

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В.Н. КАРАЗІНА

Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**ЗАВІДУВАЧ КАФЕДРИ**

\_\_\_\_\_ Ткаченко В.І.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_\_\_ р.

**НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС**

**НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**«МЕХАНІКА»**

**ЗМІСТ НМК**

- 1. Робоча програма навчальної дисципліни (1.1. Розширені плани (теми) лекцій).**
- 2. Методичні рекомендації для виконання практичних, лабораторних, самостійних, контрольних робіт**
  - 2.1. Навчальний контент** (навчальний посібник у електронному вигляді та у дистанційному курсі; перелік підручників та посібників, що є в наявності в бібліотечному фонді);
  - 2.2. План практичних занять** (завдання на кожне заняття, критерії оцінювання завдань та методів поточного контролю у робочій програмі);
  - 2.3. Перелік та завдання для лабораторних робіт** (Методичні вказівки у електронному вигляді, в бібліотечному фонді, 1 екземпляр на кафедрі);
  - 2.4. Завдання для самостійної роботи** (завдання на опрацювання теоретичного матеріалу на основі навчального контенту у друкованому вигляді: вивчити, проаналізувати, розібрати, дослідити, тощо);
  - 2.5. Завдання для контрольних робіт** (передбачених навчальним планом); зразок виконання завдань КР; критерії оцінювання кожного завдання КР
  - 2.6. Завдання для розрахунково-графічної роботи** (передбаченої навчальним планом); зразок виконання завдань РГР; критерії оцінювання завдань РГР
- 3. Приклади завдань семестрового екзамену**
  - 3.1. Питання, що виносяться на підготовку до екзамену та можуть складати завдання семестрового екзамену;**
  - 3.2. Зразок Білету для семестрового екзамену (з проставленням балів за кожне завдання);**
  - 3.3. Критерії оцінювання набутих знань і вмінь.**

## 1.1. Розширені плани (теми) лекцій

### *Розділ 1. Ньютонівська механіка: основи кінематики, динаміка матеріальної точки* *Вступ.*

Предмет фізики, як основи природознавства. Методи фізичних досліджень. Фізичні величини та їх вимірювання. Сучасна фізика і науково-технічний прогрес. Предмет і структура механіки. Сучасні уявлення про простір і час. Основні задачі механіки. Математичний апарат та наукові абстракції, що використовуються у даному курсі.

#### *Тема 1. Кінематика матеріальної точки та абсолютно твердого тіла*

Відносність механічного руху. Система відліку. Способи опису руху матеріальної точки, радіус-вектор, координати, кінематичні рівняння руху. Траєкторія, шлях, переміщення матеріальної точки. Ступені свободи і узагальнені координати. Середня та миттєва швидкості, середнє та миттєве прискорення і його складові при криволінійному русі. Елементарний кут повороту. Кутова швидкість і кутове прискорення. Частота та період обертання. Співвідношення між кутовими та лінійними кінематичними величинами. Поступальний та обертальний рухи абсолютно твердого тіла (АТТ). Довільний рух АТТ, як суперпозиція його поступального і обертального рухів.

#### *Тема 2. Динаміка матеріальної точки та поступального руху твердого тіла*

Взаємодія між тілами. Типи взаємодій у природі. Сила і механічний рух. Перший закон Ньютона. Інерціальні системи відліку. Інерція. Поняття про інертну масу. Основні сили, що розглядаються у механіці. Другий закон Ньютона. Імпульс. Імпульс сили. Інтегральна форма основного закону динаміки. Третій закон Ньютона. Використання законів Ньютона для розв'язування фізичних задач. Межі застосовності ньютонівської механіки.

### *Розділ 2. Закони збереження*

#### *Тема 1. Закон збереження імпульсу*

Величини, що зберігаються. Система матеріальних точок. Імпульс системи. Закон збереження імпульсу. Наслідки закону збереження імпульсу. Центр мас системи. Закон руху центра мас. Приклади та характеристики руху тіл, маса яких змінюється. Реактивний рух. Реактивна сила. Рівняння Мещерського. Формула Ціолковського. Відомості про реактивні двигуни. Внесок українських вчених у розвиток космонавтики.

#### *Тема 2. Закон збереження енергії*

Робота сили. Потужність. Кінетична енергія. Потенціальна енергія. Потенціальні та непотенціальні силові поля. Консервативні та неконсервативні сили. Зв'язок між консервативною силою та потенціальною енергією. Потенціальна енергія тіла, піднятого над поверхнею Землі. Потенціальна енергія пружно деформованого тіла. Потенціальна енергія взаємодії. Повна механічна енергія тіла, системи тіл. Закон збереження механічної енергії. Загальні характеристики механічних процесів, що відбуваються при зіткненні тіл. Удар. Центральний удар. Абсолютно пружний та абсолютно непружний удари. Закони зіткнення тіл і сучасні методи дослідження елементарних частинок.

#### *Тема 3. Закон збереження моменту імпульсу*

Момент імпульсу матеріальної точки. Момент сили. Рівняння моментів для матеріальної точки. Ізольована система. Закони зміни та збереження моменту імпульсу системи матеріальних точок. Рівняння моментів для системи матеріальних точок. Зв'язок законів збереження із симетрією простору-часу.

### *Розділ 3. Елементи механіки твердого тіла і механіки суцільних середовищ*

#### *Тема 1. Динаміка твердого тіла*

Моделі уявлення про абсолютно тверде тіло як систему жорстко зв'язаних матеріальних точок. Центр мас твердого тіла. Моменти інерції точки та тіла відносно осі обертання. Приклади аналітичного розрахунку моментів інерції деяких однорідних тіл. Теорема Гюйгенса-Штейнера. Рівняння динаміки обертального руху твердого тіла. Плоский рух твердого тіла. Кінетична енергія обертального руху. Повна кінетична енергія при плоскому русі твердого тіла. Робота зовнішніх сил при обертанні твердого тіла. Умови рівноваги твердого тіла. Принцип мінімуму потенціальної енергії у стійкому положенні твердого тіла. Закони збереження при поступальному та обертальному рухах твердого тіла. Вільні осі обертання. Гіроскопи та особливості їх руху. Приклади використання гіроскопів. Деформації твердого тіла.

#### *Тема 2. Елементи механіки рідин і газів*

Властивості рідин та газів. Тиск у рідинах та газах. Закони гідростатики (Архімеда, Паскаля). Ідеальна рідина. Стаціонарний рух ідеальної рідини. Лінії та трубки течії. Рівняння нерозривності. Рівняння Бернуллі та фізичний зміст його складових. Формула Торрічеллі. В'язкість (внутрішнє тертя) рідин та газів. Сила внутрішнього тертя. Ламінарна і турбулентна течії. Число Рейнольдса. Формула Пуазейля. Рух тіл у рідинах і газах. Підймальна сила і лобовий опір.

#### *Тема 3. Всесвітнє тяжіння. Елементи теорії поля*

Закони Кеплера і закон всесвітнього тяжіння. Поняття про гравітаційну масу. Еквівалентність гравітаційної та інертної мас. Гравітаційна стала та способи її визначення. Сила тяжіння. Невагомість. Робота у полі тяжіння. Потенціальна енергія тіла у гравітаційному полі. Потенціал поля тяжіння. Зв'язок між потенціалом поля тяжіння і його напруженістю. Космічні швидкості. Рух штучних супутників Землі. Залежність прискорення сили тяжіння Землі від широти місцевості. Пояснення причин припливів та відпливів. Неінерціальні системи відліку. Сили інерції та їх прояв. Принцип еквівалентності. Вплив добового обертання Землі на рух тіл біля її поверхні та на їх вагу.

## **2.1. Навчальний контент**

### **Основна література**

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., П.П. Луцик. Загальний курс фізики. т.1. Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. – Київ, Техніка, 1999.
2. Бушок Г.Ф., Венгер Є.Ф. Курс фізики: у 3 кн. Кн. 1. Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. - К. : Вища школа, 2002.
3. Матвеев А.Н. Механика и теория относительности: Учеб. для студентов вузов. – М.: ООО «Изд-во «Мир и образование», 2003.
4. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.1. Механика. - М.: Наука. 1989.
5. Савельев И.В. Курс общей физики: в 4 т. Т. 1. Механика. Молекулярная физика и термодинамика: учеб. пособие. – М.: КНОРУС, 2009.
6. Иродов И.Е. Основные законы механики. – М.: Высш. шк., 1985.
7. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики: учеб. пособие для вузов. - М.: Высш. шк., 1999.
8. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т.1-4. - М.: Мир, 1977.
9. Загальний курс фізики: Збірник задач / За ред. проф. І.П. Гаркуші. – К.: «Техніка», 2004.
10. Иродов И.Е. Задачи по общей физике. Учеб. пособие для вузов. - М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001.
11. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. – М.: Наука, Главная редакция физ.-мат. литературы, 1985.
12. Загальна фізика: Лабораторний практикум / За заг. ред. І.Т. Горбачука. – К.: Вища школа, 1993.
13. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Практикум по физике. М.: Высшая школа, 1961.

## Допоміжна література

14. Біленко І.І. Фізичний словник. - К.: Вища школа, 1993.
15. Яворський Б.М., Детлаф А.А. Справочник по фізиці для инж. и студентов вузов. - М.: Наука, 1971.
16. Чолпан П.П. Фізика: підручник. – К.: Вища школа, 2003.
17. Гірка В.О., Гірка І.О. Механіка. Навчальний посібник / Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2013.
18. Трофимова Т.И. Курс фізики: Учеб. пособие для вузов. - 5-е изд., стер. - М.: Высш. шк., 1998.
19. Элементарный учебник фізики под ред. акад. Г.С. Лансберга. Т.1. Механика. Теплота. Молекулярная фізика. - М.: Наука, 1972.
20. Загальна фізика: Збірник задач / В.М. Барановський, П.В. Бережний, П.О. Возний та ін.; За заг. ред.. І.Т. Горбачука. – К.: Вища шк., 1993.
21. Збірник задач з фізики / І.П. Гаркуша, В.П. Курінний, М.Ш. Певзнер; за заг. ред.. І.П. Гаркуші. – К.: Вища шк., 1995.
22. Чертов А.Т. и др. Задачник по фізиці, М.: Высшая школа, 1973-1985.
23. Гірка В.О., Гірка О.І., Кондратенко А.М., Програма та методичні поради з механіки та молекулярної фізики для студентів 1 курсу фізико-технічного факультету. - Харків: ХДУ, 1993.
24. Гірка В.О., Гірка О.І., Кондратенко А.М. Методичні поради до розв'язання домашніх завдань з курсу «Фізика» для студентів першого курсу факультету комп'ютерних наук. - Харків.: Просвіта, 2004.
25. Дементий О.И. Использование основных положений дифференциального и интегрального исчислений при решении задач по общему курсу фізики: Методические указания к решению задач для студентов 1-2 курсов физико-технического факультета. - Харьков: Изд-во Харьк. ун-та, 1993.
26. Лебедев В.П., Иванов Е.Д., Сухов В.Н. Решение задач по механике в курсе общей фізики. Учебное пособие. - Харьков: ХНУ, 2004.
27. Бабаджан Е.И., Гервидс В.И., Дубовик В.М., Нерсесов Е.А. Сборник качественных вопросов и задач по общей фізиці. - М.: Наука, 1990.
28. Висвітлення досягнень українських фізиків в курсі загальної фізики / Укл.: Зачек І.Р., Лопатинський І.Є., Хром'як Й.Я.. - Львів, ДУЛП, 1999.

## 2.2. План практичних занять з дисципліни «Механіка»

№	Назва теми	Кількість годин	джерело [1]	джерело [2]
1-2	Кінематика матеріальної точки. Системи одиниць вимірювання. Мірність простору. Поняття матеріальної точки. Системи координат в трьохвимірному просторі. Інерційні системи відліку. Кінематика рівномірного руху.	4	<b>1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7</b>	<b>1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.7, 1.8, 1.9,</b>
3-4	Рух тіл з прискоренням. Розрахунки відстані, швидкості та прискорення.	4	<b>1.9, 1.10, 1.14, 1.15, 1.28, 1.30, 1.34, 1.35, 1.37, 1.38</b>	<b>1.10, 1.11, 1.12, 1.20, 1.21, 1.28, 1.29, 1.32, 1.33</b>
5-6	Графічне відображення руху тіл з прискоренням. Відносність механічного руху. Правило складання швидкостей.	4	<b>1.11, 1.17, 1.18, 1.22, 1.23, 1.24, 1.25</b>	<b>1.4, 1.13, 1.14, 1.15, 1.17, 1.18, 1.24, 1.30,</b>
7-8	Кінематика обертального руху. Кутова швидкість та кутове прискорення.	4	<b>1.43, 1.44, 1.49, 1.50, 1.54, 1.55, 1.58, 1.61,</b>	<b>1.6, 1.19, 1.26, 1.37, 1.38, 1.39, 1.40, 1.43,</b>

			1.62, 1.64	1.44,
9	Поняття сили взаємодії. Основне рівняння динаміки поступового руху. 1 та 2 закони Ньютона. Третій закон Ньютона. Використання законів Ньютона для розв'язування фізичних задач. Межі застосовності ньютонівської механіки.	2	<b>2.1</b> , 2.2, <b>2.3</b> , 2.4, <b>2.5</b> , 2.6, <b>2.7</b> , <b>2.8</b> , 2.9	<b>1.60</b> , 1.61, <b>1.63</b> , 1.64, <b>1.66</b> , 1.67, <b>1.72</b> , 1.74, <b>1.77</b> , 1.78,
10-11	Визначення імпульсу тіл. Розрахунки динаміки поступового руху матеріальних тіл.	4	2.15, <b>2.16</b> , <b>2.17</b> , 2.18, <b>2.21</b> , 2.22, <b>2.27</b> , 2.28, 2.32, <b>2.33</b> , 2.34	<b>1.143</b> , 1.145, <b>1.154</b> , 1.156, <b>1.157</b> , 1.158
12-13	Визначення моменту імпульсу тіл. Розрахунки динаміки обертального руху матеріальних тіл.	4	<b>2.94</b> , 2.95, <b>2.99</b> , 2.101, 2.103, <b>2.104</b> , 2.109, <b>2.112</b> , 2.113	<b>1.88</b> , 1.92, 1.106, <b>1.108</b> , <b>1.110</b> , 1.112, <b>1.113</b> , 1.114, 1.117
14-15	Величини, що зберігаються. Система матеріальних точок. Закон збереження імпульсу. Наслідки закону збереження імпульсу. Реактивний рух.	4	2.61, <b>2.62</b> , 2.63, <b>2.64</b> , 2.65, <b>2.66</b> , <b>2.70</b> , 2.71, <b>2.73</b> , 2.74	<b>1.162</b> , 1.163, <b>1.165</b> , 1.166, 1.169, <b>1.171</b> , <b>1.173</b> , 1.178, <b>1.179</b> , 1.181
16-18	Робота сили. Потужність. Кінетична енергія. Потенціальна енергія. Потенціальні та непотенціальні силові поля. Консервативні та неконсервативні сили. Зв'язок між консервативною силою та потенціальною енергією. Закон збереження енергії.	6	<b>2.12</b> , 2.13, <b>2.37</b> , 2.39, <b>2.42</b> , 2.44, <b>2.48</b> , 2.51, <b>2.53</b> , 2.57, <b>2.75</b> , 2.78, <b>2.81</b> , 2.84, 2.87, <b>2.90</b>	<b>1.118</b> , 1.119, <b>1.120</b> , 1.124, <b>1.125</b> , 1.130, 1.132, <b>1.135</b> , 1.138, 1.141
19-20	Нормальна та тангенціальна складові сили при криволінійному русі. Сила деформації. Потенціальна енергія пружних сил..	4	<b>2.103</b> , 2.104, <b>2.108</b> , 2.109, <b>2.114</b> , 2.115, <b>2.119</b> , 2.120, <b>2.123</b> , 2.124, <b>2.126</b> , 2.127	<b>1.40</b> , 1.142, <b>1.150</b> , 1.151, <b>1.152</b> , 1.153, 1.184, 1.191,
21-22	Динаміка твердого тіла. Моменти інерції тіл обертання. Теорема Штейнера.	4	<b>3.2</b> , 3.3, <b>3.9</b> , 3.10, 3.16, <b>3.17</b> , 3.20, <b>3.21</b> , 3.27, <b>3.28</b>	1.235, <b>1.241</b> , <b>1.243</b> , 1.246, <b>1.251</b> , 1.256, <b>1.260</b> , 1.266, 1.269, <b>1.280</b> , 1.284
23-24	Кутова швидкість та кутове прискорення твердого тіла. Зв'язок між лінійною та кутовою швидкість при обертанні твердого тіла.	4	2.29, <b>2.30</b> , <b>2.32</b> , 2.33, <b>2.37</b> , 2.38, 2.40, <b>2.41</b>	1.46, <b>1.47</b> , <b>1.48</b> , 1.50, <b>1.51</b> , 1.52, <b>1.53</b> , 1.54, <b>1.57</b> , 1.58
25-26	Рух планет сонячної системи. Закони Кеплера. Гравітаційна взаємодія. Закон тяжіння Ньютона. 1-3 космічні швидкості.	4	2.132, <b>2.134</b> , 2.135, 2.141, <b>2.144</b> , 2.150, <b>2.153</b> , 2.155,	<b>1.200</b> , 1.205, <b>1.208</b> , 1.213, 1.216, <b>1.219</b> , 1.223, <b>1.226</b> ,

			<b>2.159, 2.161</b>	1.230, <b>1.233</b>
27-28	Елементи механіки суцільних середовищ. Властивості рідин та газів. Тиск у рідинах та газах. Закони гідростатики (Архімеда, Паскаля). Ідеальна рідина. Стаціонарний рух ідеальної рідини. Лінії та трубки течії. Рівняння нерозривності. Рівняння Бернуллі та фізичний зміст його складових.	4	2.128, <b>2.129</b> , 2.130, <b>2.131</b> , 4.2, <b>4.3</b> , 4.5, 4.6	<b>1.315</b> , 1.316, 1.317, <b>1.320</b> , 1.321, <b>1.322</b> , 1.324, <b>1.326</b> , 1.333, <b>1.328</b>
29-30	Формула Торрічеллі. В'язкість (внутрішнє тертя) рідин та газів. Сила внутрішнього тертя. Ламінарна і турбулентна течії.	4	4.10, <b>4.11</b> , <b>4.14</b> , 4.15, 4.17, <b>4.18</b> , 4.19, <b>4.20</b>	1.322, <b>1.324</b> , <b>1.328</b> , 1.329, 1.331, <b>1.335</b> , 1.338,
31-32	Математичний маятник. Гармонічні коливання. Коливання фізичного тілу. Частота, період коливання. Автоколивання. Резонанси.	4	<b>3.45</b> , 3.46, <b>3.49</b> , 3.50, <b>12.3</b> , 12.4, 12.11, <b>12.12</b> , <b>12.22</b> , 12.27	4.1, <b>4.10</b> , <b>4.16</b> , 4.20, 4.22, <b>4.24</b> , 4.25, 4.27, <b>4.28</b> , 4.34
	Усього	64		

**Жирним шрифтом** відмічені домашні завдання.

[1] Волькенштейн М.В. Биофизика: учебное пособие для вузов / Михаил Владимирович Волькенштейн . – Москва : Наука, 1981 . – 575 с. (52 примірників в ЦНБ Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна)

[2] Иродов И.Е..Задачи по общей физике : учебное пособие для вузов / Игорь Евгеньевич Иродов . – Москва : Наука, 1979 . – 367 с. (156 примірників в ЦНБ Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна)

### 2.3. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Рекомендації з вимірювання фізичних величин та загальні правила роботи у фізичних лабораторіях. Визначення похибок вимірювань. Обробка результатів вимірювань та їхнього запису. Графічне представлення експериментальних результатів	4
2.	Вивчення рівноприскореного руху та визначення величини прискорення вільного падіння на машині Атвуда	4
3.	Визначення коефіцієнтів тертя за допомогою похилого маятника	4
4.	Вивчення будови терезів та техніки зважування	4
5.	Визначення роботи деформації, коефіцієнта відновлення, часу та сили взаємодії тіл при ударі	4
6.	Визначення швидкості польоту тіла за допомогою балістичного маятника	4
7.	Визначення моментів інерції методом трифілярного підвісу	
8.	Вивчення основного закону динаміки обертального руху на хрестовому маятнику Обербека	4
9.	Визначення моментів інерції твердого тіла за допомогою обертового маятника	4

10.	Дослідження закону збереження енергії та визначення моменту інерції механічного тіла відносно фіксованої осі обертання за допомогою маятника Максвелла	4
11.	Визначення прискорення сили тяжіння за допомогою фізичного та математичного маятників	4
12.	Вивчення особливостей руху гіроскопу	4
13.	Вивчення згасаючих коливань маятника на пружині	4
14.	Вивчення вимушених механічних коливань	4
15.	Вивчення параметричних механічних коливань	4
16.	Визначення густини твердого тіла гідростатичним зважуванням	4
	Разом	64

## 2.4. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вступ. Кінематика матеріальної точки та абсолютно твердого тіла (Вивчити: Простір і час. Система відліку. Матеріальна точка. Визначення переміщення і шляху тіла за його швидкістю. Визначення швидкості тіла за його прискоренням. Тангенціальне й нормальне прискорення. Радіус кривизни. Зв'язок між кутовими й лінійними величинами.)	18
2	Динаміка матеріальної точки та поступального руху твердого тіла (Розібрати: Інерціальні системи відліку. Інертність. Маса. Сила. Приклади, що ілюструють третій закон Ньютона. Вивчити: Основні й похідні одиниці вимірювань. Розмірність. Сила тертя спокою, коефіцієнт тертя спокою. Сила тертя ковзання, коефіцієнт тертя ковзання. Сила пружності. Закон Гука. Розтягування і стискування стержнів, модуль Юнга.	14
3	Закон збереження імпульсу (Проаналізувати: Закон збереження імпульсу для системи матеріальних точок. Центр мас системи матеріальних точок. Швидкість і прискорення центра мас.)	8
4	Закон збереження енергії (Дослідити: Робота змінної сили. Теорема про кінетичну енергію для системи матеріальних точок. Консервативні сили. Повна механічна енергія системи матеріальних точок. Закон збереження повної механічної енергії для системи матеріальних точок. Робота неконсервативних сил. Зіткнення тіл. Швидкості тіл після центрального абсолютно пружного та абсолютно непружного ударів.)	18
5	Закон збереження моменту імпульсу (Вивчити: Момент сили і момент імпульсу. Рівняння моментів для матеріальної точки. Рівняння моментів для системи матеріальних точок. Закон збереження моменту імпульсу.)	10
6	Елементи механіки твердого тіла (Проаналізувати: Модельні уявлення про абсолютно тверде тіло як систему жорстко зв'язаних матеріальних точок. Швидкість довільної точки твердого тіла під час його плоского руху. Кутова швидкість обертання твердого тіла. Миттєва вісь обертання. Рух центра мас твердого тіла. Прискорення центра мас твердого тіла. Обертання твердого тіла навколо нерухомої осі. Рівняння динаміки обертального руху відносно нерухомої осі. Теорема Гюйгенса-	36



	Штейнера. Кінетична енергія твердого тіла за умови плоского руху. Вільні осі обертання. Гіроскопи та особливості їх руху. Приклади використання гіроскопів. Деформації твердого тіла.	
7	Елементи механіки рідин і газів (Розібрати: Методи Лагранжа та Ейлера для опису течії рідини. Теорема про нерозривність потоку. Сила внутрішнього тертя. Формула Ньютона для сили внутрішнього тертя. В'язкість. Ламінарна і турбулентна течія рідини. Число Рейнольдса. Рух тіл у рідинах та газах. Сила лобового опору. Піднімальна сила. Парадокс Д'Аламбера. Вплив в'язкості на характер обтікання тіла рідиною. Сила Стокса.)	16
8	Всесвітнє тяжіння. Елементи теорії поля (Проаналізувати: Закони Кеплера і закон всесвітнього тяжіння. Поняття про гравітаційну масу. Еквівалентність гравітаційної та інертної мас. Гравітаційна стала та способи її визначення. Залежність прискорення сили тяжіння Землі від широти місцевості. Пояснення причин припливів та відпливів. Неінерціальні системи відліку. Сили інерції та їх прояв. Принцип еквівалентності. Вплив добового обертання Землі на рух тіл біля її поверхні та на їх вагу. Елементи спеціальної теорії відносності. Уявлення про загальну теорію відносності.	20
	Разом	140

## 2.5. Завдання для контрольної роботи - зразок виконання завдань КР

### КОНТРОЛЬНА РОБОТА 1

#### Приклади завдань

**Задача 1.** Кут повороту обертового тіла  $\varphi = -3t^2 - 2t + 5$ . Як обертається тіло?

а) з  $\omega = \text{const}$ ; б) з  $d\omega/dt = 0$  в) з  $d\omega/dt > 0$  д) з  $d\omega/dt < 0$ .

Правильна відповідь д) з  $d\omega/dt < 0$ .

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = -6t - 2.$$

**Задача 2.** Рівняння руху матеріальної точки вздовж осі  $x$  має вигляд  $x = A + Bt + Ct^3$ , де  $A = 2 \text{ м}$ ;  $B = 1 \text{ м/с}$ ;  $C = -0,5 \text{ м/с}^3$ . Знайти координату швидкість і прискорення точки в момент часу  $2 \text{ с}$ .

Дано:

$$x = A + Bt + Ct^3$$

$$A = 2 \text{ м}$$

$$B = 1 \text{ м/с}$$

$$C = -0,5 \text{ м/с}^3$$

$$t = 2 \text{ с}$$

$$x = ? \quad v = ? \quad a = ?$$

Розв'язання. Координату точки знайдемо, підставивши в рівняння руху числові значення коефіцієнтів  $A, B, C$  і часу  $t$ :

$$x = (2 + 1 \cdot 2 - 0,5 \cdot 2^3) \text{ м} = 0.$$

Оскільки потрібно знайти швидкість і прискорення в певний момент часу ( $t = 2 \text{ с}$ ), то це означає, що потрібно визначити миттєві величини  $v_x$  і  $a_x$ .

Миттєва швидкість є першою похідною від координати за часом

$$v_x = \frac{dx}{dt} = B + 3Ct^2.$$

Прискорення точки знайдемо, взявши першу похідну від швидкості за часом,

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = 6Ct.$$

Виконавши необхідні обчислення для моменту часу  $t = 2 \text{ с}$ , одержимо

$$v_x = (1 - 3 \cdot 0,5 \cdot 2^2) \text{ м/с} = -5 \text{ м/с},$$
$$a_x = 6(-0,5) \cdot 2 \text{ м/с}^2 = -6 \text{ м/с}^2.$$

**Задача 3.** Диск радіусом  $0,1 \text{ м}$ , що перебував у стані спокою, почав обертатися з постійним кутовим прискоренням  $0,5 \text{ рад/с}^2$ . Знайти тангенціальне, нормальне й повне прискорення точок на ободі диска через дві секунди після початку обертання.

Дано:

$$R = 0,1 \text{ м}$$

$$\omega_{(0)} = 0$$

$$\beta = 0,5 \text{ рад/с}^2$$

$$t = 2 \text{ с}$$

---

$$a_\tau - ? \quad a_n - ? \quad a - ?$$

Розв'язання. Тангенціальні й нормальні прискорення точок тіла, яке здійснює обертальний рух, виражаються формулами

$$a_\tau = \beta R, \quad (1)$$

$$a_n = \omega^2 R, \quad (2)$$

де  $\beta$  – кутова прискорення тіла;

$a_\tau, a_n$  – відповідні прискорення точок на ободі диска;

$R$  – радіус диска.

В умові задачі задане кутове прискорення, яке визначається формулою

$$\beta = \frac{d\omega}{dt} . \quad (3)$$

Отже, кутова швидкість точок через час  $t$  дорівнює

$$\omega = \omega_{(0)} + \beta t, \quad (4)$$

причому за умовою задачі початкова кутова швидкість  $\omega_{(0)} = 0$ .

Виходячи із співвідношень (2) і (4), одержуємо формулу для нормального прискорення

$$a_n = \omega^2 R = \beta^2 t^2 R.$$

У момент часу  $t = 2$  с нормальне прискорення дорівнює

$$a_n = \beta^2 t^2 R = 0,5^2 \cdot 2^2 \cdot 0,1^2 = 0,1 \text{ м/с}^2,$$

тангенціальне прискорення

$$a_\tau = \beta R = 0,5 \cdot 0,1 = 0,05 \text{ м/с}^2,$$

повне прискорення

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2} = \sqrt{10^{-2} + 0,25 \cdot 10^{-2}} = 1,1 \cdot 10^{-1} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

**Задача 4.** Тіло обертається навколо нерухомої осі за законом  $\varphi = A + Bt + Ct^2$ , де  $A = 10$  рад,  $B = 20$  рад/с,  $C = -2$  рад/с<sup>2</sup> (рис.4). Знайти повне прискорення точки, що знаходиться на відстані  $r = 0,1$  м від осі обертання, для моменту часу  $t = 4$  с.

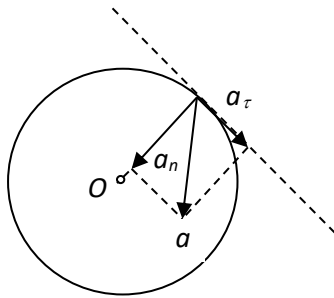


Рисунок 4 – Тангенціальне та нормальне прискорення тіла при русі по колу

**Розв’язання.** Повне прискорення  $a$  точки, що рухається вздовж кривої лінії, може бути знайдене як геометрична сума тангенціального прискорення  $a_\tau$ , направлено по дотичній до траєкторії, і нормального прискорення  $a_n$ , направлено до центру кривини траєкторії (рис.4):

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n.$$

Оскільки вектори  $a_\tau$  і  $a_n$  взаємно перпендикулярні, то модуль прискорення дорівнює

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}. \quad (9)$$

Модулі тангенціального і нормального прискорення точки тіла, що обертається, визначаються формулами

$$a_\tau = \varepsilon r, \quad a_n = \omega^2 r, \quad (10)$$

де  $\omega$  - модуль кутової швидкості тіла;  $\varepsilon$  - модуль його кутового прискорення;  $r$  - відстань від точки до осі обертання. Підставляючи співвідношення (10) у формулу (9), одержимо

$$a = \sqrt{\varepsilon^2 r^2 + \omega^4 r^2} = r \sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}. \quad (11)$$

Кутову швидкість  $\omega$  знайдемо, взявши першу похідну від кута повороту тіла за часом

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = B + 2Ct.$$

У момент часу  $t = 4$  с модуль кутової швидкості дорівнює

$$\omega = [20 + 2(-2)4] = 4 \text{ рад/с}.$$

Кутове прискорення знайдемо, узявши першу похідну від кутової швидкості за часом

$$\varepsilon = d\omega/dt = 2C = -4 \text{ рад/с}^2.$$

Підставляючи значення  $\omega$ ,  $\varepsilon$  і  $r$  у вираз (11), одержимо відповідь

$$a = 0,1\sqrt{(-4)^2 + 4^4} = 1,65 \text{ м/с}^2.$$

**Відповідь:**  $a = 1,65 \text{ м/с}^2$ .

**Задача 5.** На похилій площині, що утворює з горизонтом кут  $\alpha = 30^\circ$ , знаходиться тіло масою  $m_1 = 2$  кг (рис. 5). Тіло рухається вгору по похилій площині під дією зв'язаного з ним невагомою і нерозтяжною ниткою, перекинutoю через блок, вантажу масою  $m_2 = 20$  кг. Початкові швидкості тіла і

вантажу дорівнюють нулю, коефіцієнт тертя тіла  $\mu = 0,1$ . Визначити прискорення, з яким рухаються тіла, і силу натягу нитки. Блок вважати невагомим, тертям знехтувати.

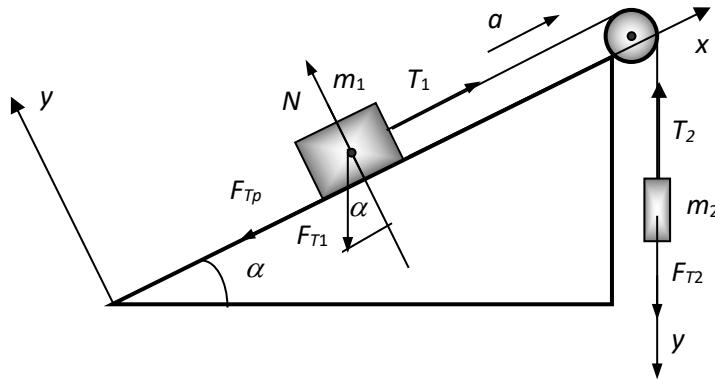


Рисунок 5 - Тіло на похилій площині

**Розв'язання.** На тіло  $m_1$ , яке рухається по похилій площині, діє сила тяжіння  $\vec{F}_{T1} = m_1 \vec{g}$ , сила натягу нитки  $T_1$ , сила тертя  $\vec{F}_{Tp}$  і сила реакції опори  $\vec{N}$ . На вантаж  $m_2$  діє сила тяжіння  $\vec{F}_{T2} = m_2 \vec{g}$  і сила натягу нитки  $T_2$ . Тут  $g$  – прискорення вільного падіння. Другий закон Ньютона (рівняння руху) для цих тіл буде мати вигляд

$$\vec{T}_1 + \vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{Tp} = m_1 \vec{a}_1, \quad (12)$$

$$\vec{T}_2 + m_2 \vec{g} = m_2 \vec{a}_2, \quad (13)$$

де  $a_1, a_2$  - прискорення руху тіл.

Із умови невагомості і нерозтяжності нитки та відсутності тертя випливає, що  $a_1 = a_2 = a$ ,  $T_1 = T_2 = T$ .

Виберемо для тіла  $m_1$  систему відліку  $xOy$  так, як показано на рисунку 5. Тоді рівняння руху цього тіла в проекціях на осі  $x$  і  $y$  запишеться так

$$T - mg \sin \alpha - F_{Tp} = m_1 a, \quad (14)$$

$$N - mg \cos \alpha = 0. \quad (15)$$

Із співвідношення (15) знайдемо  $N$  та підставимо у рівняння (14), врахувавши, що  $F_{Tp} = \mu N$ , тоді отримаємо

$$T - mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha = m_1 a, \quad (16)$$

де  $\mu$  - коефіцієнт тертя.

Рівняння руху вантажу  $m_2$  у проекції на вертикальну вісь  $y'$  має вигляд

$$m_2 g - T = m_2 a. \quad (17)$$

Розв'язавши систему рівнянь (16) та (17) відносно  $a$ , після простих перетворень отримаємо

$$a = \frac{(m_2 - m_1(\sin \alpha + \mu \cos \alpha))g}{m_1 + m_2}. \quad (18)$$

Знаючи  $a$ , підставивши співвідношення (18) у вираз (17) знайдемо силу натягу нитки

$$T = \frac{m_1 m_2 g (1 + \sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{m_1 + m_2}.$$

Після підстановки числових значень фізичних величин отримаємо

$$a = \frac{(20 - 2 \cdot (\sin 30^\circ + 0,1 \cos 30^\circ)) \cdot 9,8}{20 + 2} = 8,4 \text{ м/с}^2,$$

$$T = \frac{2 \cdot 20 \cdot 9,8 \cdot (1 + \sin 30^\circ + 0,1 \cos 30^\circ)}{20 + 2} = 28,2 \text{ Н}.$$

Перевіримо розмірності отриманих величин

$$\frac{[m] \cdot [a]}{[m]} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м/с}^2}{\text{кг}} = \text{м/с}^2,$$

$$\frac{[m] \cdot [m] \cdot [a]}{[m]} = \frac{\text{кг} \cdot \text{кг} \cdot \text{м/с}^2}{\text{кг}} = \text{кг} \cdot \text{м/с}^2 = \text{Н}.$$

**Відповідь:**  $a = 8,4 \text{ м/с}^2$ ,  $T = 28,2 \text{ Н}$ .

## Критерії оцінювання кожного завдання КР

**Вагові коефіцієнти** для різних завдань контрольної роботи розподіляються наступним чином.

Контрольна робота (завдання за темами розділів – до 10 балів):

### Варіант Х

тестове завдання – 0,25;

питання для розгорнутої відповіді або задача початкового рівня – 0,375;

задача середнього рівня – 0,75;

задача підвищеного рівня – 1,00.

Разом: ваговий коефіцієнт роботи складає **2,5**.

У випадку бездоганного виконання усіх завдань з оцінюванням у 4 бали студент отримує:

**$2,5 \cdot 4 = 10$  балів**

## **2.6. Завдання для розрахунково-графічної роботи**

### **Частина 1. «Кінематика»**

Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
1.1	1.2	1.3
1.7	1.6	1.4
1.13	1.8	1.12
1.26	1.27	1.29
1.30	1.37	1.36
1.43	1.41	1.42
1.48	1.46	1.50
1.53	1.52	1.54

### **Частина 2. «Динаміка МТ»**

Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
2.2	2.3	2.4
2.11	2.6	2.10
2.25	2.26	2.28
2.33	2.31	2.32
2.16	2.17	2.15
2.99	2.98	2.97
2.102	2.103	2.104
2.134	2.134	2.132

### **Частина 3. «Закони збереження»**

Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
2.48	2.50	2.49
2.69	2.68	2.70
2.77	2.78	2.79
2.80	2.81	2.82
2.90	2.89	2.88
2.93	2.92	2.91
2.121	2.122	2.123
2.45	2.46	2.47

### **Частина 4 «Динаміка АТТ», «Всесвітнє тяжіння», «Механіка рідин, газів»**

Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
2.136	2.137	2.135
3.6	3.5	3.4
3.18	3.17	3.16
3.33	3.34	3.35
2.155	2.156	2.157
3.48	3.47	3.45
4.3	4.4	4.5
4.16	4.15	4.14

Збірник завдань:

Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. – М.: Наука, 1985.

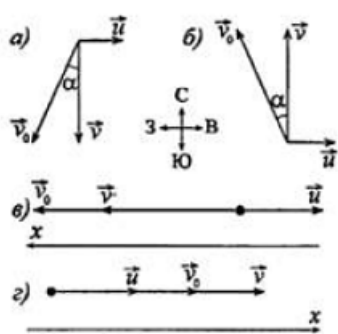
## Зразок виконання завдань РГР

### Частина 1. «Кінематика»

(Розв'язання завдань: 1.5, 1.9, 1.14, 1.25, 1.35, 1.44, 1.49, 1.51)

- 1.5 Самолет летит относительно воздуха со скоростью  $v_0 = 800$  км/ч. Ветер дует с запада на восток со скоростью  $u = 15$  м/с. С какой скоростью  $v$  самолет будет двигаться относительно земли и под каким углом  $\alpha$  к меридиану надо держать курс, чтобы перемещение было: а) на юг; б) на север; в) на запад; г) на восток?

#### Решение



а)  $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{u}$ , или в скалярном виде:  $v_0 = \sqrt{v^2 - u^2}$ . Подставляя числовые данные и учитывая, что  $u = 15$  м/с = 54 км/ч, получаем  $v_0 = 798$  км/ч. Из рисунка видно, что  $v = v_0 \cos \alpha$ ;  $\cos \alpha = v / v_0$ ;  $\cos \alpha = 0,998$ ;  $\alpha \approx 4^\circ$ . Курс на юго-запад.

б)  $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{u}$ , или в скалярном виде:  $v_0 = \sqrt{v^2 - u^2}$  или  $v_0 = 798$  км/ч. Поскольку  $v = v_0 \cos \alpha$ , то  $\cos \alpha = v / v_0$ ;  $\cos \alpha = 0,998$ ;  $\alpha \approx 4^\circ$ . Курс на северо-запад.

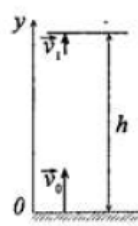
в)  $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{u}$ , или в проекции на ось  $x$ :  $v = v_0 - u$ ;  $v = 800 - 54 = 746$  км/ч. Курс на запад.

г)  $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{u}$ , или в проекции на ось  $x$ :  $v = v_0 + u$ ;  $v = 800 + 54 = 854$  км/ч. Курс на восток.



- 1.9 Камень бросили вертикально вверх на высоту  $h_0 = 10$  м. Через какое время  $t$  он упадет на землю? На какую высоту  $h$  поднимется камень, если начальную скорость камня увеличить вдвое?

**Решение**



Воспользуемся решением задачи 1.8 и запишем систему уравнений:

$$\begin{cases} h_0 = v_0 t_1 - \frac{g t_1^2}{2} & \text{--- (1),} \\ 0 = v_0 - g t_1 & \text{--- (2),} \\ t = 2 t_1 & \text{--- (3),} \end{cases} \quad \text{откуда} \quad \begin{cases} v_0 = \frac{g t}{2} & \text{--- (4),} \\ h_0 = \frac{g t^2}{8} & \text{--- (5).} \end{cases}$$

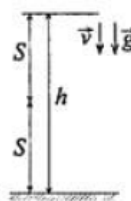
Тогда из (5)  $t = \sqrt{\frac{8 h_0}{g}}$ , отсюда  $t = 2.9$  с. Из (2)  $t_1 = \frac{v_0}{g}$ . Сле-

довательно, если  $v_0$  увеличится в 2 раза, время подъема также увеличится в 2 раза. Из (1)  $h = 2 v_0 \cdot 2 t_1 - \frac{g 4 t_1^2}{2}$ ;

$$h = 4 \left( v_0 t_1 - \frac{g t_1^2}{2} \right) = 4 h_0 = 40 \text{ м.}$$

- 1.14 Свободно падающее тело в последнюю секунду движения проходит половину всего пути. С какой высоты  $h$  падает тело и каково время  $t$  его падения?

**Решение**



Обозначим половину пути за  $S$ , тогда  $h = 2S$  — (1). Уравнение движения тела:  $h = g t^2 / 2$  — (2). Вторая половина пути  $S = v t_2 + \frac{g t_2^2}{2}$ , где  $v = g(t - t_2)$ ;  $t_2 = 1$  с. Тогда  $S = g t_2(t - t_2) + g t_2^2 / 2$  или, с учетом (1),  $h = 2 g t_2(t - t_2) + g t_2^2$  — (3). Приравняем (2) и (3):

$\frac{g t^2}{2} = 2 g t_2(t - t_2) + g t_2^2$ . Умножив обе части уравнения на 2, разделив на  $g$  и раскрыв скобки, получим:  $t^2 = 4 t_2 t - 4 t_2^2 + 2 t_2^2$ . Для удобства вычислений подставим значение  $t_2$ :  $t^2 - 4 t + 2 = 0$ . Решим квадратное уравнение.

$$D = 8; \quad t = \frac{4 \pm \sqrt{8}}{2}; \quad \text{значение } t = 0.6 \text{ — не соответствует}$$

условию задачи, тогда  $t = 3.4$  с;  $h = 5 \cdot 3.4^2 = 57$  м.

- 1.25 Зависимость пройденного телом пути  $s$  от времени  $t$  дается уравнением  $s = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$ , где  $C = 0,14 \text{ м/с}^2$  и  $D = 0,01 \text{ м/с}^3$ . Через какое время  $t$  тело будет иметь ускорение  $a = 1 \text{ м/с}^2$ ? Найти среднее ускорение  $\langle a \rangle$  тела за этот промежуток времени.

**Решение**

Мгновенная скорость  $v = \frac{ds}{dt}$ . Ускорение  $a = \frac{d^2s}{dt^2}$ . Имеем

$$\frac{ds}{dt} = v = B + 2Ct + 3Dt^2; \quad \frac{d^2s}{dt^2} = 2C + 6Dt. \quad \text{Таким образом}$$

$$a = 2C + 6Dt, \quad \text{откуда} \quad t = \frac{a - 2C}{6D}; \quad t = 12 \text{ с.}$$

Среднее ускорение  $\bar{a} = \Delta v / \Delta t$ . Поскольку  $v = B + 2Ct + 3Dt^2$ , то можно найти  $\Delta v = v_1 - v_0$ ;  $\Delta t = t_1 - t_0$ , где  $t_1 = 12 \text{ с}$ ,  $t_0 = 0$ .

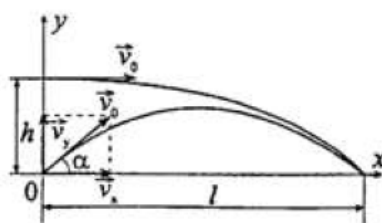
$$v_0 = B + 2Ct_0 + 3Dt_0^2; \quad v_1 = B + 2Ct_1 + 3Dt_1^2, \quad \text{отсюда} \quad \Delta v = 2C \times$$

$$\times (t_1 - t_0) + 3D(t_1^2 - t_0^2); \quad \bar{a} = \frac{2C(t_1 - t_0) + 3D(t_1^2 - t_0^2)}{t_1 - t_0}; \quad \bar{a} = 2C +$$

$$+ 3D(t_1 + t_0); \quad \bar{a} = 0,64 \text{ м/с}^2.$$

- 1.35 Камень, брошенный со скоростью  $v_0 = 12 \text{ м/с}$  под углом  $\alpha = 45^\circ$  к горизонту, упал на землю на расстоянии  $l$  от места бросания. С какой высоты  $h$  надо бросить камень в горизонтальном направлении, чтобы при той же начальной скорости  $v_0$  он упал на то же место?

**Решение**



Если камень брошен под углом к горизонту,  $l = v_0 \cos \alpha t_1$  — (1), где

$$t_1 = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} \quad (\text{см. задачу 1.32.}). \quad \text{Во втором случае}$$

$l = v_0 t_2$ . Подставив выражение для  $t_1$  в (1), получим

$$l = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}, \quad \text{откуда} \quad t_2 = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{gv_0} = \frac{v_0 \sin 2\alpha}{g}.$$

Высота, с которой нужно бросить камень,  $h = \frac{gt_2^2}{2} = \frac{gv_0^2 \sin^2 2\alpha}{2g^2} =$

$$= \frac{v_0^2 \sin^2 2\alpha}{2g}; \quad h = \frac{144 \cdot 1}{2 \cdot 9,8} = 7,3 \text{ м.}$$

- 1.44 Ось с двумя дисками, расположенными на расстоянии  $l = 0,5$  м друг от друга, вращается с частотой  $n = 1600$  об/мин. Пуля, летящая вдоль оси, пробивает оба диска; при этом отверстие от пули во втором диске смещено относительно отверстия в первом диске на угол  $\varphi = 12^\circ$ . Найти скорость  $v$  пули.

**Решение**

Уравнение вращательного движения

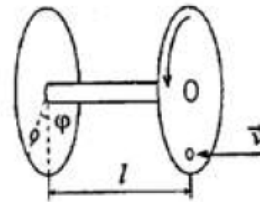
$$\vec{\varphi} = \vec{\varphi}_0 + \vec{\omega} \cdot t + \frac{\vec{\beta} t^2}{2}. \text{ Выберем } \varphi_0 = 0.$$

Из условия следует, что движение осуществляется с постоянной угловой скоростью  $\omega = 2\pi n$ , следовательно, угловое ускорение равно 0, т.е. смещение  $\varphi = \omega \cdot t$ , откуда  $t = \frac{\varphi}{\omega}$  — (1);

$$\omega = n \cdot 2\pi \text{ — (2). Скорость пули } v = \frac{l}{t} \text{ — (3). Подставив (2)}$$

$$\text{в (1), а затем (1) в (3) получим: } v = \frac{l \cdot 2\pi n}{\varphi}.$$

Произведя вычисления, найдем скорость пули  $v = 419$  м/с.



- 1.49 Вентилятор вращается с частотой  $n = 900$  об/мин. После выключения вентилятора, вращаясь равнозамедленно, сделал до остановки  $N = 75$  об. Какое время  $t$  прошло с момента выключения вентилятора до полной его остановки?

**Решение**

$n = 900$  об/мин  $= 15$  об/с. Запишем уравнения движения в скалярном виде:  $\varphi = \omega_0 t - \frac{\varepsilon t^2}{2}$  — (1);  $\omega = \omega_0 - \varepsilon t$  — (2), где

$$\varphi = 2\pi N \text{ — (3); } \omega = 0; \omega_0 = 2\pi n \text{ — (4). Тогда из (2)}$$

$$t = \frac{\omega_0}{\varepsilon} = \frac{2\pi n}{\varepsilon} \text{ — (5). Перепишем уравнение (1) с учетом (3),}$$

$$(4) \quad \text{и} \quad (5): \quad 2\pi N = \frac{(2\pi n)^2}{\varepsilon} - \frac{\varepsilon (2\pi n)^2}{2\varepsilon^2} = \frac{(2\pi n)^2}{2\varepsilon};$$

$$N = \frac{2\pi n^2}{2\varepsilon} = \frac{\pi n^2}{\varepsilon}; \text{ отсюда } \varepsilon = \frac{\pi n^2}{N}.$$

$$\text{Подставив это уравнение в (5), получим: } t = \frac{2\pi n \cdot N}{\pi n^2} = \frac{2N}{n}; \quad t = \frac{2 \cdot 75}{15} = 10 \text{ с.}$$

- 1.51 Точка движется по окружности радиусом  $R = 20$  см с постоянным тангенциальным ускорением  $a_t = 5$  см/с<sup>2</sup>. Через какое время  $t$  после начала движения нормальное ускорение  $a_n$  точки будет: а) равно тангенциальному; б) вдвое больше тангенциального?

**Решение**

По условию вращение является равноускоренным, следовательно,  $a_t = \frac{v}{t}$ ,  $a_n = \frac{v^2}{R}$ ; отсюда  $t = \frac{v}{a_t}$ ,  $v = \sqrt{a_n R}$ . Тогда  $t = \frac{\sqrt{a_n R}}{a_t}$ . а) Если  $a_n = a_t$ , то  $t = \sqrt{\frac{R}{a_t}} = \sqrt{\frac{20}{5}} = 2$  с; б) если  $a_n = 2a_t$ , то  $t = \sqrt{\frac{2R}{a_t}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 20}{5}} = 2,8$  с.

## Частина 2. «Динаміка МТ»

(Розв'язання завдань: 2.5, 2.9, 2.27, 2.34, 2.14, 2.96, 2.105, 2.133)

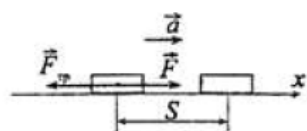
- 2.5 К нити подвешена гиря. Если поднимать гирю с ускорением  $a_1 = 2$  м/с<sup>2</sup>, то сила натяжения нити  $T_1$  будет вдвое меньше той силы натяжения  $T_2$ , при которой нить разорвется. С каким ускорением  $a_1$  надо поднимать гирю, чтобы нить разорвалась?

**Решение**

Запишем второй закон Ньютона в скалярном виде для двух случаев:  $T_1 - mg = ma_1$  — (1);  $T_2 - mg = ma_2$  — (2) (см. рис. к задаче 2.3). Поскольку  $T_2 = 2T_1$ , то уравнение (2) можно переписать  $2T_1 - mg = ma_2$ , откуда  $T_1 = \frac{ma_2 - mg}{2}$  =  $m(a_2 - a_1)$ . Подставив выражение для  $T_1$  в (1), получим  $m(a_2 - a_1) - mg = ma_1$ , откуда  $a_2 = 2a_1 + g$ ;  $a_2 = 13,8$  м/с<sup>2</sup>.

- 2.9 Какую силу  $F$  надо приложить к вагону, стоящему на рельсах, чтобы вагон стал двигаться равноускоренно и за время  $t = 30$  с прошел путь  $s = 11$  м? Масса вагона  $m = 16$  т. Во время движения на вагон действует сила трения  $F_{тр}$ , равная 0,05 действующей на него силы тяжести  $mg$ .

**Решение**



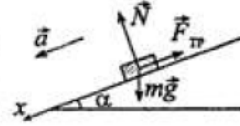
По второму закону Ньютона  $\vec{F} + \vec{F}_{тр} = m\vec{a}$  или в проекции на ось  $x$ :  $F - F_{тр} = ma$ , откуда  $F = ma + F_{тр}$ . Поскольку движение равноускоренное и  $v_0 = 0$ , то путь  $S = at^2 / 2$ , откуда  $a = \frac{2S}{t^2}$ . По условию  $F_{тр} = 0,05mg$ , тогда  $F = m \cdot \frac{2S}{t^2} + 0,05mg$ ;  $F = 8,2$  кН.



- 2.27 Тело лежит на наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол  $\alpha = 4^\circ$ . При каком предельном коэффициенте трения к тело начнет скользить по наклонной плоскости? С каким ускорением  $a$  будет скользить тело по плоскости, если коэффициент трения  $k = 0,03$ ? Какое время  $t$  потребуется для прохождения при этих условиях пути  $s = 100$  м? Какую скорость  $v$  будет иметь тело в конце пути?

#### Решение

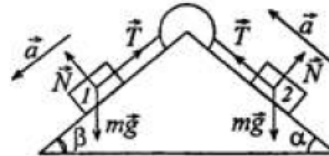
Для покоящегося тела по второму закону Ньютона в проекции на ось  $x$  имеем  $mg \sin \alpha - F_{\text{тр}} = 0$ , где  $F_{\text{тр}} \geq kmg$ . Отсюда  $mg \sin \alpha = kmg$ ;  $k = \sin \alpha$ ;  $k \leq 0,07$ . При равноускоренном движении по второму закону Ньютона:  $mg \sin \alpha - F_{\text{тр}} = ma$  или  $\sin \alpha - kmg = ma$ , откуда  $a = g(\sin \alpha - k)$ ;  $a = 0,39 \text{ м/с}^2$ . Пройденный путь  $s = \frac{at^2}{2}$ , откуда  $t = \sqrt{\frac{2s}{a}}$ ;  $t = 22,6 \text{ с}$ . Скорость  $v = at$ ;  $v = 8,8 \text{ м/с}$ .



- 2.34 Невесомый блок укреплен в вершине двух наклонных плоскостей, составляющих с горизонтом углы  $\alpha = 30^\circ$  и  $\beta = 45^\circ$ . Гири 1 и 2 одинаковой массы  $m_1 = m_2 = 1$  кг соединены нитью и перекинута через блок. Найти ускорение  $a$ , с которым движутся гири, и силу натяжения нити  $T$ . Трением гири 1 и 2 о наклонные плоскости, а также трением в блоке пренебречь.

#### Решение

Пусть  $m_1 = m_2 = m$ . Тогда по второму закону Ньютона в проекциях на направления движения гири имеем:



$$\begin{cases} mg \sin \beta - T = ma & (1); \\ T - mg \sin \alpha = ma & (2). \end{cases} \text{ Сложив (1) и (2), получим:}$$

$$mg(\sin \beta - \sin \alpha) = 2ma, \text{ откуда } a = \frac{g(\sin \beta - \sin \alpha)}{2}. \text{ Из (2):}$$

$$T = ma + mg \sin \alpha; \quad T = \frac{mg(\sin \beta - \sin \alpha)}{2} + mg \sin \alpha;$$

$$T = mg \frac{(\sin \beta + \sin \alpha)}{2}. \text{ Подставив числовые значения, получим: } a = 1,03 \text{ м/с}^2 \text{ и } T = 5,9 \text{ Н}.$$

- 2.14 Тело массой  $m = 0,5$  кг движется так, что зависимость пройденного телом пути  $s$  от времени  $t$  дается уравнением  $s = A \sin \omega t$ , где  $A = 5$  см и  $\omega = \pi$  рад/с. Найти силу  $F$ , действующую на тело через время  $t = (1/6)$  с после начала движения.

#### Решение

По второму закону Ньютона  $F = ma$ , где  $a = \frac{d^2 s}{dt^2}$ . Первая

производная  $\frac{ds}{dt} = A \omega \cos \omega t$ ; вторая производная  $\frac{d^2 s}{dt^2} =$

$$= -A \omega^2 \sin \omega t = a, \text{ откуда } F = -mA \omega^2 \sin \omega t; F = -0,125 \text{ Н}.$$

- 2.96 Трамвайный вагон массой  $m = 5$  т идет по закруглению радиусом  $R = 128$  м. Найти силу бокового давления  $F$  колес на рельсы при скорости движения  $v = 9$  км/ч.

**Решение**

При равномерном движении по окружности  $a_r = 0$  и  $a = a_n$ . Тогда второй закон Ньютона запишется в виде:

$$F = ma_n = m \frac{v^2}{R}, \text{ отсюда } F = 245 \text{ Н.}$$

- 2.105 К потолку трамвайного вагона подвешен на нити шар. Вагон идет со скоростью  $v = 9$  км/ч по закруглению радиусом  $R = 36,4$  м. На какой угол  $\alpha$  отклонится при этом нить с шаром?

**Решение**

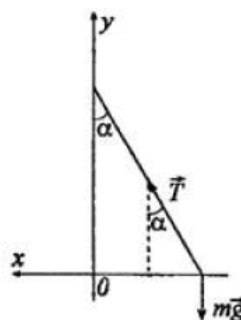
Запишем основной закон механики в проекциях на оси  $x$  и

$$y: T \sin \alpha = m \frac{v^2}{R} \text{ — (1), } T \cos \alpha - mg = 0 \text{ — (2). Из (2)}$$

$$T = \frac{mg}{\cos \alpha}, \text{ тогда } mg \tan \alpha = m \frac{v^2}{R},$$

$$\text{откуда } \tan \alpha = \frac{v^2}{gR}; \quad \tan \alpha = 0,018;$$

$$\alpha \approx 1^\circ.$$



- 2.133 Два медных шарика с диаметрами  $D_1 = 4$  см и  $D_2 = 6$  см находятся в соприкосновении друг с другом. Найти гравитационную потенциальную энергию  $W_n$  этой системы.

**Решение**

Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия:

$$W_n = -G \frac{m_1 m_2}{r} \text{ — (1), где } r \text{ — расстояние между центрами}$$

масс шаров. Знак «-» говорит о том, что при сближении тел потенциальная энергия убывает, а при  $R = \infty$

потенциальная энергия равна нулю.  $r = \frac{D_1}{2} + \frac{D_2}{2} = \frac{D_1 + D_2}{2};$

$m_1 = v_1 \rho; \quad m_2 = v_2 \rho.$  Объем шара  $V = \frac{4}{3} \pi R^3$ , тогда

$$m_1 = \frac{4}{3} \pi \left( \frac{D_1}{2} \right)^3 \rho; \quad m_2 = \frac{4}{3} \pi \left( \frac{D_2}{2} \right)^3 \rho. \text{ Подставив полученные}$$

выражения в уравнение (1), получим:

$$W_n = -G \frac{2 \cdot 16 \pi^2 (D_1/2)^3 (D_2/2)^3 \cdot \rho^2}{9(D_1 + D_2)}.$$

Учитывая, что плотность меди  $\rho = 8,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, найдем:  $W_n = -3,8 \cdot 10^{-10}$  Дж.

### Частина 3. «Законы збереження»

(Розв'язання завдань: 2.51, 2.71, 2.83, 2.76, 2.87, 2.94, 2.124, 2.44)

- 2.51 С башни высотой  $h = 25$  м горизонтально брошен камень со скоростью  $v_0 = 15$  м/с. Найти кинетическую  $W_k$  и потенциальную  $W_n$  энергии камня через время  $t = 1$  с после начала движения. Масса камня  $m = 0,2$  кг.

**Решение**

В момент времени  $t$  кинетическая

энергия камня  $W_k = \frac{mv^2}{2}$ , а

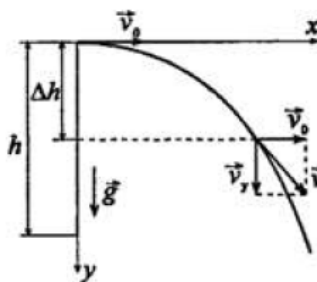
его потенциальная энергия  $W_n = mg(h - \Delta h)$ . Поскольку

$v_y = gt$ , то  $v^2 = v_0^2 + (gt)^2$ .

Тогда  $W_k = \frac{m(v_0^2 + (gt)^2)}{2}$ ;

$W_k = 32,2$  Дж. Вертикальная составляющая перемещения

камня  $\Delta h = \frac{gt^2}{2}$ , отсюда  $W_n = mg\left(h - \frac{gt^2}{2}\right)$ ;  $W_n = 39,4$  Дж.



- 2.71 На рельсах стоит платформа массой  $m_1 = 10$  т. На платформе закреплено орудие массой  $m_2 = 5$  т, из которого производится выстрел вдоль рельсов. Масса снаряда  $m_3 = 100$  кг, его скорость относительно орудия  $v_0 = 500$  м/с. На какое расстояние  $s$  откатится платформа при выстреле, если: а) платформа стояла неподвижно; б) платформа двигалась со скоростью  $v = 18$  км/ч и выстрел был произведен в направлении ее движения; в) платформа двигалась со скоростью  $v = 18$  км/ч и выстрел был произведен в направлении противоположном направлению ее движения? Коэффициент трения платформы о рельсы  $k = 0,002$ .

**Решение**

а) По закону сохранения импульса  $m_3 v_0 = (m_1 + m_2) \cdot u$ ,

откуда  $u = \frac{m_3 v_0}{m_1 + m_2}$  — (1). По второму закону Ньютона

$F_{тр} = (m_1 + m_2) \cdot a$  или  $k(m_1 + m_2) \cdot g = (m_1 + m_2) \cdot a$ , откуда  $a = kg$  — (2). Расстояние, на которое откатится платфор-

ма,  $s = ut - \frac{at^2}{2}$ , где  $u = at$  — скорость платформы в пер-

вый момент после выстрела.  $t = \frac{u}{a}$ , тогда

$$s = \frac{u^2}{a} - \frac{au^2}{2a^2} = \frac{u^2}{2a}.$$

Подставив (1) и (2), получим,

$$s = \frac{m_3^2 v_0^2}{2(m_1 + m_2)^2 kg}; s = 284 \text{ м.}$$

б) По закону сохранения импульса  $m_3 v_0 - (m_1 + m_2) \cdot u = (m_1 + m_2 + m_3) \cdot v$ , откуда  $u = \frac{m_3 v_0 - (m_1 + m_2 + m_3) \cdot v}{m_1 + m_2}$ ;

$u = -1,7$  м/с и будет направлено в обратную сторону относительно  $v_0$  и  $v$ . Расстояние, на которое откатится

платформа:  $s = \frac{u^2}{2a} = \frac{u^2}{2kg}$ ;  $s = 73,7$  м.

в) По закону сохранения импульса  $(m_1 + m_2 + m_3) \cdot v = (m_1 + m_2) \cdot u + m_3 v_0$ , откуда  $u = \frac{(m_1 + m_2 + m_3) \cdot v + m_3 v_0}{m_1 + m_2}$ ;  $u = 8,4$  м/с направление выбрано правильно. Пройденный платформой путь  $s = \frac{u^2}{2kg}$ ;  $s = 1800$  м.

- 2.76 Тело массой  $m_1 = 5$  кг ударяется о неподвижное тело массой  $m_2 = 2,5$  кг, которое после удара начинает двигаться с кинетической энергией  $W'_{k2} = 5$  Дж. Считая удар центральным и упругим, найти кинетическую энергию  $W_{k1}$  и  $W'_{k1}$  первого тела до и после удара.

#### Решение

Система тел  $m_1$  и  $m_2$  замкнута в проекции на горизонтальную ось. В соответствии с условием движение происходит также вдоль горизонтальной оси. Согласно закону сохранения импульса в проекции на ось  $m_1 v_1 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2$  — (1), где  $v'_1$  и  $v'_2$  — скорости первого и второго тела после удара. Часть своей кинетической энергии первое тело в момент удара передает второму телу.  $W_{k1} = W'_{k1} + W'_{k2}$  — (2);  $\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1 (v'_1)^2}{2} + W'_{k2}$  или  $m_1 v_1^2 = m_1 (v'_1)^2 + 2W'_{k2}$  — (3). Кинетическая энергия второго тела после удара  $W'_{k2} = \frac{m_2 (v'_2)^2}{2}$ , откуда  $(v'_2)^2 = \frac{2W'_{k2}}{m_2}$  — (4).

$$\begin{aligned} \text{Подставив (4) в (1), получим } m_1 v_1 &= m_1 v'_1 + m_2 \sqrt{\frac{2W'_{k2}}{m_2}} = \\ &= m_1 v'_1 + \sqrt{2m_2 W'_{k2}}, \text{ отсюда } v_1 = \frac{m_1 v'_1 + \sqrt{2m_2 W'_{k2}}}{m_1} \text{ — (5). Под-} \\ \text{ставив (5) в (3), найдем скорость первого тела после удара.} \\ m_1 \frac{(m_1 v'_1 + \sqrt{2m_2 W'_{k2}})^2}{m_1^2} &= m_1 (v'_1)^2 + 2W'_{k2}; \quad (m_1 v'_1 + \sqrt{2m_2 W'_{k2}})^2 = \\ &= (m_1 v'_1)^2 + 2m_1 W'_{k2}; \quad (m_1 v'_1)^2 + 2m_1 v'_1 \sqrt{2m_2 W'_{k2}} + 2m_2 W'_{k2} = \\ &= (m_1 v'_1)^2 + 2m_1 W'_{k2}, \quad \text{откуда } v'_1 = \frac{2W'_{k2}(m_1 - m_2)}{2m_1 \sqrt{2m_2 W'_{k2}}} = \\ &= \frac{\sqrt{W'_{k2}}(m_1 - m_2)}{m_1 \sqrt{2m_2}}. \quad \text{Поскольку } W'_{k1} = \frac{m_1 (v'_1)^2}{2}, \quad \text{то} \\ W'_{k1} &= \frac{m_1 W'_{k2} (m_1 - m_2)^2}{4m_1^2 m_2} = \frac{W'_{k2} (m_1 - m_2)^2}{4m_1 m_2}; \quad W'_{k1} = 0,62 \text{ Дж.} \end{aligned}$$

Тогда из (2)  $W_{k1} = 5,62$  Дж.



- 2.83 Деревянным молотком, масса которого  $m_1 = 0,5$  кг, ударяют о неподвижную стенку. Скорость молотка в момент удара  $v_1 = 1$  м/с. Считая коэффициент восстановления при ударе молотка о стенку  $k = 0,5$ , найти импульс силы  $F\Delta t$ , полученный стенкой за время удара.

**Решение**

Согласно закону изменения импульса  $F\Delta t = m_1\vec{v}_2 - m_1\vec{v}_1$  в проекции на горизонтальную ось  $F\Delta t = m_1v_1 - (-m_1v_2) = m_1(v_1 + v_2)$ . Учитывая, что  $v_2 = kv_1$ ,  $F\Delta t = m_1(v_1 + kv_1) = m_1v_1(1 + k)$ ;  $F\Delta t = 0,75$  Н·с.

- 2.87 Металлический шарик, падая с высоты  $h_1 = 1$  м на стальную плиту, отскакивает от нее на высоту  $h_2 = 81$  см. Найти коэффициент восстановления  $k$  при ударе шарика о плиту.

**Решение**

Воспользуемся уравнением (3) из задачи 2.84  $h_2 = k^2 h_1$ ,

отсюда  $k = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$ ;  $k = 0,9$ .

- 2.94 На какую часть уменьшится вес тела на экваторе вследствие вращения Земли вокруг оси?

**Решение**

На экваторе на тело действует сила тяготения

$F = G \frac{mM}{R^2}$  — (1) ( $M$  — масса Земли,  $m$  — масса тела,

$R$  — радиус Земли,  $G$  — гравитационная постоянная) и сила реакции опоры  $N$ , при этом тело, участвуя в

суточном вращении Земли, движется по окружности радиусом  $R$ . Составим уравнение на основании второго

закона Ньютона  $F - N = m\omega^2 R$ , где  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  — угловая скорость;  $T$  — период вращения Земли вокруг своей оси:

$T = 86400$  с. Тогда  $F - N = m \cdot \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 R$ , откуда  $N = F -$

$\frac{4\pi^2 mR}{T^2}$  — (2). По третьему закону Ньютона вес тела на

экваторе  $P_s = N$  — (3). Вес покоящегося тела для любой точки Земли численно равен силе тяжести:  $P = mg$  — (4).

Относительное изменение веса тела  $\delta = \frac{P - P_s}{P}$  — (5).

Решая совместно уравнения (1) — (3), получим

$P_s = G \frac{mM}{R^2} - \frac{4\pi^2 mR}{T^2}$  — (6). Подставляя (4) и (6) в (5),

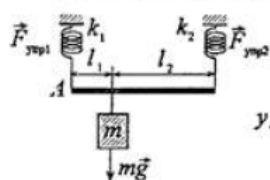
получим  $\delta = 1 - \frac{GM}{gR^2} + \frac{4\pi^2 R}{gT^2}$  — (7). Примем ускорение

свободного падения  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>. Подставляя числовые данные в (7), получим  $\delta = 0,34\%$ .

- 2.124 На двух параллельных пружинах одинаковой длины висит невесомый стержень длиной  $L = 10$  см. Жесткости пружин  $k_1 = 2$  Н/м и  $k_2 = 3$  Н/м. В каком месте стержня надо подвесить груз, чтобы стержень оставался горизонтальным?

#### Решение

Чтобы система находилась в равновесии, т.е. чтобы стержень был в горизонтальном положении, необходимо выполнение двух условий:  $m\vec{g} + \vec{F}_{\text{упр1}} + \vec{F}_{\text{упр2}} = 0$  — (1)



и  $\vec{M}_1 + \vec{M}_2 + \vec{M}_3 = 0$  — (2). В проекции на ось  $y$  уравнение (1) имеет вид:  $mg - k_1x - k_2x = 0$  или  $mg = k_1x + k_2x = (k_1 + k_2)x$  — (3).

Моменты сил относительно точки  $A$ :  $M_1 = 0$ ;  $M_2 = mgl_1$ ;

$M_3 = k_2xL$ . Тогда из уравнения (2)  $mgl_1 - k_2xL = 0$ , из уравнения (3)  $x = \frac{mg}{k_1 + k_2}$ . Следовательно,  $mgl_1 - \frac{k_2mgL}{k_1 + k_2} = 0$ ;

$$l_1 = \frac{k_2L}{k_1 + k_2}, \quad L = l_1 + l_2; \quad l_2 = L - l_1 = L \cdot \left(1 - \frac{k_2}{k_1 + k_2}\right); \quad l_1 = 6 \text{ см};$$

$$l_2 = 4 \text{ см}.$$

- 2.44 Найти работу  $A$ , которую надо совершить, чтобы увеличить скорость движения тела массой  $m = 1$  т от  $v_1 = 2$  м/с до  $v_2 = 6$  м/с на пути  $s = 10$  м. На всем пути действует сила трения  $F_{\text{тр}} = 2$  Н.

#### Решение

Часть совершенной работы пойдет на приращение кинетической энергии, а другая часть — на преодоление силы

трения.  $A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} + A_{\text{тр}}$ , где  $A_{\text{тр}} = F_{\text{тр}} \cdot s$ , тогда

$$A = \frac{m(v_2^2 - v_1^2)}{2} + F_{\text{тр}} \cdot s; \quad A = 16,02 \text{ кДж}.$$

### Частина 4. «Динаміка АТТ», «Всесвітнє тяжіння», «Механіка рідин, газів»

(Розв'язання завдань: 2.134, 3.7, 3.19, 3.36, 3.46, 2.158, 4.6, 4.17)

- 2.134 Вычислить гравитационную постоянную  $G$ , зная радиус земного шара  $R$ , среднюю плотность земли  $\rho$  и ускорение свободного падения  $g$  у поверхности Земли.

#### Решение

В соответствии с законом всемирного тяготения, тело массой  $m$ , находящееся у поверхности Земли, притягивается

ею с силой  $P = G \frac{mM}{R^2}$ , где  $M$  — масса Земли,  $R$  — ее

радиус. С другой стороны,  $P = mg$ . Приравнявая эти

величины, найдем, что  $g = G \frac{M}{R^2}$ . Взяв из таблицы 5

значения  $R$ ,  $\rho$ ,  $g$  и зная что  $M = V\rho = \frac{4}{3}\pi R^3 \cdot \rho$ , выразим

$$G = \frac{gR^2 \cdot 3}{4\pi R^3 \rho} = \frac{3g}{4\pi R \rho}; \quad G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2.$$

- 3.7 К ободу колеса радиусом 0,5 м и массой  $m = 50$  кг приложена касательная сила  $F = 98,1$  Н. Найти угловое ускорение  $\varepsilon$  колеса. Через какое время  $t$  после начала действия силы колесо будет иметь частоту вращения  $n = 100$  об/с? Колесо считать однородным диском. Трением пренебречь.

#### Решение

Данную задачу решим в скалярной форме относительно оси, проходящей через центр масс диска и совпадающей по направлению с вектором  $\vec{\varepsilon}$ . Момент касательной силы, приложенный к ободу диска  $M = F \cdot R$  — (1). Кроме того,

$$M = J \cdot \varepsilon, \text{ где момент инерции диска } J = \frac{mR^2}{2}, \text{ т.е.}$$

$$M = \frac{mR^2 \varepsilon}{2} \text{ — (2). Приравнявая правые части уравнений}$$

$$(1) \text{ и } (2), \text{ получим } \varepsilon = \frac{2F}{mR}; \quad \varepsilon = 7,8 \text{ рад/с}^2. \text{ Угловую}$$

скорость  $\omega$  можно выразить двумя способами:  $\omega = 2\pi n$  и

$$\omega = \varepsilon t, \text{ отсюда } t = \frac{2\pi n}{\varepsilon}; \quad t = 1 \text{ мин } 20 \text{ с.}$$

- 3.19 Шар массой  $m = 1$  кг катится без скольжения, ударяется о стенку и откатывается от нее. Скорость шара до удара о стенку  $v = 10$  см/с, после удара  $u = 8$  см/с. Найти количество теплоты  $Q$ , выделившееся при ударе шара о стенку.

#### Решение

Будем считать, что движение происходит в горизонтальной плоскости, тогда количество теплоты  $Q$  равно убыли кинетической энергии  $Q = W_{k1} - W_{k2}$ . Здесь  $W_{k1}$  — кинетическая энергия шара до удара, она складывается из кинетической энергии поступательного движения и кинетической энергии вращения.

$$W_{k1} = \frac{mv^2}{2} + \frac{J\omega_1^2}{2}, \text{ где } J = \frac{2}{5}mR^2; \quad \omega_1 = \frac{v}{R}. \text{ Аналогично для}$$

$W_{k2}$  — кинетическая энергия шара после удара:

$$W_{k2} = \frac{mu^2}{2} + \frac{J\omega_2^2}{2}, \quad \text{где } \omega_2 = \frac{u}{R}. \quad \text{Преобразуем}$$

предварительно выражения  $J\omega_1^2$  и  $J\omega_2^2$ :

$$J\omega_1^2 = \frac{2}{5}mR^2 \frac{v^2}{R^2} = \frac{2}{5}mv^2; \quad J\omega_2^2 = \frac{2}{5}mu^2. \text{ Тогда } W_{k1} = \frac{mv^2}{2} +$$

$$+ \frac{mv^2}{5} = \frac{7mv^2}{10}, \quad W_{k2} = \frac{mu^2}{2} + \frac{mu^2}{5} = \frac{7mu^2}{10}. \quad \text{Отсюда}$$

$$Q = \frac{7mv^2}{10} - \frac{7mu^2}{10} = \frac{7}{10}m(v^2 - u^2); \quad Q = 2,5 \text{ мДж.}$$

- 3.36 К ободу диска массой  $m = 5$  кг приложена касательная сила  $F = 19,6$  Н. Какую кинетическую энергию  $W_k$  будет иметь диск через время  $t = 5$  с после начала действия силы?

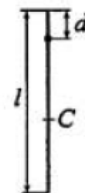
**Решение**

Импульс силы  $F\Delta t = m\Delta v$ , но  $v_0 = 0$  и  $t_0 = 0$ , следовательно,  $Ft = mv$ . Отсюда  $v = \frac{Ft}{m}$ . Кинетическая энергия вращения диска  $W_k = \frac{J\omega^2}{2}$ ; где  $J = \frac{1}{2}mR^2$ ,  $\omega = \frac{v}{R}$ ;  
 $W_k = \frac{mR^2v^2}{2 \cdot 2 \cdot R^2} = \frac{F^2t^2}{4m}$ . После подстановки числовых данных  
 $W_k = 480$  Дж.

- 3.46 Найти период колебания  $T$  стержня предыдущей задачи, если ось вращения проходит через точку, находящуюся на расстоянии  $d = 10$  см от его верхнего конца.

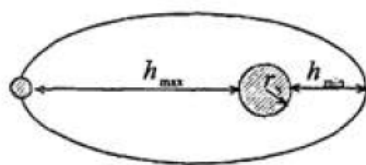
**Решение**

Период малых колебаний стержня  $T = 2\pi \times$   
 $\times \sqrt{\frac{J}{m \cdot (l/2 - d)g}}$ . По теореме Штейнера  $J = J_0 +$   
 $+ m\left(\frac{l}{2} - d\right)^2$ , где  $J_0 = \frac{ml^2}{12}$ . Отсюда  $J = \frac{ml^2}{12} +$   
 $+ \frac{ml^2}{4} - mld + md^2 = \frac{4ml^2}{12} - md(l - d)$ ;  $J = m \cdot \left(\frac{l^2}{3} - dl + d^2\right)$ .  
 Тогда  $T = 2\pi \sqrt{\frac{l^2/3 - dl + d^2}{g(l/2 - d)}}$ ;  $T = 1,07$  с.



- 2.158 Минимальное удаление от поверхности Земли космического корабля-спутника «Восток-2» составляло  $h_{min} = 183$  км, а максимальное удаление -  $h_{max} = 244$  км. Найти период обращения  $T$  спутника вокруг Земли.

**Решение**



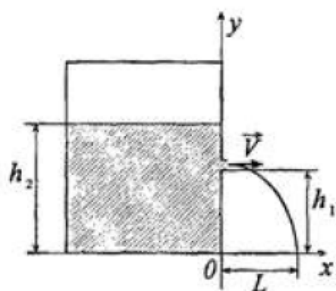
Найдем большую полуось орбиты «Востока»  $R =$   
 $= \frac{h_{max} + h_{min}}{2} + R_3 = 6583,5$  км.

Большая полуось орбиты Луны  $R_L = 390370$  км. Зная период обращения Луны, применим третий закон Кеплера  
 $\frac{T_L^2}{T^2} = \frac{R_L^3}{R^3}$ , отсюда  $T = T_L \sqrt{\frac{R^3}{R_L^3}}$ ;  $T = 87,8$  мин.



- 4.6 В сосуд льется вода, причем за единицу времени наливается объем воды  $V_1 = 0,2$  л/с. Каким должен быть диаметр  $d$  отверстия в дне сосуда, чтобы вода в нем держалась на постоянном уровне  $h = 8,3$  см?

#### Решение



Чтобы вода в сосуде была на постоянном уровне, необходимо, чтобы за одинаковые промежутки времени втекало и вытекало одинаковое количество воды.  $V_1 = \frac{V}{t} = \frac{IS}{t} = vS$ ,

отсюда  $v = \frac{V_1}{S}$ . Т. к.  $S = \frac{\pi d^2}{4}$  —

площадь поперечного сечения

отверстия, то скорость вытекания жидкости  $v = \frac{4V_1}{\pi d^2}$ . Из

уравнения Бернулли  $\frac{\rho v^2}{2} = \rho g h$ , отсюда  $v = \sqrt{2gh}$ . Тогда

$$\sqrt{2gh} = \frac{4V_1}{\pi d^2}; d^2 = \frac{4V_1}{\pi \sqrt{2gh}}; d = \sqrt{\frac{4V_1}{\pi \sqrt{2gh}}} = 1,4 \text{ см.}$$

- 4.17 На столе стоит сосуд, в боковую поверхность которого вставлен горизонтальный капилляр на высоте  $h_1 = 5$  см от дна сосуда. Внутренний радиус капилляра  $r = 1$  мм и длина  $l = 1$  см. В сосуд налито машинное масло, плотность которого  $\rho = 0,9 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> и динамическая вязкость  $\eta = 0,5$  Па·с. Уровень масла в сосуде поддерживается постоянным на высоте  $h_2 = 50$  см выше капилляра. На каком расстоянии  $L$  от конца капилляра (по горизонтали) струя масла падает на стол?

#### Решение

По формуле Пуазейля  $V = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8l\eta}$ , где по закону Паскаля

перепад давления  $\Delta p = \rho g \Delta h = \rho g (h_2 - h_1)$ . Тогда

$V = \frac{\pi r^4 \rho g (h_2 - h_1)}{8l\eta}$ , отсюда  $V_1 = \frac{V}{t} = \frac{\pi r^4 \rho g (h_2 - h_1)}{8l\eta}$ . С

другой стороны,  $V_1 = vS = v\pi r^2$  (см. задачи 4.6 и 4.9),

следовательно,  $v\pi r^2 = \frac{\pi r^4 \rho g (h_2 - h_1)}{8l\eta}$ ;  $v = \frac{r^2 \rho g (h_2 - h_1)}{8l\eta}$  —

скорость вытекания струи из капилляра. Далее рассматриваем движения струй вдоль осей  $x$  и  $y$ , как независимые, причем по  $x$  движение равномерное, а по  $y$  —

равнопеременное, поэтому  $x = vt$  и  $y = h_1 - \frac{gt^2}{2}$ . В точке

падения струи на стол  $y = 0$ , соответственно  $h_1 - \frac{gt^2}{2} = 0$ ;

$t^2 = \frac{2h_1}{g}$ ;  $t = \sqrt{\frac{2h_1}{g}}$ . Тогда струя падает на стол на рас-

стоянии  $L = x = vt = \frac{r^2 \rho g (h_2 - h_1)}{8l\eta} \sqrt{\frac{2h_1}{g}} = 1 \text{ см.}$

## Критерії оцінювання завдань РГР

**Вагові коефіцієнти** завдань розрахунково-графічної роботи розподіляються наступним чином.

Розрахунково-графічна робота (4 частини, кожна з яких містить 8 розрахунково-графічних завдань: за темами розділів 1-3; загалом – до 15 балів):

### Варіант X

розрахунково-графічне завдання – 0,117.

Разом:

$$0,117 \cdot 32 = 3,75.$$

У випадку бездоганного виконання усіх завдань з оцінюванням у 4 бали студент отримує:

$$3,75 \cdot 4 = 15 \text{ балів.}$$

## 3. Приклади завдань семестрового екзамену

### 3.1. Питання, що виносяться на підготовку до екзамену та можуть складати завдання семестрового екзамену

#### *Розділ 1. Ньютонівська механіка: основи кінематики, динаміка матеріальної точки*

1. Предмет фізики, як основи природознавства. Фізичні закони. Методи фізичних досліджень (спостереження, дослід, гіпотеза, фізична теорія, принцип відповідності)
2. Одиниці і розмірності фізичних величин (Міжнародна система одиниць – СІ, 7 основних та 2 допоміжні одиниці СІ, похідні одиниці – навести приклади)

#### **Тема 1. Кінематика матеріальної точки та абсолютно твердого тіла**

3. Предмет і структура механіки. Наукові абстракції (фізичні моделі), що використовуються у даному курсі (матеріальна точка, абсолютно тверде тіло, суцільне середовище)
4. Відносність механічного руху. Система відліку. Кінематичні рівняння руху (закони руху) матеріальної точки у векторній та координатній формах, «природній» (траєкторний або параметричний) спосіб опису руху. Взаємозв'язок різних способів опису руху.
5. Кінематичні характеристики руху матеріальної точки: радіус-вектор, кількість ступенів вільності, траєкторія, шлях, переміщення ( на прикладі руху каменя, кинутого горизонтально з початковою швидкістю  $v_0$  ).
6. Кінематичні характеристики руху матеріальної точки: середня шляхова швидкість (навести приклад), середня швидкість (середній вектор швидкості – навести приклад), миттєва швидкість (дати визначення)
7. Миттєва швидкість матеріальної точки при різних способах (векторному, координатному, «природньому») опису руху (дати визначення).
8. Знаходження кінематичних рівнянь руху матеріальної точки за відомою залежністю миттєвої швидкості від часу та відомими початковими умовами (прикладі прямолінійного рівномірного та прямолінійного рівноприскореного рухів).

9. Знаходження середніх значень скалярних і векторних функцій: середнє значення модуля швидкості  $\langle v \rangle$  матеріальної точки (і його наглядна геометрична інтерпретація) та середнє значення швидкості  $\langle \vec{v} \rangle$  за проміжок часу від  $t_1$  до  $t_2$
10. Кінематичні характеристики руху матеріальної точки: середнє прискорення, миттєве прискорення (дати визначення, навести приклади).
11. Миттєве прискорення при різних способах (векторному, координатному, «природньому») опису руху (дати визначення).
12. Визначення тангенціальної і нормальної складових миттєвого прискорення матеріальної точки при «природньому» способі опису руху
13. Класифікація руху матеріальної точки за тангенціальною і нормальною складовими миттєвого прискорення (рівномірний прямолінійний рух, рівномірно-прискорений та рівномірно-сповільнений прямолінійні рухи, рівномірний рух по колу, тощо).
14. Види руху абсолютно твердого тіла (АТТ), поступальний рух АТТ. Однаковість закономірностей кінематики матеріальної точки і кінематики поступального руху АТТ (пояснити, навести приклади).
15. Обертання навколо нерухомої осі (простий обертальний рух), кінематичні характеристики обертального руху
16. Кінематичні характеристики обертального руху: елементарний кут повороту, кутова швидкість, кутове прискорення; частота та період обертання.
17. Окремі випадки простого обертального руху (рівномірний обертальний рух, рівномірно-прискорений та рівномірно-сповільнений обертальні рухи)
18. Співвідношення між кутовими та лінійними кінематичними величинами
19. Плоский рух абсолютно твердого тіла: швидкість точки, миттєва вісь обертання
20. Додавання кутових швидкостей на прикладі круглого конуса з закріпленою шарнірно вершиною, який котиться по горизонтальній поверхні

## **Тема 2. Динаміка матеріальної точки та поступального руху твердого тіла**

21. Інерціальні системи відліку. Перший закон Ньютона. Поняття вільного тіла та замкненої (ізолюваної) системи тіл.
22. Принцип відносності Галілея. Перетворення Галілея
23. Поняття сили в механіці, основні властивості сил
24. Маса тіла (системи тіл). Імпульс. Властивості маси і імпульсу в ньютонівській механіці
25. Другий закон Ньютона (два формулювання закону, його роль при розв'язанні задач, запис закону при координатному та «природньому» способах опису руху)
26. Імпульс сили і зміна імпульсу тіла. Інтегральна форма основного закону динаміки (другого закону Ньютона)
27. Третій закон Ньютона (межі його застосовності).
28. Типи взаємодій у природі (4 фундаментальних взаємодій). Фундаментальні сили, що лежать в основі механічних явищ (гравітаційна та електромагнітна взаємодії)
29. Категорії нефундаментальних сил, що розглядаються в механіці (безконтактні - польові, контактні, сили інерції). Однорідна сила тяжіння
30. Категорії нефундаментальних сил, що розглядаються в механіці (безконтактні - польові, контактні, сили інерції). Вага тіла. Сили реакції.
31. Категорії нефундаментальних сил, що розглядаються в механіці (безконтактні - польові, контактні, сили інерції). Сила пружності (закон Гука). Деформація пружини.
32. Категорії нефундаментальних сил, що розглядаються в механіці (безконтактні - польові, контактні, сили інерції). Сили тертя. Емпіричні закони сухого і в'язкого тертя (сила тертя ковзання, сила тертя кочення, сили в'язкого тертя при малих і великих швидкостях)

33. Використання законів Ньютона для розв'язання фізичних задач: основне рівняння динаміки в проекціях на осі декартових координат (навести приклад – тіло ковзає по похилій площині).
34. Використання законів Ньютона для розв'язання фізичних задач: основне рівняння динаміки в проекціях на дотичну і нормаль до траєкторії в даній точці (навести приклад – тіло ковзає з вершини гладкої сфери).
35. Межі застосовності ньютонівської механіки

## ***Розділ 2. Закони збереження***

### ***Тема 3. Закон збереження імпульсу***

36. Величини, що зберігаються. Закони збереження (енергії, імпульсу, моменту імпульсу), їх походження і роль у фізиці
37. Система матеріальних точок. Імпульс системи, причина зміни імпульсу системи (навести приклади)
38. Закон збереження імпульсу; умови, за яких він застосовується (1 - система замкнена – сили відсутні – приклад вільної частинки)
39. Закон збереження імпульсу; умови, за яких він застосовується (2 – система замкнена - сили скомпенсовані – приклад людини на плоту, що знаходиться у стані спокою на поверхні озера)
40. Закон збереження імпульсу; умови, за яких він застосовується (3 – система незамкнена, але імпульс зовнішніх сил за час їх дії дуже малий – приклади: 1) розпад частинки у полі сили тяжіння на дві (або снаряду внаслідок вибуху на два осколки), 2) удар двох кульок (абсолютно пружний та абсолютно не пружний).
41. Закон збереження імпульсу; умови, за яких він застосовується (4 - система незамкнена, але проекція рівноважної зовнішніх сил на деякий напрямок дорівнює нулю – приклад каменя, кинутого під кутом до горизонту)
42. Центр мас системи (ЦМ) (дати визначення, навести приклад знаходження ЦМ системи двох тягарців на невагомому стрижні), швидкість центру мас системи і її імпульс, рівняння руху центру мас (теорема про рух центру мас),
43. Приклади на рух центру мас системи (1 – система замкнена – «людина - пліт»)
44. Приклади на рух центру мас системи (2 – система незамкнена – пливун у воду)
45. Рух тіла змінної маси: рівняння Мещерського, реактивна сила, окремі випадки руху тіл змінної маси (1 – рух платформи, з якої вільно висипається пісок)
46. Рух тіла змінної маси: рівняння Мещерського, реактивна сила, окремі випадки руху тіл змінної маси (2 – рух платформи, яку навантажують сипкою речовиною з нерухомого бункера)
47. Приклади на застосування рівняння Мещерського, рух ракети - формула Ціолковського.

### ***Тема 4. Закон збереження енергії***

48. Робота сили. Потужність. Кінетична енергія.
49. Обчислення роботи сили. Робота пружної сили
50. Обчислення роботи сили. Робота гравітаційної (або кулонівської) сили
51. Обчислення роботи сили. Робота сили тяжіння
52. Консервативні і неконсервативні сили. Приклади консервативних і дисипативних сил
53. Поняття силового поля. Потенціальна енергія частинки в полі пружної сили.
54. Поняття силового поля. Потенціальна енергія частинки в гравітаційному (кулонівському) полі матеріальної точки
55. Поняття силового поля. Потенціальна енергія частинки в однорідному полі сили тяжіння
56. Зв'язок між консервативною силою та потенціальною енергією. Еквіпотенціальні поверхні
57. Повна механічна енергія частинки, закон її збереження



- 58. Кінетична енергія системи, її зв'язок з роботою усіх сил, що діють на усі елементи системи
- 59. Повна механічна енергія системи (частинок), її властивості і зв'язок з роботою усіх внутрішніх дисипативних сил та роботою усіх зовнішніх сил; наслідки цього зв'язку для замкнених консервативних систем (приклад Сонячної системи)
- 60. Закон збереження механічної енергії системи (частинок, тіл – приклад кульки на невагомій пружній нитці)
- 61. Застосування законів збереження імпульсу та енергії до аналізу процесів абсолютно непружного та абсолютно пружного зіткнення двох частинок (тіл)

#### **Тема 5. Закон збереження моменту імпульсу**

- 62. Момент імпульсу частинки відносно точки, його властивості (окремі випадки: прямолінійного руху частинки та руху по колу)
- 63. Момент сили. Рівняння моментів для частинки; закон збереження моменту імпульсу частинки, як наслідок рівняння моментів (приклад планети в полі тяжіння Сонця)
- 64. Задачі, що дозволяє розв'язувати рівняння моментів для частинки; імпульс моменту сили (приклад каменя, кинутого під кутом до горизонту)
- 65. Момент імпульсу частинки та момент сили, що діє на неї, відносно осі; їх властивості та аналітичні вирази (в циліндричній системі координат)
- 66. Рівняння моментів для системи (частинок); його наслідки
- 67. Закон збереження моменту імпульсу системи (частинок); висновки, які він дозволяє робити стосовно поведінки системи (приклад системи двох кульок, насаджених на гладкий горизонтальний стрижень, що обертається навколо вертикальної осі)
- 68. Умови, за яких зберігається момент імпульсу системи відносно деякої точки та відносно деякої осі у разі незамкнених систем

#### **Тема 6. Елементи механіки твердого тіла**

- 69. Рівняння руху абсолютно твердого тіла (АТТ); задачі, що вони дозволяють розв'язувати
- 70. Наслідки з рівнянь руху АТТ; умови рівноваги АТТ
- 71. Обертання АТТ навколо нерухомої осі. Моменти інерції точки та тіла відносно осі обертання, їх властивості
- 72. Приклади аналітичного розрахунку моментів інерції однорідних тіл з елементами симетрії (момент інерції суцільного циліндра)
- 73. Теорема Штейнера, приклади її застосування (для циліндра та стрижня)
- 74. Рівняння динаміки обертання АТТ навколо нерухомої осі
- 75. Кінетична енергія тіла, що обертається навколо нерухомої осі
- 76. Робота зовнішніх сил при обертанні АТТ навколо нерухомої осі
- 77. Потужність рівноважної сили при обертанні АТТ навколо нерухомої осі
- 78. Застосування законів збереження моменту імпульсу та енергії до систем точкових і неточкових тіл (приклад планети в полі тяжіння Сонця)
- 79. Застосування законів збереження моменту імпульсу та енергії до систем точкових і неточкових тіл (приклад гладкого стрижня з невеличкою муфтою, що обертаються в горизонтальній площині)
- 80. Плоский рух твердого тіла. Повна кінетична енергія при плоскому русі твердого тіла.
- 81. Стандартний (динамічний) підхід до розв'язку задач на плоский рух АТТ (приклад циліндра, що скочується похилою площиною).
- 82. Закони збереження при поступальному та обертальному рухах твердого тіла (приклад циліндра, що скочується похилою площиною).
- 83. Таблиця аналогій для кінематики поступального та простого обертального рухів твердого тіла, зв'язок між відповідними кінематичними характеристиками
- 84. Таблиця аналогій для динаміки поступального та простого обертального рухів твердого тіла

85. Вільні осі обертання абсолютно твердого тіла, головні осі. Гіроскопи та особливості їх руху. Приклади використання гіроскопів.
86. Механічні коливання, як окремий випадок механічного руху. Класифікація коливань.
87. Гармонічні коливання: гармонічний осцилятор, рівняння та закон його руху, приклад пружинного та математичного маятників.
88. Гармонічні коливання: гармонічний осцилятор, рівняння та закон його руху, приклад фізичного та крутильного маятників.

#### **Тема 7. Елементи механіки рідин і газів**

89. Властивості рідин та газів. Тиск у рідинах та газах. Закони гідростатики (Архімеда, Паскаля).
90. Ідеальна рідина. Стаціонарний рух ідеальної рідини. Лінії та трубки течії. Рівняння нерозривності.
91. Рівняння Бернуллі та фізичний зміст його складових. Формула Торрічеллі.
92. В'язкість (внутрішнє тертя) рідин та газів. Сила внутрішнього тертя. Ламінарна і турбулентна течії. Число Рейнольдса. Формула Пуазейля.
93. Рух тіл у рідинах і газах. Підймальна сила і лобовий опір.

#### **Тема 8. Всесвітнє тяжіння. Елементи теорії поля**

94. Закони Кеплера і закон всесвітнього тяжіння
95. Поле тяжіння, його силові та енергетичні характеристики
96. Зв'язок між потенціалом поля тяжіння і його напруженістю. Графічне зображення силових полів
97. Принцип суперпозиції, як одна з найважливіших властивостей силових полів, його застосування для розрахунків полів неточкових тіл
98. Матеріальна точка у полі центральної сили (задача Кеплера), класифікація орбіт
99. Космічні швидкості. Рух штучних супутників Землі
100. Неінерціальні системи відліку. Сили інерції та їх прояв.

## **3.2. Зразок Білету для семестрового екзамену**

**Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна  
Фізико-енергетичний факультет**

Спеціальність 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали»

Семестр 1; форма навчання денна; рівень вищої освіти I (бакалавр); навчальна дисципліна «Механіка»

### **ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 44 (10, 10, 10, 10)**

1. Швидкість руху. Середня шляхова швидкість, середній вектор швидкості, миттєва швидкість. Визначення миттєвої швидкості при різних способах опису руху. Знаходження шляху, пройденого матеріальною точкою за певний проміжок часу, геометричний зміст визначеного інтегралу. Знаходження середніх значень скалярних і векторних функцій.
2. Рух тіла змінної маси. Рівняння Мещерського, реактивна сила. Окремі випадки руху тіл змінної маси, приклади на застосування рівняння Мещерського, формула Ціолковського.
3. Рівняння нерозривності для нестисливої рідини. Рівняння Бернуллі та фізичний зміст його складових, формула Торрічеллі
4. Задача. Маховик обертається за законом, що виражається рівнянням  $\varphi = A + Bt + Ct^2$ , де  $A = 2$  рад,  $B = 16$  рад / с,  $C = -2$  рад / с<sup>2</sup>. Момент інерції  $J$  маховика дорівнює  $50 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ . Знайти закони, за якими змінюються обертовий момент  $M$  і потужність  $N$ . Чому дорівнює потужність в момент часу  $t = 3$  с?

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій і екології  
протокол № \_\_\_\_\_ від “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

Екзаменатор \_\_\_\_\_  
(підпис)

### 3.3. Критерії оцінювання набутих знань і вмінь

Знання студентів як з теоретичної, так і з практичної підготовки оцінюються за такими критеріями:

- 4 бали – студент міцно засвоїв теоретичний матеріал, глибоко і всебічно знає зміст навчальної дисципліни, основні положення наукових першоджерел та рекомендованої літератури, логічно мислить і будує відповідь, вільно використовує набуті теоретичні знання при аналізі практичного матеріалу, висловлює своє ставлення до тих чи інших проблем, демонструє високий рівень засвоєння практичних навичок;
- 3 бали – студент добре засвоїв теоретичний матеріал, володіє основними аспектами з першоджерел та рекомендованої літератури, аргументовано викладає його; має практичні навички, висловлює свої міркування з приводу тих чи інших проблем, але припускається певних неточностей і похибок у логіці викладу теоретичного змісту або при аналізі практичного;
- 2 бали – студент в основному опанував теоретичними знаннями навчальної дисципліни, орієнтується в першоджерелах та рекомендованій літературі, але непереконливо відповідає, плутає поняття, додаткові питання викликають невпевненість або відсутність стабільних знань; відповідаючи на запитання практичного характеру, виявляє неточності у знаннях, не вміє оцінювати факти та явища, пов'язувати їх із майбутньою діяльністю;
- 1 бал – студент майже не опанував навчальний матеріал дисципліни, не знає наукових фактів, визначень, майже не орієнтується в першоджерелах та рекомендованій літературі, відсутнє наукове мислення, практичні навички майже не сформовані.
- 0 балів – знання як з теоретичної, так і з практичної підготовки за даним завданням виявити не вдається, невиконання завдання у разі відсутності на заняттях або під час СРС.

Вагові коефіцієнти завдань для різних видів контролю та занять розподіляються таким чином.

Поточний контроль на практичних заняттях (лекціях): відповідь при усному опитуванні – 0,10; виступ при обговоренні теоретичного питання – 0,25; розв'язання задачі на дошці – 0,25; розв'язання задачі під час СРС – 0,10. Загалом за поточним контролем – до 15 балів за усіма розділами. Банк завдань містить 100 задач і 90 питань.

Контрольні роботи (за темами розділів – 10 балів) – тестові завдання – 0,25, задачі початкового рівня або питання для розгорнутої відповіді – 0,375, задача середнього рівня – 0,75, задача підвищеного рівня – 1,00.

Розрахунково-графічна робота, що виконується під час самостійної роботи, (32 розрахунково-графічних завдання у 4-х частинах, по 8 завдань кожна, з ваговим коефіцієнтом 0,117– до 15 балів).

Лабораторні заняття: підготовленість до виконання лабораторної роботи – 0,25, виконання власне лабораторних досліджень – 0,25, оформлення індивідуального письмового звіту про виконану роботу – 0,25, захист звіту перед викладачем – 0,25. Загалом за лабораторними заняттями – до 20 балів.

Підсумковий семестровий контроль – екзамен (до 40 балів): теоретичні питання – 2,5, задача – 2,5. За бажанням студента можуть нараховуватися до 4-х заохочувальних балів за коментар екзаменаційної роботи в усній формі та відповіді на додаткові запитання. Необхідною умовою допуску студента до екзамену з дисципліни є позитивний рейтинг за основними формами поточного та модульного контролю, але не менше 30 балів.