



КЛАСИЧНА МЕХАНІКА

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	10 Природничі науки
Спеціальність	105 Прикладна фізика та наноматеріали
Освітня програма	Прикладна фізика
Статус дисципліни	Нормативна (цикл професійної підготовки)
Форма навчання	очна (денна)
Рік підготовки, семестр	2 курс, осінній/весняний семестри
Обсяг дисципліни	Загальна кількість: (3.5/3 кр.) 105/90 год. Лекційних занять: 36/18 год. Практичних занять: 28/36 год. Самостійна робота студентів: 41/36 год.
Семестровий контроль / контрольні заходи	залік/іспит, поточний контроль, модульна контрольна робота, розрахунково-графічна робота
Розклад занять	http://ipt.kpi.ua/navchalnij-protses
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: Кравцов Олег Васильович. Практика: Наказної Павло Олександрович (p.nakaznoy@kpi.ua).
Розміщення курсу	https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=2489

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Класична механіка (скор. КМ) є одним з основних розділів теоретичної фізики, який закладає фундамент для опанування всіх інших розділів. Об'єктом КМ є матерія. Предметом є її механічний рух, тобто знаходження законів руху.

Метою КМ є формування у студентів здатностей:

- володіти основними поняттями і методами ньютонівської та лагранжевої механіки, необхідними для засвоєння подальших дисциплін спеціальності;
- інтерпретувати явища природи і використовувати набуті теоретичні знання для опису кінематики та динаміки фізичних явищ;
- розв'язувати прикладні задачі на основі фундаментальних знань законів механіки;
- виконувати математичне доведення фізичних результатів різної складності
- володіти основними поняттями і методами гамільтонової та релятивістської механіки, а також механіки суцільних середовищ, необхідними для засвоєння подальших дисциплін спеціальності.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

- знання:**
1. законів механіки Ньютона, Лагранжа, Гамільтона та суцільних середовищ, а також їх застосування для інтерпретації та опису явищ, що спостерігаються;
 2. математичних методів та прийомів опису руху тіл;
- уміння:**
1. за заданим законом руху визначати всі кінематичні характеристики, рівняння траєкторії руху в класичній механіці; записувати рівняння лагранжевої механіки в криволінійних системах координат;
 2. застосовувати елементи тензорної алгебри та аналізу для опису руху твердого тіла, нерелятивістських і релятивістських рівнянь Лагранжа;
 3. визначати моменти інерції тіл, модуль і напрям моменту імпульсу тіла;
 4. застосовувати теорему Ньотера для знаходження законів збереження механічної системи;
 5. аналізувати коливання руху в системі з n ступенями вільності; використовувати канонічні перетворення для розв'язання рівнянь Гамільтона;
 6. користуватись чотиривимірною формою рівнянь руху в СТВ;

досвід: математичного виведення деяких фізичних результатів різної складності з механіки.

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни «Класична механіка» мають продемонструвати такі результати навчання:

Загальні компетентності СВО

- ЗК 1: Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
ЗК 2: Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

Фахові компетентності СВО

- ФК 5: Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій.
ФК 6: Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем.
ФК 7: Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності.
ФК 10: Здатність розуміти та застосовувати апарат спеціальних розділів математики для розв'язання проблем прикладної фізики, моделювати фізичні процеси і системи, використовуючи статистичні та стохастичні методи, комп'ютерну графіку, та представляти результати моделювання.
ФК 11: Здатність використовувати знання основ професійно-орієнтованих дисциплін для виконання наукових досліджень, розв'язання практичних проблем прикладної фізики та для самостійного опанування нових технологій, в тому числі із суміжних галузей, застосовувати отримані знання і практичні навички для прийняття інноваційних рішень при розв'язанні складних практичних задач або в навчанні, зокрема, високих фізичних технологій та/або фізики живих систем та/або фізики енергетичних систем.

Програмні результати навчання

- ПРН 1: Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики

- ПРН 2: Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів.
- ПРН 4: Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій.
- ПРН 17: Знання основ професійно-орієнтованих дисциплін спеціальності, зокрема хімії, ядерної фізики, статистичної радіофізики та оптики, електродинаміки суцільних середовищ для розв'язання практичних проблем прикладної фізики, в т.ч. високих фізичних технологій та/або фізики живих систем та/або фізики енергетичних систем.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Для вивчення матеріалу курсу «Класична механіка» необхідне успішне засвоєння курсу:

1. Математичний аналіз
2. Алгебра та геометрія
3. Тензорний аналіз
4. Диференціальні рівняння
5. Механіка
6. Термодинаміка та молекулярна фізика
7. Електрика та магнетизм

Отримані практичні навички та засвоєні теоретичні знання під час вивчення навчальної дисципліни «Класична механіка» можна використовувати в подальшому в навчальних дисциплінах, пов'язаних з теоретичними та практичними аспектами прикладної фізики, зокрема:

1. Теорія поля;
2. Квантова механіка;
3. Коливання та хвилі;
4. Електродинаміка суцільних середовищ.
5. Фізика твердого тіла
6. Теорія пружності
7. Фізика суцільних середовищ.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Ньютонова механіка

Тема 1.1 Дослідження рівнянь руху і законів збереження

Тема 1.2 Системи відліку та перехід між ними

Тема 1.3 Рух у полі центральних сил

Тема 1.4 Розсіяння частинок

Тема 1.5 Теорія подібності

Розділ 2. Лагранжева динаміка

Тема 2.1 Рівняння Лагранжа I-ого роду

Тема 2.2 Рівняння Лагранжа II-ого роду

Тема 2.3 Теорема Ньотер

Розділ 3. Коливання

Розділ 4. Механіка твердого тіла

Розділ 5. Механіка суцільного середовища

Розділ 6. Гамільтонова динаміка

Розділ 7. Спеціальна теорія відносності

4. Навчальні матеріали та ресурси

Нижче наводиться перелік навчальних матеріалів та ресурсів для засвоєння матеріалу, розглянутого на лекційних заняттях та для додаткового вивчення. Його поділено на базові, які слід вивчати у першу чергу та додаткові, до яких можна звертатись факультативно.

Базові підручники та посібники

1. Г. Іро. Класична механіка. Л.: ЛНУ ім. Івана Франка, 1999.
2. А. М. Федорченко. Теоретична фізика. Т.1. Класична механіка і електродинаміка. К.: Вища школа, 1992.
3. Жданов В.І. Вступ до теорії відносності. К.: ВПЦ «Київський університет», 2008.
4. О. В. Кравцов. Задачі з класичної механіки. К.: НТУУ «КПІ», 2006.

Додаткові підручники та посібники

5. H. Goldstein, J. Safko та Ch. Poole. Classical Mechanics. Pearson Education Limited, 2014.
6. E. T. Whittaker. A Treatise on the Analytical Dynamics of Particles and Rigid Bodies. Cambridge University Press, 1988.
7. L. A. Pars. A Treatise on Analytical Dynamics. London: Heinemann Educational Books, 1965.
8. H. Baruh. Analytical Dynamics. WCB/McGraw-Hill, 1999.
9. L. Meirovitch. Methods of analytical dynamics. McGraw Hill, 1970.
10. G. Emanuel. Analytical Fluid Dynamics. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2016.
11. N. M. J. Woodhouse. Introduction to Analytical Dynamics. Springer, 2009.
12. M. D. Ardema. Analytical Dynamics: Theory and Applications. Kluwer Academic & Plenum Publishers, 2005.
13. Л. Д. Ландау та Е. М. Лифшиц. Теоретическая физика. Т.1. Механика. М.: Наука, 1988.
14. Л. Д. Ландау та Е. М. Лифшиц. Теоретическая физика. Т.2. Теория поля. М.: Наука, 1973.
15. И. И. Ольховский. Курс теоретической механики для физиков. М.: Наука, 1970.
16. Я. П. Терлецкий. Теоретическая механика. М.: Изд-во УДН, 1987.
17. Я. П. Терлецкий та Ю. П. Рыбаков. Электродинамика. М.: Высшая школа, 1990.
18. Ю. Г. Павленко. Лекции по теоретической механике. М.: Физматлит, 2002.
19. В. А. Угаров. Специальная теория относительности. М.: Наука, 1977.
20. Я. Б. Зельдович та А. Д. Мышкис. Элементы прикладной математики. М.: Наука, 1973.
21. В. И. Арнольд. Математические методы классической механики. М.: Наука, 1974.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

У таблиці 1 наведений стислий зміст лекцій, їх поділ за темами, а також завдання для самостійної роботи студентів.

№	Назва теми лекції та перелік основних питань
Осінній семестр	
Розділ 1. Ньютонова механіка	
Тема 1.1. Дослідження рівнянь руху і законів збереження	
1.	Властивості простору-часу. Закони Ньютона. Типи сил. Рівняння руху. Векторні закони збереження. Робота сторонніх сил. <i>Література для опрацювання:</i> [1, с.24-40], [6, §19-24], [7, §1.4], [12, §2.7]
Тема 1.2. Системи відліку та перехід між ними	
2.	Інерціальні та неінерціальні системи відліку. Сили інерції. Задача двох тіл. Система центру мас. Зведена маса і характеристики руху в задачі двох тіл <i>Література для опрацювання:</i> [2, с.39-61, 116—126], [11, §1.6-8]
Тема 1.3. Рух у полі центральних сил	
3.	Потенціал поля центральних сил. Приклади <i>Література для опрацювання:</i> [2, с.22-26], [1, с.97-104]
4.	Загальні властивості руху в полі центральних сил. Межі руху в полі центральних сил. Секторіальна швидкість. Закон площин <i>Література для опрацювання:</i> [1, с.105-129]
5.	Закони руху у полі сил, що підкоряються закону зворотних квадратів (задача Кеплера) <i>Література для опрацювання:</i> [5, с. с.92—97], [13, с. с.45—48], [8, §3.6-11]
Тема 1.4. Розсіювання частинок	
6.	Розсіювання (зіткнення) часток. Переріз розсіювання. Формули Резерфорда <i>Література для опрацювання:</i> [13, с. с.58—72]
Тема 1.5. Теорія подібності	
7.	Подібність фізичних явищ. Теорема про віріал <i>Література для опрацювання:</i> [2, с.38-39], [1, с.113-115], [5, с. с.84—86], [13, с. с.34—39], [6, §33]
Розділ 2. Лагранжева динаміка	
Тема 2.1. Рівняння Лагранжа I-ого роду	
8.	Типи в'язей. Принцип Даламбера і рівняння Лагранжа першого роду <i>Література для опрацювання:</i> [2, с.62-65], [1, с.199-206], [7, §1.8], [8, §4.3-7], [12, §3.1-2]
Тема 2.2. Рівняння Лагранжа II-ого роду	
9.	Узагальнені координати і узагальнені швидкості. Основне завдання класичної механіки. Основні рівняння класичної механіки. Інтегральне формулювання законів фізики <i>Література для опрацювання:</i> [15, с.193-245], [1, с.42-70], [8, §4.1-2], [11, §2.7-8], [12, §3.3]
10.	Принцип Гамільтона. Рівняння Лагранжа. Загальні властивості функції Лагранжа <i>Література для опрацювання:</i> [13, с. с.9—24], [7, §3.7], [12, §3.4-5]
11.	Принцип відносності. Група перетворень Галілея. Функція Лагранжа вільної частки. Функція Лагранжа системи часток для замкненої і незамкненої систем <i>Література для опрацювання:</i> [1, с.222-235], [13, с. с.15—24], [11, §3.1-4]
12.	Узагальнений потенціал. Заряд в зовнішньому силовому полі. Загальний вигляд рівняння Лагранжа. Дисипативна функція <i>Література для опрацювання:</i> [2, с.76-78], [5, с. с.31—34, 51—58]
Тема 2.3. Теорема Ньотер	
13.	Динамічні змінні. Інтеграл руху і закони збереження. Теорема Ньотер для системи часток. Закони збереження як наслідки теореми Ньотер: закон збереження енергії, закон збереження імпульсу, закон збереження моменту імпульсу. Рух у полі з гвинтовою симетрією <i>Література для опрацювання:</i> [2, с.185-189], [1, с.248-259], [18, с. с.52—55]

№	Назва теми лекції та перелік основних питань
14.	Перетворення величин, що зберігаються. Просторовий та часовий зсув системи відліку. Просторовий поворот системи відліку. Група Галілея. <i>Література для опрацювання:</i> [1, с.175-183, 305—310], [5, с. с.347—348]
Розділ 3. Коливання	
15.	Одновимірний рух: осцилятор поблизу положення рівноваги. Уявлення про біфуркацію. Малі коливання в системі з n степенями вільності (нормальні коливання). Приклад: малі коливання в системі з $n = 2$. Рух у швидко осцилюючому полі. <i>Література для опрацювання:</i> [2, с.134-146], [13, с. с.123—126], [6, §76-80], [9, §5.1-3]
Розділ 4. Механіка твердого тіла	
16.	Кінематика твердого тіла. Його орієнтація. Кути Ейлера. Тензор і вектор кутової швидкості <i>Література для опрацювання:</i> [2, с.197-201], [5, с. с.107—127, 142—154], [9, §4.1-8]
17.	Динаміка твердого тіла. Динамічні змінні твердого тіла. Тензор інерції. Рівняння Ейлера <i>Література для опрацювання:</i> [1, с.269-280], [9, §4.12-14]
18.	Залік.
Весняний семестр	
Розділ 5. Механіка суцільного середовища	
19.	Модель суцільного середовища у фізиці континуума. Кінематика суцільного середовища. Мала частка. Опис руху в змінних Лагранжа і Ейлера. Тензор швидкості деформації та тензор кутової швидкості локального обертання. Теорема Коші-Гельмгольца <i>Література для опрацювання:</i> [20, с.11-25], [16, с.125-131], [10, §4.1-4]
20.	Динаміка суцільного середовища. Рівняння неперервності (збереження маси). Тензор механічних напруг. Рівняння Коші, симетричність тензора напруг. Тензор тиску. Рівняння балансу імпульсу. Зміна кінетичної енергії з часом. Вектор густини потоку тепла. Диференціальна форма першого закону термодинаміки для суцільного середовища <i>Література для опрацювання:</i> [16, с.132-138], [2, с.218-223], [10, §3.1-7]
21.	Ідеальна рідина. Рівняння Ейлера, граничні умови на поверхнях розриву, сильні та слабкі розриви, теорема Томсона про циркуляцію, інтеграл Бернуллі, потенціальний рух, нестислива рідина. Звукові хвилі в рідині та газі. Рівняння Нав'є-Стокса. Повна система рівнянь руху. Ламінарна та турбулентна течії <i>Література для опрацювання:</i> [16, с.138-148], [2, с.245-255, 262—265], [10, §5.1-4]
Розділ 6. Гамільтонова динаміка	
22.	Перетворення Лежандра. Фазовий простір. Функція Гамільтона та рівняння Гамільтона. Варіаційний принцип для рівнянь Гамільтона. Теорема Ліувілля. Дужки Пуассона, їх властивості та зв'язок із законами збереження <i>Література для опрацювання:</i> [2, с.18-83, 201—208], [1, с. с.328—341], [16, с.98-110, 122—125]
23.	Канонічні перетворення та їх властивості. Умови канонічності перетворень. Рівняння Гамільтона-Якобі та методи їх розв'язання. Змінні «дія – кут». Адіабатична інваріантність змінних «дія» <i>Література для опрацювання:</i> [1, с. с.341—354, 357—370, 394—406], [16, с.105-110], [13, с.190-208]
Розділ 7. Спеціальна теорія відносності	
24.	Фізика і геометрія. Геометрії Евкліда і Мінковського. Інваріантність інтервалу між подіями як фундаментальний дослідницький факт псевдоевклідової геометрії простору-часу. Геометрична інтерпретація системи відліку. Перетворення Лоренца як наслідок інваріантності інтервалу і принципу причинності. Геометричний і фізичний зміст перетворень Лоренца, їх наслідки <i>Література для опрацювання:</i> [18, с.357-359], [19, с.111-126], [17, с.224-228, 235—240]

№	Назва теми лекції та перелік основних питань
25.	4-вектори і 4-тензори у теорії відносності. Ко- і контраваріантні вектори і тензори. Закони їх перетворення. 4-радіус-вектор. Квадрат інтервалу як квадрат 4-радіус-вектора. Фундаментальний метричний тензор. Матриця Лоренца («буст»). 4-швидкість і 4-прискорення, їх ортогональність і зв'язок з відповідними 3-швидкостями і 3-прискореннями. Формула додавання швидкостей як наслідок перетворення 4-векторів при переході від однієї 4-вимірної системи координат до іншої. <i>Література для опрацювання:</i> [19, с.114-117, 127—134], [3, с. 32—41] [17, с.240-244, 247—249]
26.	Релятивістська динаміка частки. Коваріантна форма законів та рівнянь руху для вільної частки. Параметризація простору-часу. Функція Лагранжа частки як 4-скаляр. Отримання коваріантної форми рівняння руху вільної частки з принципу Гамільтона. Запис функції Лагранжа через тривимірні величини. 3-імпульс. Узагальнена енергія. 4-імпульс частки (4-вектор енергії-імпульсу). Перетворення енергії та імпульсу як наслідок перетворення 4-вектора імпульсу. Зв'язок дії з 4-імпульсом. Релятивістське (коваріантне) рівняння Гамільтона-Якобі вільної частки. Перехід до нерелятивістського рівняння. Дія і функція Лагранжа для частки у зовнішньому заданому силовому полі. Рівняння Лагранжа у коваріантній формі як наслідок принципу Гамільтона. 4-сила, рівняння Мінковського. Перехід від коваріантного рівняння руху до нековаріантних рівнянь руху. Зв'язок компонент 4-сили Мінковського з компонентами 3-сили. <i>Література для опрацювання:</i> [5, с.248-236], [14, с. с.40—46], [19, с.134-139, 147—150], [3, с. 55-57], [17, с.265-267]
27.	Релятивістська заряджена частка (e, m) у заданому зовнішньому електромагнітному полі. 4-скаляр функції Лагранжа такої частки. 4- потенціал електромагнітного поля, узагальнений 4-імпульс заряду, коваріантна форма рівнянь Лагранжа. Рівняння Гамільтона-Якобі в коваріантній формі. Взаємодія в СТВ. Теорема Ньотер і закони збереження в релятивістській механіці системи невзаємодіючих часток. Параметризація простору-часу Мінковського. Запис функціоналу дії системи часток через обраний параметр простору-часу і отримання рівнянь Лагранжа із принципу Гамільтона. Формулювання і доведення теореми Ньотер для системи часток. Закони збереження 4-імпульсу системи та тензора 4-моменту імпульсу як наслідок теореми Ньотер. Зв'язок цих величин з тривимірними величинами. Лоренців момент. Релятивістське узагальнення поняття радіусу-вектора центру мас системи часток. <i>Література для опрацювання:</i> [3, с.55-57], [18, с.374-375], [17, с.269-270, 272—273, 288—293, 298—302], [14, с.60-64], [19, с.168-171]

Практичні заняття

Основні завдання циклу практичних занять — вироблення у студентів навичок застосування отриманих на лекціях теоретичних знань до розв'язання практичних задач. Викладач акцентує типові прийоми і оптимальні підходи. У таблиці 2 наведена тематика практичних занять та завдання, які слід розібрати на парі та/або задати студентам додому. Задачі до практичних занять зі збірнику [4], який містить додатки, необхідні для розв'язування задач, а також відповіді до більшості завдань.

№	Назва теми заняття та перелік розглянутих питань
Осінній семестр	
1.	Опис руху в ортогональних криволінійних системах координат: полярній, циліндричній, сферичній <i>Задачники:</i> [4, №1, 2, 3, 5а, 5б]

№	Назва теми заняття та перелік розглядуваних питань
2.	Опис руху в ортогональних криволінійних системах координат: полярній, циліндричній, сферичній (продовження) <i>Задачники:</i> [4, №7, 9, 14, 15]
3.	Динаміка руху <i>Задачники:</i> [4, №17-22]
4.	Динаміка руху (продовження) <i>Задачники:</i> [4, №26, 29, 30, 39—41]
5.	Рух у центральному полі <i>Задачники:</i> [4, №45-49, 51, 53, 58, 59, 61]
6.	Рух у центральному полі (продовження) <i>Задачники:</i> [4, №67, 68, 72, 73, 78, 79, 81, 83a]
7.	МКР №1. Елементи теорії подібності та розмірності <i>Задачники:</i> [4, №5, 6, 88, 91—94] <i>Література для опрацювання:</i> [2, с.26-31, 34—62], [1, с.97-117, 153—199], [15, с.14-24, 55—82, 104—116], [21, §11]
8.	Теорема про віріал <i>Задачники:</i> [4, №97-99, 102, 104]
9.	Рух при наявності в'язей <i>Задачники:</i> [4, №105-108, 110, 112, 113]
10.	Принцип Гамільтона. Рівняння Лагранжа <i>Задачники:</i> [4, №14, 115, 117—119, 122]
11.	Рівняння Лагранжа (продовження) <i>Задачники:</i> [4, №116, 121, 124, 126, 127, 129, 131, 132, 135]
12.	Рівняння Лагранжа (закінчення) <i>Задачники:</i> [4, №136, 140, 142с, 146, 152, 155—158]
13.	МКР №2. Електромеханічні системи <i>Задачники:</i> [4, №159-162] <i>Література для опрацювання:</i> [1, с.97-174, 199—235], [13, с. 39-78], [15, с.42-106], [18, с. 233-242]
14.	Захист розрахункової роботи <i>Література для опрацювання:</i> [1, с. 199-235, 261—285], [5, с. 163-201], [13, с. 78-169]
Весняний семестр	
15.	Вступ до теорії коливань <i>Задачники:</i> [4, №164, 168, 170, 173, 175, 176, 178]
16.	Вступ до теорії коливань (продовження). Динаміка твердого тіла <i>Задачники:</i> [4, №182, 183, 185—189, 190а, 190г, 193]
17.	Динаміка твердого тіла (продовження) <i>Задачники:</i> [4, №195, 197а, 195б, 198, 200, 203, 204]
18.	Кінематика суцільного середовища. Мала частка. Змінні Лагранжа і Ейлера. Тензори швидкості деформації та локальної кутової швидкості <i>Задачники:</i> [4, №206-214]
19.	Динаміка суцільного середовища. Рівняння неперервності. Рівняння Коші. Робота сил над середовищем. Зміна кінетичної енергії з часом <i>Задачники:</i> [4, №215-223]
20.	Динаміка суцільного середовища (продовження). Перший закон термодинаміки для суцільного середовища в диференціальній формі. Вектор Умова. Ідеальна рідина. Адіабатичний рух ідеальної рідини. Хвильове рівняння для звуку. Поверхні розриву. Граничні умови <i>Задачники:</i> [4, №224-232]

№	Назва теми заняття та перелік розглядуваних питань
21.	Рівняння Гамільтона. Фазовий простір. Перетворення Лежандра. Функція Гамільтона. Рівняння Гамільтона <i>Задачники: [4, №234-239]</i>
22.	Рівняння Гамільтона (продовження). Варіаційний принцип для рівнянь Гамільтона. Теорема Ліувілля. Застосування рівнянь Гамільтона <i>Задачники: [4, №240-249]</i>
23.	Рівняння Гамільтона (продовження). Канонічні перетворення <i>Задачники: [4, №250-259]</i>
24.	Рівняння Гамільтона (закінчення). Дужки Пуассона <i>Задачники: [4, №260-266]</i>
25.	МКР №1. Рівняння Гамільтона-Якобі. Складання рівняння Гамільтона-Якобі для різних фізичних систем <i>Задачники: [4, №267-275]</i>
26.	Рівняння Гамільтона-Якобі (продовження). Методи розв'язання <i>Задачники: [4, №276-282]</i>
27.	Змінні «дія-кут». Функція Гамільтона у змінних «дія-кут» <i>Задачники: [4, №283-291]</i>
28.	Змінні «дія-кут» (продовження). Адіабатична інваріантність змінних «дія» <i>Задачники: [4, №292-296]</i>
29.	Спеціальна теорія відносності (СТВ). Кінематика. Системи координат і системи відліку. Перетворення Лоренца і їх наслідки <i>Задачники: [4, №301-309]</i>
30.	МКР №2. Спеціальна теорія відносності (СТВ). Кінематика (продовження). 4-вектори і 4-тензори, їх перетворення <i>Задачники: [4, №310-317]</i>
31.	СТВ. Динаміка. Релятивістське рівняння руху. Функція Лагранжа і функція Гамільтона частки <i>Задачники: [4, №318-328]</i>
32.	СТВ. Динаміка (продовження). Варіаційний принцип для рівнянь руху в СТВ. Коваріантна форма рівняння Гамільтона-Якобі релятивістської частки. Перехід до нерелятивістської форми цього рівняння <i>Задачники: [4, №319-336]</i>

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студентів має на меті розвиток творчих здібностей та активізація їх розумової діяльності, формування потреби безперервного самостійного поповнення знань та розвиток морально-вольових зусиль. Завданням самостійної роботи студентів є навчити студентів самостійно працювати з літературою, творчо сприймати навчальний матеріал і осмислювати його та формування навичок до щоденної роботи з метою одержання та узагальнення знань, умінь і навичок.

На самостійну роботу відводяться наступні види завдань:

- обробка і осмислення інформації, отриманої безпосередньо на заняттях;
- робота з відповідними підручниками та особистим конспектом лекцій;
- виконання підготовчої роботи до практичних занять, до написання МКР (модульної контрольної роботи) та колоквиуму;
- виконання РР (розрахункової роботи);
- підготовка до складання семестрового контролю;

- самостійне вивчення наступних тем:
 - 6.1. Опис рівнянь і законів руху в криволінійних системах координат в ньютонівій механіці
 - 6.2. Рівняння Лагранжа для електромеханічних систем
 - 6.3. Параметричний резонанс. Ангармонічні коливання
 - 6.4. Типові методи розв'язання рівнянь першого порядку у часткових похідних

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування занять

Відвідування лекцій, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак, студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для успішного складання залік у.

Пропущені контрольні заходи

Модульні контрольні роботи та захист РР виконуються згідно графіку та не переписуються, виконання в інший час можливе лише з поважної причини

Календарний рубіжний контроль

Проміжна атестація студентів (далі — атестація) є календарним рубіжним контролем (див. таб. 3). Метою проведення атестації є підвищення якості навчання студентів та моніторинг виконання графіка освітнього процесу студентами¹.

Термін атестації	Перша атестація 8-й тиждень	Друга атестація 14-й тиждень
Критерій: поточний контроль	≥ 20 балів	≥ 40 балів

Таблиця 3. Графік та критерії атестації

Академічна доброчесність

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

Норми етичної поведінки

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

¹Рейтингові системи оцінювання результатів навчання: Рекомендації до розроблення і застосування. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 20 с.

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами (згідно «Положення про систему забезпечення якості вищої освіти у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», «Положення про організацію навчального процесу»).

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO) навчальної дисципліни «Класична механіка 1»

Видами контролю успішності засвоєння матеріалу дисципліни «Класична механіка 1» є модульна контрольна робота (МКР), виконання та захист розрахункової роботи, колоквиум та робота на практичних заняттях та семестровий контроль (залік).

Модульна контрольна робота

Робочим навчальним планом передбачено виконання студентами модульної контрольної роботи (МКР). Основною метою МКР є перевірка поточного рівня засвоєності теоретичних знань та навичок їх самостійного застосування до розв'язання практичних задач. Варіанти завдань МКР містять базові теоретичні питання та типові практичні задачі з відповідного розділу програми. МКР проводиться під час практичних занять та складається з двох частин:

1. Ньютонова механіка.
2. Лагранжева механіка.

Максимальна кількість балів за кожну контрольну роботу дорівнює 20 балів, за дві 40. Максимальна кількість балів за кожне завдання вказана в умові. Оцінка за завдання може варіюватись у залежності від кількості зроблених помилок у розв'язку та специфіки конкретного завдання. Списані відповіді, які студент не може пояснити, не зараховуються.

Колоквиум

Колоквиум відбувається у формі письмової роботи за матеріалами лекцій на останній лекції. У разі необхідності уточнення оцінки викладач може задати усно додаткові запитання. Максимальна оцінка за колоквиум – 25 балів.

Розрахункова робота

Максимальна кількість балів за виконання та захист розрахункової роботи $P_{\max} = 20$ балів. Розрахункова робота складається із $N_{\max} = 20$ прикладів. Необхідною умовою зарахування залікової роботи є правильне виконання 18 з 20 завдань. Захист відбувається за умови вчасного виконання студентом РР, а також її зарахування та складається із самостійного розв'язку студентом одного завдання з його роботи, обраного викладачем. Коефіцієнт захисту Z виставляється згідно наступних критеріїв:

$Z = 4 (+)$ – завдання розв'язане вірно

$Z = 3 (+.)$ – розв'язок містить кілька дрібних помилок

$Z = 2 (\pm)$ – розв'язок недоведений до кінця, або (та) містить суттєві помилки, або (та) багато дрібних. При цьому хід розв'язку у цілому вірний.

$Z = 1 (\mp)$ – розв'язку немає, або він у цілому невірний, але присутні правильні ідеї.

$Z = 0 (-)$ – розв'язок відсутній, або повністю невірний.

Оцінка за захист $= [(Z/4) * (N/N_{\max}) * P_{\max}]$, де N – кількість прикладів, що зроблені студентом у його РР. Таким чином, мінімальна позитивна оцінка за РР $P_{\min} = [1/4 * 18/20 * 20] = 4$ бали. Незахищена або незадовільно захищена ($Z = 0$) розрахункова робота оцінюється також у P_{\min} .

Активність на практичних заняттях

Ваговий бал для роботи біля дошки – 2. Максимальна кількість – 15 балів. Робота оцінюється згідно критеріїв:

- Отримання повної правильної відповіді без підказок (+) – 2 бала
- Отримання повної правильної відповіді з підказками (+.) – 1.5 бали
- В цілому правильний хід розв'язку, що супроводжувався суттєвими помилками (\pm) – 1 бал
- В цілому неправильний хід розв'язку що містив правильні ідеї (\mp) – 0.5 бала
- Розв'язку нема, або він повністю неправильний (–) – 0 балів.

Конструктивна ідея або відповідь із місця оцінюється в 1 бал. З огляду на обмежену кількість виходів до дошки студенти зацікавлені у активній участі в роботі на практичних заняттях.

Бонусні бали

За особливу гарну роботу на практиці або на лекції студент може додатково до базових балів отримати 5 бонусних балів.

Семестровий контроль (залік)

Стартовий рейтинг R_c є сумою базових (див. таб. 4) та бонусних (не більше ніж 5) рейтингових балів отриманих у семестрі. Сума максимально можливих базових балів дорівнює 100 балам:

№	Контрольний захід	Бал	Кількість	Всього
1	Модульні контрольні роботи	20	2	40
2	Колоквіум	25	1	25
3	РР	20	1	20
4	Практичні заняття	15		15
	Всього			100

Таблиця 4. Розподіл базових семестрових балів за видами контролю

Якщо розрахункова робота студента не зарахована, або не виконана та/або $R_c < R_{\text{доп}} = 40$, студент не допускається до заліку. Для отримання допуску студент має виконати одну або дві МКР та/або захистити РР.

У разі $R_c \geq 60$ балів, студент може отримати відповідну оцінку без складання заліку, причому його рейтинг із кредитного модулю $RD = R_c$.

Якщо $R_{\text{доп}} \leq R_c < 60$, або студент хоче підвищити оцінку, студент має скласти залік.

Залік складається з усної співбесіди з викладачем за програмою курсу. Залікова оцінка є остаточною.

Підсумковому значенню RD ставиться у відповідність традиційна оцінка (див. таб.5):

Кількість балів	Оцінка
95 – 100	Відмінно
85 – 94	Дуже добре
75 – 84	Добре
65 – 74	Задовільно
60 – 64	Достатньо
40 – 59	Незадовільно
0 – 39	Не допущено

Таблиця 5. Відповідність між **RD** та традиційною оцінкою

9. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO) навчальної дисципліни «Класична механіка 2»

Видами контролю успішності засвоєння матеріалу дисципліни «Класична механіка 2» є модульна контрольна робота (МКР), робота на практичних заняттях та семестровий контроль (іспит).

Модульна контрольна робота

Робочим навчальним планом передбачено виконання студентами модульної контрольної роботи (МКР). Основною метою МКР є перевірка поточного рівня засвоєності теоретичних знань та навичок їх самостійного застосування до розв'язання практичних задач. Варіанти завдань МКР містять базові теоретичні питання та типові практичні задачі з відповідного розділу програми. МКР проводиться під час практичних занять та складається з двох частин:

1. Динаміка суцільного середовища. Механіка Гамільтона.
2. Рівняння Гамільтона-Якобі спеціальної теорії відносності у чотиривимірній формі.

Максимальна кількість балів за кожну контрольну роботу дорівнює 20 балів, за дві 40. Максимальна кількість балів за кожне завдання вказана в умові. Оцінка за завдання може варіюватись у залежності від кількості зроблених помилок у розв'язку та специфіки конкретного завдання. Списані відповіді, які студент не може пояснити, не зараховуються.

Активність на практичних заняттях

Ваговий бал для роботи біля дошки – 2. Максимальна кількість – 20 балів. Робота оцінюється згідно критеріїв:

- Отримання повної правильної відповіді без підказок (+) – 2 бала
- Отримання повної правильної відповіді з підказками (+.) – 1.5 бали
- В цілому правильний хід розв'язку, що супроводжувався суттєвими помилками (\pm) – 1 бал
- В цілому неправильний хід розв'язку що містив правильні ідеї (\mp) – 0.5 бала
- Розв'язку нема, або він повністю неправильний (–) – 0 балів.

Конструктивна ідея або відповідь із місця оцінюється в 1 бал. З огляду на обмежену кількість виходів до дошки студенти зацікавлені у активній участі в роботі на практичних заняттях.

Бонусні бали

За особливу гарну роботу на практиці або на лекції студент може додатково до базових балів отримати 5 бонусних балів.

Семестровий контроль (іспит)

Стартовий рейтинг R_c є сумою базових (див. таб. 6) та бонусних (не більше ніж 5) рейтингових балів отриманих у семестрі. Сума максимально можливих базових балів дорівнює 60 балам:

№	Контрольний захід	Бал	Кількість	Всього
1	Модульні контрольні роботи	20	2	40
2	Практичні заняття	20		20
	Всього			60

Таблиця 6. Розподіл базових семестрових балів за видами контролю

Якщо $R_c \leq R_{\text{доп}} = 30$, студент не допускається до іспиту та має виконати одну чи дві МКР.

Іспит проводиться у вигляді письмової контрольної роботи за матеріалами двох кредитних модулів та складається з теоретичного питання та лекційної вправи, яка давалась під час лекцій. Орієнтовний перелік питань додається (цей перелік може корегуватись у залежності від виконання календарного плану). Максимальна оцінка за іспит 40 балів. Отримана оцінка є остаточною та в сумі з R_c складає RD .

Підсумковому значенню RD ставиться у відповідність традиційна оцінка (див. таб.5).

10. Питання до залікової роботи з навчальної дисципліни «Класична механіка 1»

Нижче наведений орієнтовний перелік теоретичних питань до колоквиуму. Цей перелік може корегуватись у залежності від виконання календарного плану

1. Задача двох тіл: постановка задачі, рівняння руху. Границі руху і закони руху в полі центральної сили
2. Рух в полі сил $F \sim 1/r^2$. Закони збереження. Траєкторія руху. Закони Кеплера
3. Розсіяння часток. Типи задач розсіяння. Постановка задач. Пружне розсіяння. Векторні діаграми розсіяння
4. Визначення перерізу розсіяння. Формули Резерфорда для перерізу розсіяння (з виведенням)
5. Метод подібності, ідея методу. Співвідношення подібності. Що таке моделювання явищ? Критерії подібності
6. Теорема про віріал (з доведенням). Часткові випадки застосування теореми про віріал для консервативних сил
7. Рух при наявності в'язей. Типи в'язей. Труднощі опису руху при наявності в'язей. Ідеальні в'язі. Рівняння Лагранжа I-го роду. Проаналізувати рух частки m по поверхні сфери радіусу R в полі сталого тяжіння
8. Узагальнені координати і швидкості. Проаналізувати, в якому випадку кінетична енергія системи є квадратичною формою узагальнених швидкостей
9. Сформулювати принцип Гамільтона і отримати рівняння Лагранжа-Ейлера. Властивості функції Лагранжа
10. Встановити вигляд функції Лагранжа для вільної частки. Функція Лагранжа для замкненої і незамкненої систем часток. Записати відповідні рівняння Лагранжа. Означення узагальненого імпульсу та узагальненої енергії
11. Сформулювати принцип Гамільтона для довільних системі отримати відповідні рівняння Лагранжа
12. Узагальнено-потенціальні системи. Вивести функцію Лагранжа для заряду (e, m) , який рухається в заданому електромагнітному полі
13. Узагальнений потенціал, лінійно залежний від швидкості. Рівняння Лагранжа для дисипативних систем. Функція Релея
14. Інтеграл руху і закони збереження. Сформулювати загальну теорему Ньотер і теорему Ньотер для системи часток. Навести головне співвідношення, що є наслідком теореми Ньотер та пояснити його сенс
15. Використовуючи головне співвідношення теореми Ньотер, отримати закони збереження: а) енергії; б) імпульсу; в) моменту імпульсу. Розглянути випадок руху частки в полі з гвинтовою симетрією
16. Одновимірний рух: осцилятор поблизу положення рівноваги (отримати рівняння руху, формулу для частоти коливань). Розглянути випадок біфуркації
17. Отримати вирази для нормальних координат двох взаємодіючих часток у полі з потенціалом
$$U = \frac{\omega_0^2}{2}(x_1^2 + x_2^2) + \beta x_1 x_2$$
. Записати відповідні рівняння Лагранжа
18. Детально розглянути рух частки у швидкоосцилюючому полі (і при наявності консервативного поля). Отримати вираз для ефективної потенціальної енергії
19. Кінематика абсолютно твердого тіла. Матриця повороту. Кути Ейлера. Ввести означення тензора кутової швидкості та подати його закон перетворення
20. Дуальний вектор і дуальний тензор. Їх зв'язок. Компоненти кутової швидкості: кутова швидкість прецесії, кутова швидкість мутації, власна кутова швидкість
21. Динамічні змінні твердого тіла: радіус-вектор центру інерції, імпульс, момент імпульсу, тензор інерції
22. Властивості тензора інерції. Кінетична енергія обертання та функція Лагранжа твердого тіла. Узагальнена енергія твердого тіла
23. Рівняння Лагранжа твердого тіла. Вивести рівняння Ейлера твердого тіла, пояснити їх сенс

11. Питання до іспиту з навчальної дисципліни «Класична механіка 2»

1. Властивості сил (закони Ньютона, додаткові експериментальні постулати, границі застосування та їх обґрунтування). Типи сил. Рівняння руху та векторні закони збереження: рівняння для однієї частки та для системи часток: а) рівняння для імпульсів; б) рівняння для моментів імпульсів. (Все з математичними викладками).
2. Робота та закон збереження механічної енергії (визначення роботи, потенціальні та консервативні сили, їх робота). Потенціал в полі центральної сили (приклади: гравітаційна сила та кулонівська сила), поле гравітаційної сили поблизу поверхні Землі.
3. НСВ. Сили інерції (визначення НСВ, зв'язок абсолютного прискорення з відносним, з виводом), типи сил інерції. Рівняння руху за наявності сил інерції та його окремі випадки: а) НСВ, що рухається поступально; б) НСВ, що обертається ($\omega = const$). Земна куля як НСВ: гравітаційна сила та сила тяжіння (різниця).
4. Зведена маса та закони збереження в задачі двох тіл
5. Задача двох тіл: загальні властивості руху в полі центральних сил
6. Рух в полі сил $F \approx 1/r^2$: траєкторія як конічний переріз, фінітний рух в полі притягання (параметри траєкторії), фінітний та інфінітний рух в полі сил відштовхування (параметри траєкторії).
7. Розсіяння часток: постановка задачі, типи розсіяння, пружне розсіяння, опис розсіяння в лабораторній системі відліку (СВ) і в системі відліку центра мас, зв'язок кутів розсіяння в цих системах відліку
8. Переріз розсіяння. Формули Резерфорда (вивід)
9. Поняття про механічну подібність, співвідношення подібності (рівняння в'язкої нестисненої рідини, число Рейнольдса)
10. Теорема віріала (доведення), приклади застосування
11. Рух за наявності в'язей: типи в'язей, принцип д'Аламбера-Лагранжа, рівняння Лагранжа 1-го роду, енергія за наявності реономних в'язей
12. Узагальнені координати та швидкості, стан системи, кінетична енергія, виражена через (q, \dot{q}) , рівняння руху в аналітичній механіці, основна задача аналітичної механіки.
13. Принцип Гамільтона, функція Лагранжа, рівняння Лагранжа 2-го роду. Властивості Лагранжіана.
14. Функція Лагранжа вільної частки, замкненої системи часток, що взаємодіють, системи часток, що взаємодіють у зовнішньому потенціальному полі.
15. Узагальнено-потенціальні сили, узагальнений потенціал, приклади
16. Рівняння Лагранжа для неконсервативних систем. Дисипативна функція Релея
17. Динамічні змінні. Інтеграли руху і закони збереження. Теорема Ньотер: формулювання і доведення.
18. Закони збереження як наслідок теореми Ньотер: $E, \vec{P}, \vec{M} = const..$ Перетворення величин, що зберігаються (у випадку неоднорідної групи Галілея).
19. Осцилятор в околі положення рівноваги: функція Лагранжа, рівняння коливань, керуючі параметри, біфуркація, частоти коливань.
20. Рух в полі, що швидко осцилює: загальна теорія, визначення положення рівноваги.
21. Нормальні коливання системи із n степенями вільності: рівняння коливань, частотний спектр, нормальні координати.
22. Вимушені коливання за наявності тертя (Ландау §26, с. 103-106).
23. Параметричний резонанс (Ландау §26, с. 106-108).
24. Ангармонічні коливання (Ландау §28, с. 112-115).
25. Кінематика твердого тіла: “вмерзла” система координат, матриця повороту, кути Ейлера. Тензор кутової швидкості, вектор кутової швидкості і його проекція на осі системи K і K' .
26. Динамічні змінні твердого тіла (радіус-вектор центра мас, момент імпульса, тензор інерції та його властивості, кінетична енергія, функція Лагранжа).
27. Рівняння Лагранжа твердого тіла. Узагальнені імпульси і сили.

28. Рівняння Ейлера твердого тіла (повна система рівнянь руху твердого тіла, запис цих рівнянь в векторній формі у “вмерзлом” базисі, рівняння Ейлера).
29. Модель суцільного середовища. Кінематичні характеристики суцільного середовища (мала частка, змінні Ейлера і Лагранжа, опис руху суцільного середовища в змінних Ейлера та Лагранжа).
30. Кінематика деформації. Вектор завихрення. Теорема Коші-Гельмгольца.
31. Збереження маси. Рівняння неперервності.
32. Тензор механічних напруг. Рівняння Коші. Доведення симетричності тензора напруг.
33. Перший закон термодинаміки для суцільного середовища (вивід рівняння для енергії).
34. Вивід рівняння балансу (збереження) для імпульсу (тензор густини потоку імпульсу) і для енергії (вектор Умова).
35. Ідеальна рідина: тензор тиску, рівняння Ейлера, рівняння Лемба-Громеки, рівняння для завихрення.
36. Ідеальна рідина: густина потоку імпульсу, рівняння балансу імпульсу, рівняння балансу енергії (вектор Умова).
37. Ідеальна рідина: інтеграл Бернуллі, інтеграл Коші (потенціальний рух), теорема Томсона, нестиснена ідеальна рідина.
38. Умови на розривах: поверхні сильного та слабого розривів, швидкість поверхні розподілу, граничні умови для маси, енергії, потоку імпульсу на прикладі ідеальної рідини.
39. В'язка рідина: тензор в'язких напруг, коефіцієнти в'язкості, їх зміст, рівняння Нав'є-Стокса, замкнена система рівнянь в'язкої рідини.
40. Замкнена система рівнянь нестисненої в'язкої рідини, ламінарна та турбулентна течія в'язкої рідини, число Рейнольдса.
41. Звукові хвилі в рідині та газі: вивід хвильового рівняння.
42. Перетворення Лежандра. Функція Гамільтона, рівняння Гамільтона.
43. Фазовий простір, зміст канонічних змінних, теорема Ліувілля.
44. Варіаційний принцип для рівнянь Гамільтона.
45. Дужки Пуассона. Властивості дужок Пуассона. Зв'язок дужок Пуассона із законами збереження (теорема Пуассона).
46. Канонічні перетворення (КП). Найбільш розповсюджені твірні функції для КП. Умови канонічності перетворень.
47. Рівняння Гамільтона-Якобі тайого зв'язок із методом КП. Загальний та повний інтеграл рівняння Гамільтона-Якобі, метод відокремлення змінних для розв'язку рівняння Гамільтона-Якобі.
48. Змінні “дія-кут”: типи періодичного руху, введення змінних “дія-кут”, їх зміст.
49. Поняття адіабатичної інваріантності, дія J як адіабатичний інваріант. Приклад: математичний маятник із змінною довжиною підвісу.
50. Властивості швидкості електромагнітних хвиль в вакуумі. Подія. Перетворення Галілея. Їх зміст. Інтервал, його інваріантність, зміст. Принцип відносності як наслідок псевдоевклідовості простору-часу. Перетворення Лоренца: вивід із $ds^2 = inv..$ Зміст перетворень Лоренца. Наслідки перетворень Лоренца (релятивістське скорочення довжини, релятивістське скорочення часу, перетворення швидкостей та прискорень).
51. Геометричний зміст перетворень Лоренца, геометричне трактування системи відліку, інваріантне “градування” системи координат.
52. 4-радіус вектор, 4-швидкість, 4-прискорення та їх властивості. Перетворення 4-векторів. Контра-варіантні компоненти векторів, “фізичні” компоненти векторів.
53. Дія та функція Лагранжа вільної частки, енергія, імпульс та рівняння Гамільтона-Якобі для вільної частки. Граничний перехід до класичного рівняння Гамільтона-Якобі. 4-імпульс і 4-хвильовий вектор, інваріантність фази електромагнітних хвиль, перетворення ω та \mathbf{k} .
54. Рівняння Лагранжа в СТВ. Функція Лагранжа як 4-скаляр. 4-сила. Рівняння Мінковського. Зв'язок 4-сили із тривимірним вектором сили.

55. СТВ як теорія близькосяжної дії. Представлення взаємодії в СТВ. Заряд у зовнішньому заданому електромагнітному полі: функція Лагранжа, 4-імпульс, рівняння Лагранжа в коваріантній формі, рівняння Гамільтона-Якобі в коваріантній формі.

12. Лекційні вправи до іспиту з навчальної дисципліни «Класична механіка 2»

1. Задача двох тіл:

1.1. Отримати умову падіння на центр

$$r^2 U(r)|_{r \rightarrow 0} < -\frac{M^2}{2\mu}.$$

1.2. Показати, що

$$\vec{M} = m\vec{R}_c \times \vec{V}_c + \mu\vec{r} \times \vec{v},$$

$$T = \frac{mV_c^2}{2} + \frac{\mu v^2}{2}.$$

2. Задача Кеплера

- 2.1. Показати, що величина великої напівосі еліпса залежить тільки від енергії: $a = \alpha/2|E|$.
- 2.2. Показати, що при заданій E , якщо $M = M_{\max}$, еліпс вироджується в коло, радіус якого дорівнює великій напівосі еліпса.
- 2.3. Показати, що при заданій M , якщо $E = E_{\min}$, еліпс вироджується в коло.
- 2.4. Отримати 3-й закон Кеплера

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\mu}{\alpha}}a^{3/2}.$$

2.5. Отримати

$$\Phi = \pi + 2 \arctan \left(\frac{\alpha}{M} \sqrt{\frac{\mu}{2E}} \right).$$

3. Розсіяння часток

3.1. Отримати

$$\tan \theta_1 = \frac{m_2 \sin \chi}{m_1 + m_2 \cos \chi}.$$

3.2. Отримати

$$P'_1 = P_1 \sqrt{1 - \frac{4\mu}{m} \sin^2 \frac{\chi}{2}}, \quad P'_2 = P_1 \frac{2m_2}{m} \sin \frac{\chi}{2}.$$

4. Механіка Лагранжа (вправи)

4.1. Показати, що в узагальнених координатах

$$T = T_2 + T_1 + T_0,$$

де

$$T_2 = \frac{1}{2} a_{jk} \dot{q}_j \dot{q}_k, \quad T_1 = b_j \dot{q}_j, \dots$$

4.2. Знайти матрицю γ_{jk} для сил

a) $\vec{F} = 2m\vec{v} \times \vec{\omega}, \quad \vec{\omega} = const.$

b) $\vec{F} = \frac{e}{c} \vec{v} \times \vec{B}, \quad \vec{B} = const.$

4.3. Для неконсервативних систем із $\delta S = 0$, де

$$S = \int_1^2 (T + A) dt$$

отримати

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_i.$$

4.4. Для систем із дисипацією за Релеєм отримати

$$\frac{dH}{dt} = -2D - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial t}.$$

4.5. Отримати формули перетворення величин, що зберігаються, для випадків: а) просторового зсуву; б) просторового обертання; в) однорідної групи Галілея.

4.6. Показати, що для систем із n степенями вільності при згасаючих коливаннях із дисипацією за Релеєм

$$\frac{dE}{dt} = -2D.$$

4.7. Довести формулу Ейлера (загальний випадок)

$$\frac{dJ}{dt} = J \operatorname{div} \vec{u}, \quad \text{де} \quad \vec{u} = (u_1, u_2, \dots, u_N).$$

4.8. Показати, що

$$\vec{r} \cdot \hat{D} = \nabla \left(\frac{1}{2} D \right),$$

де $D = \vec{r} \cdot \hat{D} \cdot \vec{r}$

4.9. Показати, що

$$\vec{r} \cdot \hat{\Omega} = \frac{1}{2} (\vec{\xi} \times \vec{r}).$$

4.10. Показати, що для ідеальної рідини

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{v^2}{2} + \phi + h \right) = \frac{\partial}{\partial t} (\phi + h).$$

4.11. Показати, що для ідеальної рідини

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho S) + \operatorname{div} (\rho S \vec{v}) = 0.$$

(рівняння балансу ентропії). Яка гранична умови звідси впливає?

4.12. Показати, що для адіабатичного руху ідеальної рідини

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\vec{\xi}}{\rho} \right) = \left(\frac{\vec{\xi}}{\rho} \cdot \nabla \right) \vec{v}.$$

4.13. Із умови на границі $[\vec{\pi} \cdot \vec{n}] = 0$ отримати

$$[P + \rho v_n^2] = 0, \quad [\rho v_n \vec{v}_\tau] = 0.$$

4.14. Привести до безрозмірного вигляду рівняння руху в'язкої рідини, що не стискається.

4.15. Показати для твердого тіла, що:

$$a) \quad \vec{e}_\xi = S_{1n} \vec{e}_n, \quad b) \quad \hat{\Omega} \vec{A} = -\vec{\omega} \times \vec{A}.$$

4.16. Показати, що для фіксованої точки твердого тіла

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{v}_0 + \vec{\omega}' \times \vec{r}'.$$

4.17. Показати, що для узагальнених сил твердого тіла виконується

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \alpha_j} = \vec{N} \cdot \vec{e}_j.$$

4.18. Відомо, що

$$T_{\text{обер}} = \frac{\vec{\omega} \cdot \vec{M}}{2}.$$

Показати, що

$$\frac{dT_{\text{обер}}}{dt} = \vec{N} \cdot \vec{\omega}.$$

5. Механіка Гамільтона

5.1. Довести, що для системи часток, які взаємодіють, справедливо

$$a) [M_i, P_j] = -\epsilon_{ijk} P_k, \quad b) [M_i, M_j] = -\epsilon_{ijk} M_k,$$

де $\vec{M} = \sum_{a=1}^N \vec{M}_a$ – момент імпульса, $\vec{P} = \sum_{a=1}^N \vec{P}_a$ – імпульс системи.

5.2. Перевірити канонічність перетворення

$$\Psi_1 = \frac{m\omega q^2}{2} \cot Q.$$

5.3. Для руху частки маси m в полі із потенціалом $U(r, \theta) = u(r) + b(\theta)/r^2$, де r, θ, ϕ – сферичні координати, знайти $\{r(t), \theta(t), \phi(t)\}$, $\{P_r(t), P_\theta(t), P_\phi(t)\}$ в квадратурах, користуючись

$$S = -Et + P_\phi \phi + \int \sqrt{\lambda - 2mb(\theta) - \frac{P_\phi^2}{\sin^2 \theta}} d\theta \\ + \int \sqrt{2m(E - u(r)) - \frac{\lambda}{r^2}} dr.$$

6. СТВ

6.1. Виходячи з перетворень Лоренца показати, що $\ell = \ell_0 \sqrt{1 - v^2}$, $\Delta\tau = \Delta t \sqrt{1 - v^2}$,

$$u'_x = \frac{u_x - v}{1 - vu_x}, \quad u'_{y,z} = \frac{u_{y,z}}{\Gamma(1 - vu_x)}, \quad a'_x = \frac{a_x}{\Gamma^3(1 - vu_x)^3}.$$

6.2. Використовуючи закон перетворення 4-векторів отримати формулу додавання швидкостей в СТВ.

6.3. Довести співвідношення $B_j = g_{jk} B^k$, $B^k = g^{kj} B_j$,

$$\vec{e}^j \cdot \vec{e}^k = g^{jk}, \quad \vec{e}^j \cdot \vec{e}_k = \delta_k^j, \quad \vec{A} \cdot \vec{B} = A_j B^j = A^j B_j.$$

6.4. Показати, що $W^0 = \Gamma^4 \vec{v} \vec{a}$, $\vec{W} = \Gamma^2 \vec{a} + W^0 \vec{v}$, де $W^\mu = (W^0, \vec{W})$.

6.5. Записати закон перетворення 4-векторів

$$A'^0 = \Gamma_*(A^0 - v_* A^1), \quad A'^1 = \Gamma_*(A^1 - v_* A^0)$$

в звичайних одиницях, коли $c \neq 1$.

6.6. 3

$$g^{\mu\nu} \frac{\partial S}{\partial x^\mu} \frac{\partial S}{\partial x^\nu} = m^2$$

отримати

$$\left(\frac{\partial S}{\partial t}\right)^2 - (\nabla S)^2 = m^2.$$

6.7. З релятивістського рівняння Гамільтона-Якобі для вільної частки отримати рівняння для нерелятивістського випадку.

6.8. Із

$$S = \int_1^2 \mathcal{L}^4(u^\mu, x^\mu, \tau) d\tau, \quad \delta S = 0,$$

отримати

$$\frac{dP_\mu}{d\tau} = -\frac{\partial \mathcal{L}^4}{\partial x^\mu}.$$

6.9. З рівняння Мінковського отримати для 4-сили $\mathcal{F}^\mu = (\Gamma(\vec{v}\vec{F}), \Gamma\vec{F})$.

6.10. Із рівняння Лагранжа

$$\frac{dP^\mu}{d\tau} = -\frac{\partial \mathcal{L}^4}{\partial x_\mu}$$

отримати

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = \vec{F}, \quad \frac{d\epsilon}{dt} = \vec{F}\vec{v},$$

в тому числі і для заряду в зовнішньому електромагнітному полі.

6.11. Показати, що при перетвореннях Лоренца властивості симетрії та антисиметрії тензора зберігаються.

6.12. Показати, що метричний тензор $g^{\mu\nu} = (1, -1, -1, -1)$ інваріантний відносно перетворень Лоренца.

6.13. Показати, що із припущення для потенціальної енергії $U = U(r)$ впливає наявність нескінченної швидкості передачі взаємодії.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено: _____ доцент, к.ф.-м.н., доцент Кравцов Олег Васильович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ПІБ)

старший викладач Наказной Павло Олександрович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ПІБ)

Ухвалено: кафедрою _____ інформаційної безпеки

(повна назва кафедри)

(протокол № 16/2020 від 27 серпня 2020 р.)

Затверджено: Вченою радою _____ Фізико-технічного інституту

(назва факультету/інституту)

(протокол № 7/1 від 7 вересня 2020 р.)