

SCI-CONF.COM.UA

**SCIENTIFIC PROGRESS:
INNOVATIONS, ACHIEVEMENTS
AND PROSPECTS**



**PROCEEDINGS OF VI INTERNATIONAL
SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE
MARCH 6-8, 2023**

**MUNICH
2023**

SCIENTIFIC PROGRESS: INNOVATIONS, ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS

Proceedings of VI International Scientific and Practical Conference

Munich, Germany

6-8 March 2023

Munich, Germany

2023

UDC 001.1

The 6th International scientific and practical conference “Scientific progress: innovations, achievements and prospects” (March 6-8, 2023) MDPC Publishing, Munich, Germany. 2023. 406 p.

ISBN 978-3-954753-04-8

The recommended citation for this publication is:

Ivanov I. Analysis of the phaunistic composition of Ukraine // Scientific progress: innovations, achievements and prospects. Proceedings of the 6th International scientific and practical conference. MDPC Publishing. Munich, Germany. 2023. Pp. 21-27. URL: <https://sci-conf.com.ua/vi-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-scientific-progress-innovations-achievements-and-prospects-6-8-03-2023-myunhen-nimechchina-arhiv/>.

Editor

Komarytskyy M.L.

Ph.D. in Economics, Associate Professor

Collection of scientific articles published is the scientific and practical publication, which contains scientific articles of students, graduate students, Candidates and Doctors of Sciences, research workers and practitioners from Europe, Ukraine and from neighbouring countries and beyond. The articles contain the study, reflecting the processes and changes in the structure of modern science. The collection of scientific articles is for students, postgraduate students, doctoral candidates, teachers, researchers, practitioners and people interested in the trends of modern science development.

e-mail: munich@sci-conf.com.ua

homepage: <https://sci-conf.com.ua>

©2023 Scientific Publishing Center “Sci-conf.com.ua” ®

©2023 MDPC Publishing ®

©2023 Authors of the articles

27. *Малюк В. В., Прохорчук І. Ю., Малюк С. В.* 151
ВІБРОАКУСТИЧНА ДІАГНОСТИКА ПІДШИПНИКІВ ПРИ
РЕМОНТІ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ
28. *Тищенко В. І., Божко Н. В., Савенко О. М.* 155
ПРОДУКТИ ПЕРЕРОБКИ НАСІННЯ ТЕХНІЧНОЇ КОНОПЛІ – ЯК
РОСЛИННИЙ ІНГРЕДІЄНТ ДЛЯ КОМБІНОВАНИХ ВАРЕНИХ
КОВБАС
29. *Фролов А. О., Ляшенко О. М., Фролова М. Е.* 160
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПРОЄКТУВАННЯ ТА
РОЗРОБЛЕННЯ БАГАТОПОТОКОВИХ ПРОГРАМ МОВОЮ
JAVA

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

30. *Калайда О. Ф.* 164
ПРО ТЕОРЕМУ ЛАГРАНЖА ПРО СЕРЕДНЄ ТА ПРО ПАРНІСТЬ,
НЕПАРНІСТЬ СУПЕРПОЗИЦІЙ ТА ІНВЕРСІЙ ФУНКЦІЙ
31. *Калайда О. Ф.* 166
ПРО НЕНАСИЧУВАНІ ЧИСЕЛЬНІ МЕТОДИ
32. *Філіпенко І. І., Луценко В. Ю.* 170
ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ В НЕСТАЦІОНАРНИХ ПОЛЯХ ЗА
ДОПОМОГОЮ АДІАБАТИЧНОГО ІНВАРІАНТУ

ARCHITECTURE

33. *Авдєєва Н. Ю., Мелюс Л. В., Чучмай А. М., Черніков К. Г.* 177
ОТРИМАННЯ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ МІСЦЕВОСТІ З ВІДКРИТИХ
ДЖЕРЕЛ
34. *Черноносова Т. О., Короткіх А. П.* 181
ОРГАНІЗАЦІЯ ВЕЛОСИПЕДНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ У
ВЕЛИКИХ МІСТАХ
35. *Яковенко М. К., Бібер С. Г., Вознесенський А. В.* 188
ФОРМУВАННЯ КУЛЬТУРНОЇ ІДЕНТИЧНОСТІ В ОБРАЗАХ
КУЛЬТУРНО-ВИДОВИЩНИХ КОМПЛЕКСІВ ЗА ДОПОМОГОЮ
ВПРОВАДЖЕННЯ МЕДИЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

PEDAGOGICAL SCIENCES

36. *Czepil M. M., Latyk N. P.* 193
TRENDS IN HIGHER EDUCATION DEVELOPMENT IN UKRAINE
37. *Kasatkina-Kubyshkina O., Kuriata Yu.* 199
PECULIARITIES OF DISTANCE TEACHING IN A WAR-RELATED
ENVIRONMENT
38. *Гашиїнська О. С.* 204
ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ ПЛАТФОРМИ MOODLE ПРИ
ВИВЧЕННІ ДИСЦИПЛІНИ «ОСНОВИ ВНУТРІШНЬОЇ
МЕДИЦИНИ»

ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ В НЕСТАЦІОНАРНИХ ПОЛЯХ ЗА ДОПОМОГОЮ АДІАБАТИЧНОГО ІНВАРІАНТУ

Філіпенко Ірина Іванівна

к.п.н., доцент

Запорізький державний медичний університет

м. Запоріжжя, Україна

Луценко Вадим Юрійович

к.т.н., доцент

Київський національний університет

будівництва і архітектури

м. Київ, Україна

Вступ. У статті детально розглянуті особливості застосування адіабатичних інваріантів для аналізу руху систем, що знаходяться в нестационарних полях. Показано, що з одного боку значення адіабатичних інваріантів визначається площею під фазовою траєкторією, а з іншого відношенням енергії системи до значення її параметру, що безпосередньо визначає значення цієї енергії. У випадку осциляторів таким параметром є частота їх коливань. Доведено, що адіабатичні інваріанти, подібно до закону збереження енергії, визначають умови стійкого стану системи, що підтверджується умовами квантування Бора-Зоммельфельда, які, в свою чергу, впливають із визначення адіабатичного інваріанту.

Мета роботи. Метою роботи є доведення факту, що адіабатичні інваріанти, подібно до закону збереження енергії, визначають умови стійкого стану системи, що підтверджується умовами квантування Бора-Зоммельфельда, які, в свою чергу, впливають із визначення адіабатичного інваріанту.

Матеріали та методи. Існує ряд науково-практичних та прикладних задач, зокрема при вивченні руху механічних систем, вирішення яких може бути знайдено лише за умови використання законів збереження. Загальновідомим прикладом найбільш універсального такого закону в механіці є закон збереження повної механічної енергії. Відзначимо, якщо система не є

замкнутою, закон збереження механічної енергії не може бути застосованим. В першу чергу це пов'язано з порушенням умови замкнутості системи. [1] В якості найпростіших прикладів таких системи можна розглядати математичний маятник, в якому довжина підвісу тягарця змінюється в часі, фізичний маятник, чи тіло що обертається, в процесі руху якого змінюється розподіл мас, а отже і момент інерції, чи зміну жорсткості деформованого тіла при непластичних деформаціях. Більш складними прикладами систем, в яких зовнішній нестационарний вплив обумовлює хаотичну динаміку розвитку процесу, є рух плазми в магнітному полі – явище північного сяйва, процеси утримання плазми в термоядерних реакторах, тощо. [2]

У рамках теоретичної фізики розроблено окремий підхід для дослідження адіабатичних квазістационарних процесів в системах із змінними в часі параметрами, що обумовлює порушення закону збереження енергії. Цей підхід базується на введенні поняття адіабатичного інваріанту та може бути адаптований до курсів загальної фізики як в середній так і вищій школі.

Як відомо, [2] найбільш загальним законом механіки, що пов'язує траєкторію руху системи із законом збереження енергії є принцип найменшої дії. Цей принцип накладає на безліч можливих траєкторій певні обмеження, пов'язані з вимогою виконання закону збереження енергії, імпульсу і моменту імпульсу та визначає дійсну траєкторію системи, коли рух відбувається між двома заданими узагальненими координатами $q^{(1)}$, $q^{(2)}$, які система має в задані моменти часу t_1 і t_2 . Дією для однієї матеріальної точки, в цьому випадку є інтеграл, що має розмірність енергія-час (Дж·с)

$$S = \int_1^2 \frac{mv^2}{2} dt.$$

Суттєво спростити аналіз руху системи матеріальних точок, що описується $3N$ значеннями координат q і $3N$ значеннями швидкостей \dot{q} (або імпульсів p), вдається за рахунок введення $6N$ -вимірного фазового простору імпульсів $p = m\dot{q}$ і координат q , в якому розмірність узагальнених імпульсів і

координат дорівнює $3N$ кожна. Відзначимо, що інтеграл дії у цьому випадку для однієї матеріальної точки має вигляд

$$S_0 = \int pdq.$$

Коли енергія системи не зберігається в часі, дослідити її поведінку вдається у випадку застосування адіабатичного інваріанта, що у певному сенсі є альтернативою закону збереження енергії. Основною умовою для введення адіабатичного інваріанта є залежність властивостей системи від деякого параметра, що змінюється в часі синхронно із зміною енергії. Припустимо, що замкнута система має енергію – E , значення якої залежить від деякого параметра – λ , що, в свою чергу, є визначальним для властивостей системи. Розглянемо випадок, коли параметр λ під впливом яких-небудь зовнішніх причин, повільно (адіабатично) змінюється в часі. При цьому дана система вже не буде замкнутою і її енергія E не зберігається. Якщо параметр λ змінюється повільно, то можна стверджувати, що синхронно із зміною λ міняється і енергія, і тоді швидкість зміни енергії $\frac{dE}{dt}$ буде пропорційною швидкості $\frac{d\lambda}{dt}$ зміни параметра λ [3]

$$\frac{dE}{dt} \sim \frac{d\lambda}{dt}. \quad (1)$$

Розв'язок диференційного рівняння (1) показує, що за таких умов існує комбінація E і λ , яка залишається постійною в часі при зміні E та λ :

$$\frac{E}{\lambda} = const.$$

Комбінацію енергії E і параметра λ , що залишається незмінною при зміні стану системи, називають адіабатичним інваріантом системи. У випадку замкнутого руху, коли траєкторія у фазовому просторі є замкнутою кривою, адіабатичний інваріант J визначається круговим інтегралом від дії S_0

$$J = \frac{1}{2\pi} \oint pdq = const,$$

який розраховується вздовж траєкторії руху при заданих значеннях E і λ .

Знайдемо адіабатичний інваріант для гармонійного осцилятора, наприклад математичного маятника, для чого перейдемо у фазову площину імпульсів та координат (p, q) . Повна енергія такого осцилятора складається з кінетичної та потенціальної енергії:

$$E = \frac{mv^2}{2} + \frac{m\omega_0^2 q^2}{2} = \frac{p^2}{2m} + \frac{m\omega_0^2 q^2}{2}.$$

де m – маса тягарця;
 v – лінійна швидкість руху маятника;
 ω_0 – циклічна частота коливань;
 q – узагальнена координата коливань;
 p – імпульс тягарця.

Адіабатичний інваріант визначається площею фазового простору (p, q) під замкнутою фазовою траєкторією. Фазову траєкторію руху осцилятора отримаємо при перетворенні (2) до виду:

$$\frac{p^2}{2mE} + \frac{m\omega_0^2 q^2}{2E} = 1,$$

яка має вигляд рівняння еліпса

$$\frac{p^2}{a^2} + \frac{q^2}{b^2} = 1$$

з півосьми

$$a = \sqrt{2mE} \quad \text{і} \quad b = \sqrt{\frac{2E}{m\omega_0^2}}$$

Площа еліпса пропорційна адіабатичному інваріанту

$$S_0 = \oint pdq = \pi ab = 2\pi \frac{E}{\omega} = 2\pi J.$$

Звідки знаходимо адіабатичний інваріант осцилятора

$$J = \frac{E}{\omega_0} = \text{const}. \quad (2)$$

Адіабатична інваріантність цієї величини означає, що при повільній зміні частоти осцилятора ω його енергія E змінюється пропорційно частоті ω_0

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

так, що адіабатичний інваріант J залишається при цьому незмінним.

Результати та обговорення. Загальна формула адіабатичного інваріанту (2) легко набуває конкретного сенсу після підстановки в неї відповідних виразів для частоти коливань. Так для математичного, фізичного та пружинного маятників значення адіабатичного інваріанту дорівнює:

$$E \sqrt{\frac{\ell}{g}} = \text{const}, \quad (3)$$

$$E \sqrt{\frac{I}{mga}} = \text{const}, \quad (4)$$

$$E \sqrt{\frac{m}{k}} = \text{const} \quad (5)$$

де l – довжина підвісу;

I – момент інерції;

a – відстань між точкою підвісу і центром інерції;

g – прискорення вільного падіння;

k – жорсткість пружини.

Отже, в умовах незбереження енергії маятника можливе збереження адіабатичних інваріантів (3) – (5), застосування яких можливе за умови повільної зміни параметрів маятника – частоти ω_0 або періоду T_0 , або, що еквівалентно, при адіабатичній зміні фізичних властивостей маятників довжини підвісу, розподілу мас, жорсткості пружини, або параметрів, що визначають властивості системи, в якій знаходяться маятники, – прискорення вільного падіння g , маси m , температури T , які опосередковано впливають на жорсткість пружини, довжину підвісу, положення центру інерції, тощо.

Поняття адіабатичного інваріанту є ключовим при формулюванні правил квантування Бора-Зоммерфельда. Розглянемо рух електрона, що знаходиться в одномірній потенціальній ямі. Повна енергія частинки дорівнює – E_n , і є меншою за потенціальний бар'єр (рис. 1). А отже частинка здійснює коливання

навколо положення стійкої рівноваги. Фазова траєкторія руху частинки в цьому випадку є замкнутою кривою.

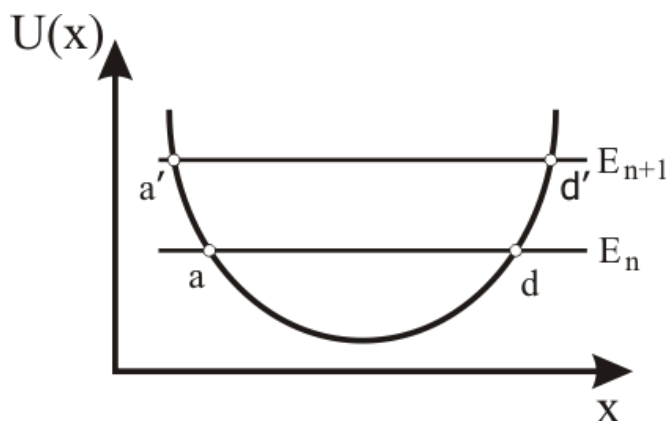


Рисунок 1. Рух частинки в потенціальній ямі

У випадку, якщо потенціальна енергія $U(x) = \frac{m\omega_0^2 x^2}{2}$, то фазова траєкторія є еліпсом (рисунок 2) $\frac{p^2}{2m} + \frac{m\omega_0^2 x^2}{2} = E$ або $\frac{p^2}{a^2} + \frac{x^2}{b^2} = 1$, де

$$a = \sqrt{2mE}, \quad b = \sqrt{\frac{2E}{m\omega_0^2}}.$$

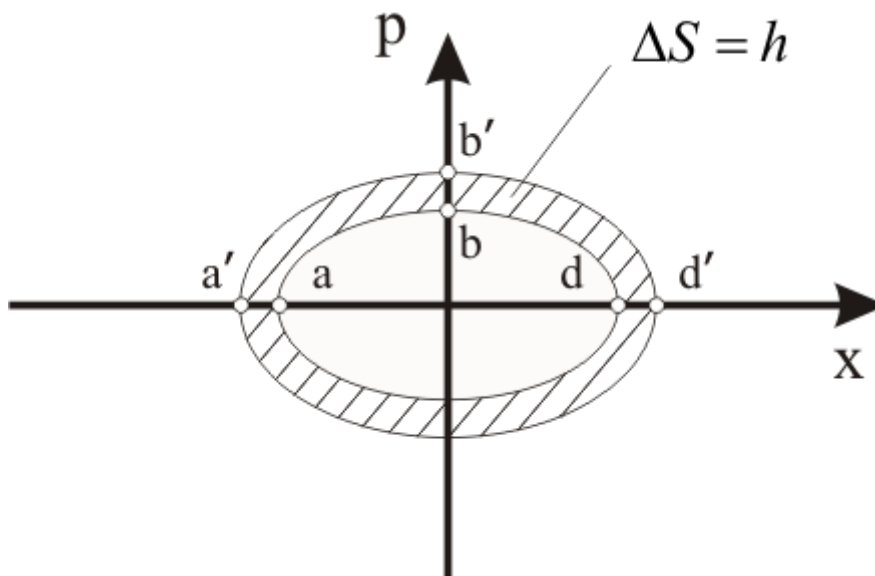


Рисунок 2. Фазова траєкторія гармонічного осцилятора

Площа під фазовою траєкторією дорівнює:

$$J = S_0 = \oint p(x)dx = \left(n + \frac{1}{2}\right)h = \frac{E}{\omega} \quad (n = 0, 1, 2, \dots), \quad (6)$$

де h – постійна Планка.

Так як при переході із енергетичного стану n в стан $n+1$ площа під фазовою траєкторією збільшується на h , то можна стверджувати, що кожному квантовому стану частинки відповідає на фазовій площині комірка площею h . У випадку руху частинки в тримірному просторі очевидно, що кожному квантовому стану буде відповідати комірка об'ємом h^3 . Вираз (6) розкриває сенс поняття квантування, що було введено Планком, та згідно з яким найменшою можливою порцією енергії, тобто квантом енергії, є квант дії, значення якого є пропорційним адіабатичному інваріанту.

Висновки. Поверхнєве розуміння закону збереження енергії дуже часто призводить до його помилкового трактування та спроб створення «вічного» двигуна. Складність та неоднозначність законів збереження вимагає від викладача особливого підходу до їх викладення. Очевидно, що наряду з традиційним їх викладом, слід розглянути випадки, коли енергія незамкнених систем не зберігається. Тоді, за умови повільної зміни параметрів системи частоти коливань ω або періоду T , що еквівалентно адіабатичній зміні їх фізичних властивостей можливе збереження адіабатичних інваріантів, які є своєрідним еквівалентом закону збереження енергії. Знайомство із адіабатичними інваріантами дозволяє досягти більш глибокого та гармонійного розуміння студентами одного із основних законів фізики – закону збереження енергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Л. Ландау, Е. Лифшиц. Механика. Электродинамика. Краткий курс теоретической физики. – М: Наука, 1969.
2. А. Лихтенберг. Динамика частиц в фазовом пространстве. – М: Атомиздат, 1972.