загальний курс фізики: в 6 т. / І.М. Кучерук, І.Т. Горбачук, П.П. Луцик. – К.: Техніка, 1999. Т. 1: Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. – 536 с.

4 Лазарев Ю.Ф. Тлумачний словник з прикладної гіроскопії. / Лазарев Ю.Ф. – К.: НТУУ "КПІ", 2011. – 58 с.

5 Лысов А.Н. Прикладная теория гироскопов / учебное пособие / А.Н. Лысов, Н.Т. Виниченко, А.А. Лысова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 962 с.

6 Николаи Е.Л. Гироскоп и его некоторые технические применения / Николаи Е.Л. – М.: Гостехиздат, 1947. – 150 с.

7 Шубников А.В. Симметрия в науке и искусстве / А.В. Шубников, В.А. Копчик. – 2-е, перераб. и доп. – М.: Издательство «Наука», 1972. – 339 с.

8 Крылов А.Н. Общая теория гироскопов и некоторых технических их применений / А.Н. Крылов, Ю.А. Крутков. – Ленинград: Академия наук СССР, 1932. – 356 с.

Кузьменко Ольга Степанівна – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри фізико-математичних дисциплін Кіровоградської льотної академії Національного авіаційного університету.

Коло наукових інтересів: методика навчання фізики у загальноосвітніх та вищих навчальних закладах.