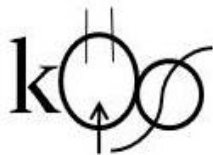


ИМИТ<sub>и</sub>Ф



# ОЛИМПИАДНАЯ ФИЗИКА



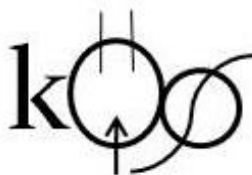
Сборник задач

Издательский центр «Удмуртский университет»

Ижевск 2020

Министерство науки и высшего образования РФ  
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»  
Институт математики,  
информационных технологий и физики  
Кафедра общей физики

# ОЛИМПИАДНАЯ ФИЗИКА



**Сборник задач**

**Издательский центр «Удмуртский университет»**

**Ижевск 2020**

УДК 378.02:37.016

ББК 74.480.262.23-275

*Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом  
УдГУ*

**Рецензент: к. ф.-м. наук, доцент, зав. каф. ФТТ УдГУ**

**Петр Николаевич Крылов**

**Составитель: к. ф.-м. наук, доцент**

**Игорь Владимирович Милютин**

**Олимпиадная физика: сборник задач/сост.**

О-543 И.В.Милютин. Ижевск: Изд. центр «Удмуртский университет», 2020. – 84 с.

Сборник задач предназначен для студентов направления подготовки бакалавров «Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки), математика и физика». Он включает в себя содержание практических занятий и задачи, предлагаемые для решения дома, по дисциплине «Олимпиадная физика», и может быть использован в рамках работы по дисциплине "Практикум по решению школьных физических задач".

Пособие пригодится студентам направлений подготовки бакалавров «Физика» и «Прикладные математика и физика» при освоении дисциплины "Практикум по решению физических задач".

УДК 378.02:37.016

ББК 74.480.262.23-275

© И.В.Милютин, сост., 2020

© ФГБОУ ВО "Удмуртский государственный университет", 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                            |          |
|----------------------------------------------------------------------------|----------|
| Предисловие                                                                | 5        |
| Занятие 1. Относительность движения.<br>Выбор системы отсчета              | 9        |
| Занятие 2. Относительность движения.<br>Графические решения                | 13       |
| Занятие 3. Сложение скоростей. Метод<br>подобия                            | 17       |
| Занятие 4. Метод размерностей                                              | 22       |
| Занятие 5. Подобие. Размерность. Динамика                                  | 24<br>27 |
| Занятие 6. Динамика. Закон сохранения<br>энергии. Графический смысл работы |          |
| Занятие 7. Метод отрицательных масс                                        | 31       |
| Занятие 8. Законы сохранения                                               | 35       |
| Занятие 9. Графический смысл работы.<br>Законы сохранения                  | 38       |
| Занятие 10. Условия равновесия                                             | 42       |

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Занятие 11. Гидро- и аэростатика                                                | 47 |
| Занятие 12. Теплота. Молекулярная физика                                        | 52 |
| Занятие 13. Молекулярная физика.<br>Поверхностное натяжение                     | 56 |
| Занятие 14. Электростатика                                                      | 63 |
| Занятие 15. Электричество.<br>Эквипотенциальные точки. Токи в сплошной<br>среде | 66 |
| Занятие 16. Электричество                                                       | 71 |
| Занятие 17. Электричество                                                       | 76 |
| Занятие 18. Оптика                                                              | 80 |

## Предисловие

Данное пособие подготовлено в соответствии с требованиями действующих федеральных образовательных стандартов высшего образования бакалавриата по направлениям подготовки «Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки), математика и физика», «Физика», «Прикладные математика и физика». При его составлении были использованы задачи различных сборников, материалы школьных физических олимпиад различного уровня, некоторое количество оригинальных задач.

Сборник задач включает в себя содержание практических занятий и задачи, предлагаемые для решения дома, по дисциплине «Олимпиадная физика» направления подготовки бакалавров «Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки), математика и физика».

Используемый подход к формированию у учащихся навыков решения олимпиадных физических задач прошел апробацию в ходе нескольких лет работы преподавателей Кафедры общей физики УдГУ с

интересующимися физикой школьниками и студентами. Эти занятия проводились на базе УдГУ по параллелям классов (9, 10, 11 классы) и группам интересующихся олимпиадными задачами студентов.

Приобретенный опыт обобщен в ходе проведенного в первом полугодии 2014-15 учебного года составителем пособия цикла семинаров для учителей физики г. Ижевска и последующем проведении им ряда курсов повышения квалификации для учителей физики Удмуртии..

Организуя свою деятельность, преподаватели УдГУ исходили из того, что для школьников и студентов занятия были бесплатными и добровольными. Поэтому, они, по возможности, не должны были быть скучными.

Кроме того, даже если, как предполагалось, на занятия собирались интересующиеся и способные, у них еще не сформирована потребность решать и разбирать самостоятельно задачи. Формирование такой потребности – главная цель подобных занятий, и появится она только тогда, когда посещение занятий будет регулярным.

Поэтому – значительная часть предлагаемого на занятиях материала должна быть занимательной, необходимо чередовать различные виды деятельности, чтобы стимулировать интерес, нужно учитывать, что интерес укрепляется, если «получается».

С учетом сказанного каждое занятие строится по следующим принципам:

1. Открывает занятие разминка, включающая качественные, в том числе и экспериментальные, и простые оценочные задачи. Тематика этих задач может совпадать, а может и не совпадать с тематикой основного занятия.
2. Возможно включение элементов разминки по ходу занятия.
3. По-возможности, следует давать постановку задачи через эксперимент.
4. У каждого занятия есть основная, но не единственная тема.

Основной материал следует «переслаивать» как задачами на повторение (если они решаются учениками, то это формирует интерес и уверенность), так и задачами на материал следующих занятий.



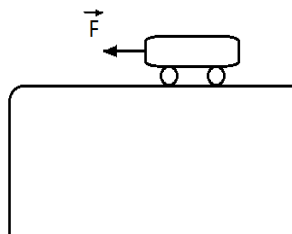
5. Не обязательно доводить до конца решение каждой задачи на том занятии, на котором она была сформулирована, можно дать время на размышление дома, особенно, если задача «красива».
6. Сказанное выше относится и к экспериментальным задачам – принесли приборы и оборудование на занятие, а показали не все, да еще сделали это так, чтобы учащиеся поняли – остальное в следующий раз.

Содержание занятий структурировано по разделам физики и методам решения.

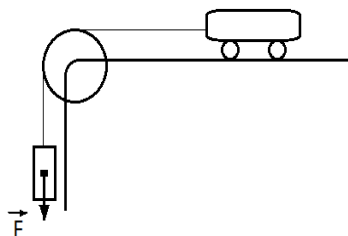
## Занятие 1

### Разминка

1. Имеется 8 одинаковых по размеру и виду шаров, один из которых с полостью. Как определить его, пользуясь только чашечными весами, причем можно провести только 2 взвешивания?
2. Токарь изготовил партию деталей с ошибкой – каждая деталь оказалась на 10 г легче, чем нужно. Бракованные детали перед плавлением хранились на складе в отдельном ящике среди 9 остальных таких же ящиков с деталями. Кладовщик забыл, в каком ящике бракованные детали. Каким минимальным числом взвешиваний это можно определить?
3. В каком случае (а).или б.) тележка быстрее доедет до края?

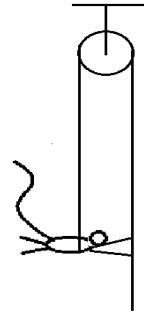


а).



б).

4. Обезьяна перебирает веревку лапами со скоростью  $v$ , с какой скоростью она поднимается? С какой силой она действует на веревку, если вес обезьяны  $P$ ?



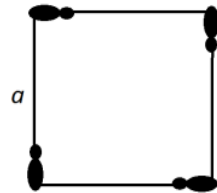
5. Останкинская телебашня высотой 530 м имеет массу 30 000 т. Какова будет масса точной копии этой башни высотой 53 см?

## Относительность движения

### Выбор системы отсчета

1.1. Лодочник, проплывая под мостом, теряет весло, замечает это через 0.5 часа, разворачивается и встречает весло в 5 км от моста. Какова скорость течения?

1.2. Четыре таракана расположены в вершинах квадрата со стороной  $a$  так, как показано на рисунке. Они одновременно побежали с одинаковой скоростью  $v$  так, что каждый продолжает смотреть находящемуся впереди

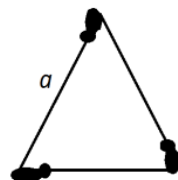


перпендикулярно в бок. Встретятся ли тараканы, если да, то где, и через какое время?

- 1.3. Поезд движется на север со скоростью  $v = 20$  м/с. Пассажиру вертолета, пролетающего над поездом кажется, что поезд движется на запад со скоростью  $u = 20$  м/с. Найти скорость вертолета и направление его полета.
- 1.4. Бесконечный конус с углом раствора  $90^\circ$  движется с постоянной скоростью  $\vec{v}$  справа налево к центру покоящегося шара. Направление скорости совпадает с осью конуса. Шар разбивается на много осколков, которые летят во все стороны равномерно с одинаковыми по модулю скоростями  $u$ . Какая часть осколков попадет на конус? Влиянием силы тяжести пренебречь.
- 1.5. Капли дождя падают отвесно со скоростью  $u$ . По дороге катится мяч со скоростью  $v$ . Другой такой же мяч лежит неподвижно. На какой мяч попадает больше капель? Во сколько раз?
- 1.6. Ведро выставлено под дождь. Изменится ли скорость наполнения ведра водой, если подует ветер?

## Дома

1. Мимо пристани проходит плот. В этот момент в поселок, находящийся на расстоянии 15 км от пристани, вниз по реке отправляется моторная лодка. Она дошла до поселка за  $\frac{3}{4}$  часа и, повернув обратно, встретила плот на расстоянии 9 км от поселка. Каковы скорость течения реки и скорость лодки относительно воды?
2. Три таракана в вершинах равностороннего треугольника со стороной  $a$  начинают двигаться одновременно со скоростями  $v$ , продолжая "глядеть" на переднего как в начальный момент. Встретятся ли тараканы, если да, то где, и через какое время?



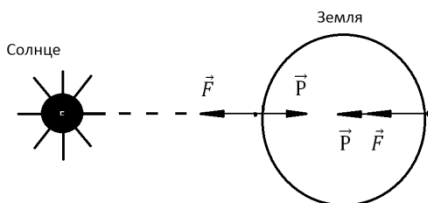
## Занятие 2

### Разминка

1. Через блок, подвешенный достаточно высоко, переброшен канат, по концам которого

поднимаются две обезьяны одной и той же массы, причем одна передвигается по канату вдвое быстрее другой. Какая из обезьян быстрее доберется доверху? Блок считать невесомым, канат – невесомым и нерастяжимым.

2. Мяч брошен вертикально вверх. Что больше, время подъема или время спуска?
3. Как найти положение центра масс палки не пользуясь инструментами?
4. Приведите пример гравитирующей системы, в которой при сближении двух тел сила притяжения между ними уменьшается.
5. Как влияет притяжение Солнца на вес тел, расположенных на поверхности Земли со стороны Солнца и с противоположной стороны?  $P$  – вес,  $F$  – сила притяжения тела Солнцем.



6. Одни часы спешат, другие – идут правильно. У минутной стрелки каких часов больше угловое ускорение?

## Относительность движения

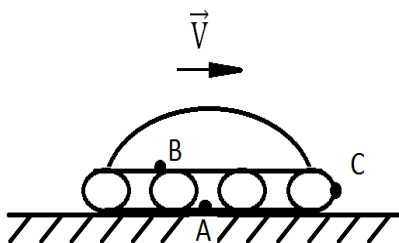
### Графические решения

2.1. Трактор движется со скоростью  $v = 36$  км/ч. С какой скоростью движутся относительно Земли:

а) т. А на нижней части гусениц;

б) т. В на верхней части гусениц;

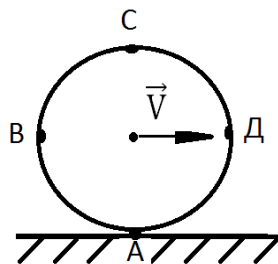
в) т. С?



2.2. Диск радиуса  $R$  катится без проскальзывания со скоростью  $v$  по горизонтали.

а) Найти модули и направления скоростей и ускорений т. А, В, С, Д на ободке диска относительно дороги.

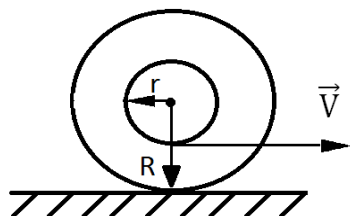
б) Какие точки диска имеют ту же по модулю скорость, что и центр диска О?



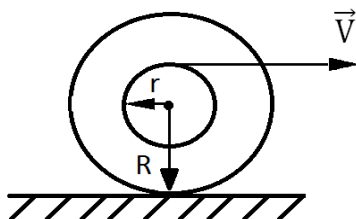
2.3. Катушка с нитью лежит на горизонтальном столе и может катиться по нему без проскальзывания. Внутренний радиус катушки  $r$ ,

внешний  $R$ . С какой скоростью и будет перемещаться ось катушки, если конец нити тянуть в горизонтальном направлении со скоростью  $v$ ? Рассмотреть случаи а и б.

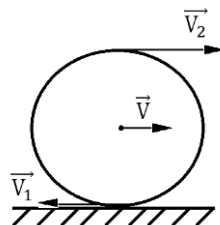
а)



б)

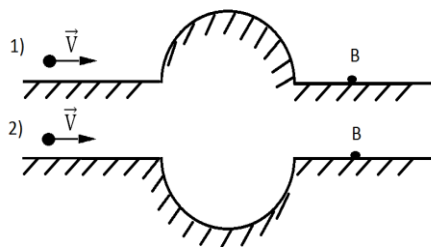


2.4. Колесо, пробуксовывая, катится по ровной горизонтальной дороге. Найти скорость центра колеса  $V$ , если известно, что скорость его нижней точки  $v_1 = 2$  м/с, а верхней  $v_2 = 10$  м/с.



2.5. От движущегося поезда отцепляют последний вагон, при этом скорость поезда не изменяется. Сравните пути, пройденные поездом и вагоном к моменту остановки вагона. Ускорение вагона считайте постоянным.

2.6. Два шарика начали одновременно и с





постоянной скоростью двигаться по поверхностям, имеющим форму, изображенную на рисунке. Сравните скорости и времена движения шариков к моменту их прибытия в т. В? Трением пренебречь.

## Дома

1. Лифт начал подниматься с постоянным ускорением  $1 \text{ м/с}^2$ . Спустя 1 сот потолка кабины лифта оторвался болт. Определить: а) время падения болта; б) путь, пройденный им за это время в системе, связанной с Землей.

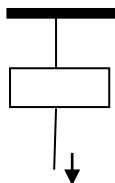
Высота кабины лифта 2.75 м.

2. В пространстве падает лист фанеры. Оказалось, что в некоторый момент времени скорости двух точек листа А и В одинаковы ( $\vec{V}_A = \vec{V}_B = \vec{V}$ ) и лежат в плоскости листа. Оказалось, что скорость точки листа С, являющейся вместе с точками А и В вершиной равностороннего треугольника, равна  $2V$ . Где в данный момент на листе находятся точки, скорость которых в три раза больше скорости  $V$ ?

## Занятие 3

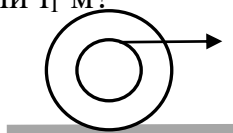
### Разминка

1. Какая из нитей разорвется:
  - а. если резко дернуть за нижнюю нить;
  - б. если тянуть нижнюю нить, медленно увеличивая усилие?



2. Почему спутники запускают на восток?
3. Почему Израиль запускает спутники на запад?
4. Почему птицы летят на юг только в холодную погоду?
5. Рабочий тянет за конец каната, вследствие чего, катушка, на которую намотан канат, перекатывается без скольжения по земле. Какой путь должен пройти рабочий, чтобы смотался один оборот каната, если длины окружностей барабана катушки и торцевого диска соответственно равны  $l_1$  и  $l_2$  м?

$l_2$

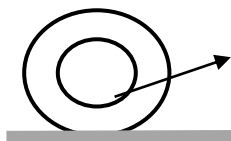


6. «Задача Эдисона». Необитаемый остров представляет собой горизонтальную каменную поверхность, на которой находится каменная плита массой 2 т, длиной 5 м и высотой 2 м. Как сдвинуть плиту с места, если оказавшийся на острове человек не обладает никакими инструментами?

### Сложение скоростей

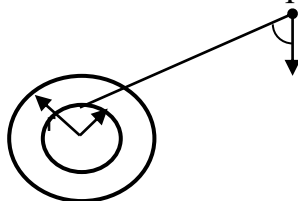
#### Метод подобия

3.1. В какую сторону покатится катушка, если потянуть за нить так, как показано на рисунке? Трение между катушкой и полом велико.



3.2. Конец нити, намотанный на катушку, перекинут через гвоздь, вбитый в стену. Нить тянут с постоянной скоростью  $v$ . С какой скоростью будет

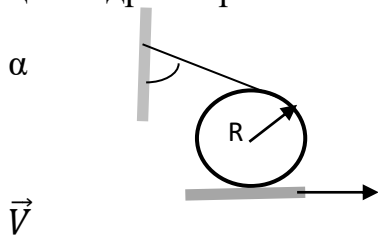
$R\alpha\vec{V}$



двигаться центр катушки в тот момент, когда нить составляет угол  $\alpha$  с вертикалью? Внешний радиус

катушки  $R$ , внутренний  $r$ . Катушка катится без проскальзывания.

3.3. Цилиндр с намотанной на него нитью, второй конец которой закреплен, находится на горизонтальной подставке, движущейся поступательно с постоянной горизонтально направленной скоростью  $v$ . Найти скорость оси цилиндра в зависимости от угла  $\alpha$ , образуемого нитью с вертикалью. Относительно подставки цилиндр не проскальзывает.



3.4. Автомобиль движется по песку со скоростью  $v = 10$  м/с с проскальзыванием. Какова будет скорость нижней точки колеса относительно земли, если известно, что песчинки, оторвавшиеся от передней точки колеса  $A$ , находящейся на его ободе на уровне оси, движутся под углом  $\alpha = 60^\circ$  к горизонту?

3.5. После 7 стирок линейные размеры куска мыла уменьшились вдвое. На какое количество стирок его еще хватит?

3.6. Два клубка из одинаковой шерстяной нити. Один из них в  $n$  раз больше другого. Во сколько раз длиннее нить, из которой он намотан?

3.7. Додекаэдр со стороной 2 см весит 10 г. Сколько весит додекаэдр со стороной 8 см, изготовленный из того же материала?

3.8. Великан и лилипут устроили соревнование: кто большее число раз подтянется на перекладине. Кто выигрывает и почему?

3.9. Кости ног некоторого животного в  $n$  раз прочнее костей другого, принадлежащего к тому же семейству и имеющего ту же форму. Каково отношение роста первого животного к росту другого?

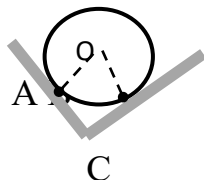
3.10. Имеются два геометрически подобных соленоида, первый больше второго в 2 раза. Как соотносятся индуктивности этих соленоидов? Как соотносятся магнитные поля в соленоидах при одинаковом токе?

3.11. Имеются две проволоки квадратного сечения, сделанные из одного и того же материала. Сторона сечения одной проволоки 1 мм, другой – 4 мм. Для того, чтобы расплавить первую проволоку, нужно

пропустить через нее ток в 10 А. Какой ток нужно пропустить через вторую проволоку, чтобы она расплавилась?

## Дома

1. Шарик катится вдоль ребра прямоугольного желоба АСВ со скоростью  $v$  без проскальзывания. Расстояние АВ равно радиусу шарика. Какие точки шарика имеют максимальную скорость? Чему равна эта скорость?



2. Если человек упадет с крыши высокого здания, он "гарантированно" разобьется, а кошка с большой вероятностью может остаться живой, почему?

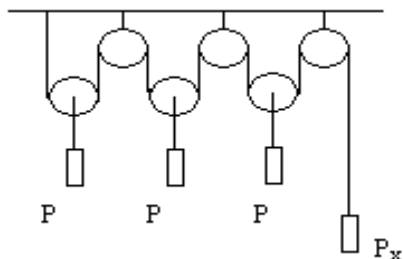
## Занятие 4

### Разминка

1. Два полых шара имеют одинаковые массу  $m$  и объем  $V$ . Они покрашены. Один медный, другой алюминиевый. Как выяснить, где какой?

2. С наклонной плоскости скатываются две одинаковые по массе бутылки, одна с водой, другая со смесью песка и опилок. Какая скатится быстрее?

3. Блоки и нить невесомы, трения нет. При каком  $P_x$  система будет в равновесии?



4. Как, не располагая ничем, определить, намагничено ли старое ножовочное полотно?

5. Как определить, что намагничено – гвоздь или ножовочное полотно?

6. Как определить, какой из двух железных брусков намагничен?

## Метод размерностей

4.1. Бутылку с лимонадом сильно встряхивают. При этом образуются пузырьки разного диаметра. Почему через некоторое время после того, как бутылку поставили на стол, у поверхности крупные пузырьки располагаются над мелкими?

4.2. Оценить период колебаний жидкой капли.

4.3. Получите формулу Пуазейля исходя из метода размерностей (для скорости течения на оси цилиндрического капилляра).

4.4. получите формулу для оценки коэффициента поверхностного натяжения, полагая, что  $\alpha = \alpha(n, r_{вз}, \vec{u}_{вз})$ , где  $n$  – концентрация молекул жидкости,  $r_{вз}$  – радиус взаимодействия,  $\vec{u}_{вз}$  – средняя энергия взаимодействия двух молекул.

4.5. Вода переливается через край плотины. Во время паводка водосброс (масса воды, проходящая за 1 с) увеличивается втрое. Во сколько раз возрастает при этом уровень воды над плотиной?

## Дома

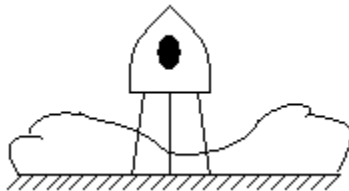
1. Действующая модель подъемного крана способна поднять 10 бетонных плит без обрыва троса. Сколько плит поднимает реальный кран, изготовленный из тех же материалов, если линейные размеры крана, троса и плит в 12 раз больше, чем в модели?
2. Почему в бокале с шампанским цепи пузырьков идут от определенных мест? То же наблюдается и при кипении, в чем особенности двух процессов?



## Занятие 5

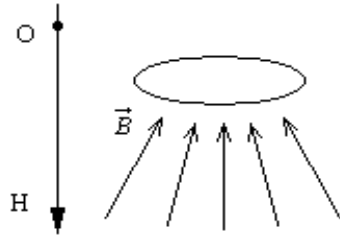
### Разминка

1. Шар лежит на горизонтальной поверхности, касаясь наклонной стенки. Силу тяжести  $\vec{P}$  можно разложить на составляющие  $\vec{N}$  и  $\vec{R}$ . Сила  $\vec{N}$ , перпендикулярная стенке АВ, уничтожается силой реакции стены, а сила  $\vec{R}$  должна двигать шар вправо?!
2. На рычажных весах уравновешены песочные часы. Весь песок находится в нижнем сосуде часов. Сохранится ли равновесие во время пересыпания песка, если повернуть часы и вновь поставить на чашку весов?
3. Два путника подошли к реке. У берега реки находится лодка, выдерживающая только одного человека. Путники переправились на лодке через реку и пошли своей дорогой. Как им это удалось?
4. Стартует или садится ракета?



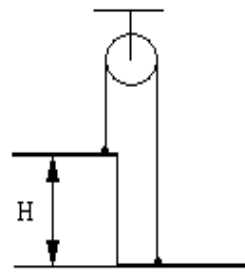
### Подобие. Размерность. Динамика.

5.1. Медные кольца, сделанные из проволоки разного диаметра, падают в вертикальном магнитном поле, индукция которого изменяется с высотой  $H$  по закону  $B = B_0 + \alpha H$ . Как будет зависеть установившаяся скорость падения колец от диаметра проволоки, из которой они сделаны? Радиусы колец одинаковы и много больше диаметра проволоки.



5.2. Нейтронная звезда имеет массу примерно равную массе нашего Солнца  $M \approx 2 \cdot 10^{33}$  г. Радиус нейтронной звезды порядка 10 км, радиус Солнца  $R_s \approx 7 \cdot 10^{10}$  см. Известно, что проходящий вблизи края солнечного диска световой луч из далекой галактики отклоняется на угол  $\varphi_s \approx 2 \cdot 10^{-6}$  рад. Определите, на сколько отклонится световой луч вблизи поверхности нейтронной звезды,  $\gamma \approx 7 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3/(\text{г} \cdot \text{с}^2)$ .

5.3. Имеется веревка, перекинутая через неподвижный блок. Концы

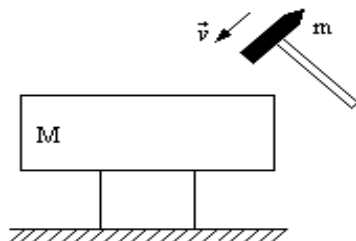


веревки свободно лежат на подставках, расположенных на разных уровнях. С какой скоростью будет скатываться веревка, когда ее движение станет равномерным? Расстояние между уровнями равно  $H$ .

5.4. На цилиндрический столб намотан один виток каната. Для того, чтобы канат не скользил, когда за один из его концов потянут с силой  $F$ , за другой конец каната нужно тянуть с силой  $f$ . Как изменится эта сила, если на столб будет намотано  $n$  витков каната?

### Дома

1. На стакан установлен тяжелый груз  $M$ . По грузу сильно бьют молотком  $m$ . Почему стакан не разрушается?



2. Обруч радиуса  $R = 1$  м толчком закручивают вокруг столба диаметром  $d = 0.4$  м. Какую скорость  $v$  нужно придать обручу ( $v$  – скорость его центра), чтобы он не съезжал вниз?  $\mu = 0.05$ .

## Занятие 6

### Разминка

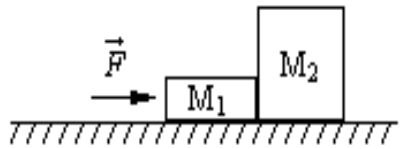
1. Поверхность горизонтальная и идеально гладкая. На левый брусок действуют две силы (горизонтальные):

$$R = F + (-F) = 0;$$

где  $(-F)$  – сила, действующая со стороны правого бруска.

Следовательно, ускорение левого бруска  $a_1 = \frac{R}{M_1} = 0$ .

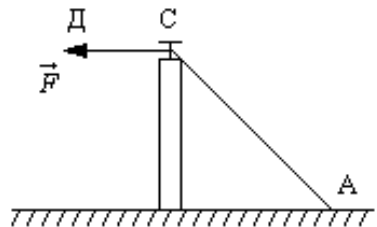
Т.о., как бы ни была велика сила  $\vec{F}$ , она никогда не сдвинет с места брусок  $M_1$ ?!



2. В цилиндрический стакан наливают воду. При выполнении какого условия центр масс системы будет находиться в самом низком положении?

3. Как найти высоту многоэтажного дома, используя термометр и секундомер?

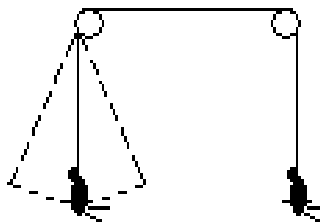
4. На каком участке оборвется нить?



5. Укажите два способа взвешивания на неточных (неравноплечих) чашечных весах без предварительного уравнивания.

6. Двое качелей подвешены на одной веревке, переброшенной через свободно вращающиеся блоки.

Если на качели посадить двух одинаковых мальчиков, и один будет раскачиваться, останутся ли на одном уровне качели другого?



## **Динамика. Закон сохранения энергии.**

### **Графический смысл работы**

6.1. Оценить, можно ли было рассчитывать обнаружить предполагаемый эффект изменения веса песочных часов при перетекании песка, описанный в задаче «занятие 5, разминка, № 2», с помощью весов с точностью  $10^{-2}$  г. Примите массу песка равной 15 г, высоту одного сегмента часов – 3 см.

6.2. Через неподвижное, горизонтально закрепленное бревно переброшена веревка. Для того, чтобы удерживать груз массы  $m = 6$  кг, подвешенный на этой веревке, необходимо тянуть второй конец веревки с минимальной силой  $F_1 = 40$  Н. С какой минимальной силой  $F_2$  надо тянуть веревку, чтобы груз начал подниматься?

6.3. Кирпич падает с высоты 1 м на теннисный мячик и подскакивает практически на ту же высоту. На какую высоту подскакивает мячик?

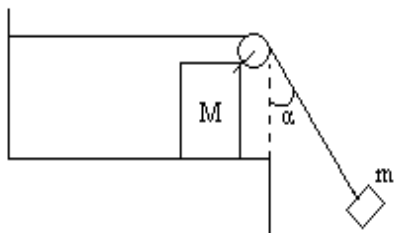
6.4. Для того, чтобы вытащить целую пробку из бутылки, нужно совершить работу 2 Дж. Какую работу нужно совершить, чтобы откупорить бутылку, у которой отломалась и выкрошилась верхняя половина пробки? Пробку считать невесомой.

## Дома

1. Студент ездит из дома в университет по кольцевой линии метро. Время прихода на станцию немного отличается в разные дни, будем считать, что время прихода совершенно случайно. Казалось бы, число дней, когда первым будет приходить поезд, идущий по часовой и дней, когда первым приходит поезд идущий против часовой, должно быть одинаково. На

деле студент обнаружил, что первые приходят в два раза реже. Он стал ездить с другой станции, расположенной дальше от дома и обнаружил, что нужные поезда приходят первыми в три раза чаще. Как такое возможно?

2. В механической системе, изображенной на рисунке, брусок массой  $M$  может скользить по рельсам без трения. В начальный момент подвешенный на нити груз отводят на угол  $\alpha$  от вертикали и отпускают. Какова масса  $m$  этого груза, если угол образуемый нитью с вертикалью, не меняется при движении системы?



## Занятие 7

### Разминка

1. Два автомобиля имеют одинаковую мощность. Максимальная скорость первого  $v_1$  км/ч, второго  $v_2$  км/ч. Какую максимальную скорость смогут развить автомобили, если один возьмет на буксир другой?

2. В фургоне находятся арбуз и воздушный шарик, наполненный водородом. Куда отклонятся арбуз и шарик при торможении?

3. Тепловоз везет вагоны по горизонтальным рельсам. Согласно третьему закону Ньютона сила тяги  $F_{\text{тяги}}$ , развиваемая при равномерном движении в точности равна силе трения  $F_{\text{трения}}$  между ведущими колесами тепловоза и рельсами:

$$F_{\text{тяги}} = F_{\text{трения}} = k_1 P_1,$$

где  $k_1$  – коэффициент трения колес тепловоза о рельсы,  $P_1$  – вес тепловоза. Также на основании третьего закона Ньютона при равномерном движении сила тяги должна быть равна той силе, против которой локомотив производит работу, т.е. силе трения колес вагонов о рельсы:

$$F_{\text{тяги}} = k_2 P_2,$$

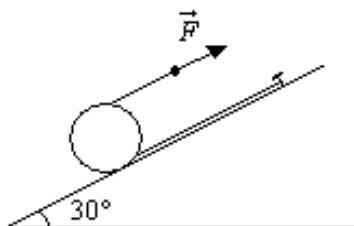
где  $P_2$  – общий вес всех вагонов. Т.о.,  $k_1 P_1 = k_2 P_2$ , сокращая  $k_1 = k_2$  (трение стали о сталь). Получим



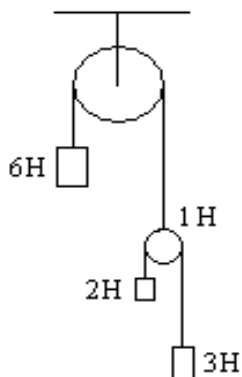
явную нелепость  $P_1 = P_2$ , т.е. вес тепловоза равен весу вагонов?!

4. Как найти объем комнаты с помощью ниток, часов и пластилина?

5. Какой выигрыш в силе получают при таком подъеме?



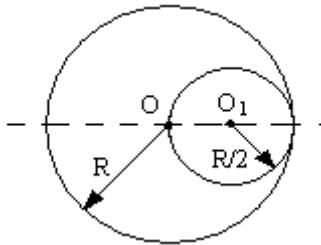
6. Малый блок заклинен. Система неподвижна. Что произойдет если, если освободить малый блок?



## Метод отрицательных масс

7.1. В сфере массы  $M$  и радиуса  $R$  имеется отверстие площади  $S$  ( $S$  много меньше площади поверхности сферы). Внутри сферы на расстоянии  $r$  от отверстия находится тело массы  $m$ . Найти силу взаимодействия тела со сферой.

7.2. Определить положение центра масс. Масса



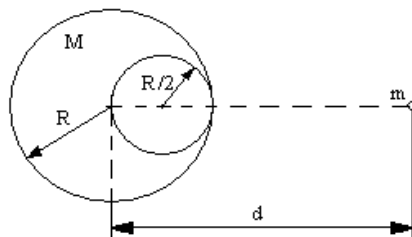
диска  $M$ .

7.3. Планета имеет плотность вещества  $\rho$ . В теле планеты имеется полость, центр которой смещен относительно центра планеты на расстояние  $l$ . Найти ускорение свободного падения в полости.

7.4. Из куска тонкой стальной ленты ширины  $d$ , в которой пробито небольшое отверстие радиуса  $r$ , сделали обруч и поставили его на стол так, что отверстие оказалось внизу. Обруч немного сместили и предоставили самому себе. Чему равна максимальная скорость качения обруча?

## Дома

1. Найдите силу притяжения маленького шарика массы  $m$  и большого однородного шара массы  $M$ , в котором имеется сферическая полость (см. рисунок).



2. В воде имеется пузырек воздуха радиуса  $r$  и железный шарик того же радиуса. Будут ли они притягиваться друг к другу или отталкиваться? Какова величина силы взаимодействия между ними? Расстояние между центрами радиуса шарика и пузырька равно  $R$ .

## Занятие 8

### Разминка

1. Солнце действует на любую точку на земной поверхности сильнее, чем Луна, а между тем явление приливов и отливов вызывается главным образом действием Луны, а не Солнца. Почему?

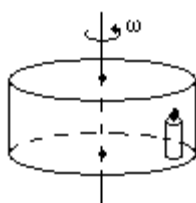
2. Принимая во внимание работу силы тяготения, указать, в какой точке траектории планеты скорость

планеты будет максимальной и в какой минимальной?

3. Как изменяется со временем скорость искусственного спутника Земли при движении его в верхних слоях атмосферы?

4. По круговой орбите на небольшом расстоянии друг от друга в одном направлении движутся два спутника. С первого спутника на второй нужно перебросить контейнер. В каком случае контейнер быстрее достигнет второго спутника: если его бросить по движению первого спутника или против движения? Скорость контейнера относительно спутника и много меньше скорости спутника  $v$ .

5. Куда отклонится пламя свечи при вращении?



6. Что тяжелее, тонна стали или тонна дерева?

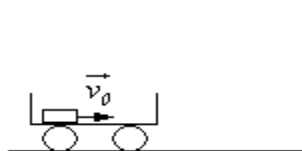
7. Цепочка подвешена обоими концами к потолку. К тем же точкам прикреплены два одинаковых, соединенных шарниром стержня, общая длина

которых равна длине цепочки. У какой из систем центр масс расположен ниже?

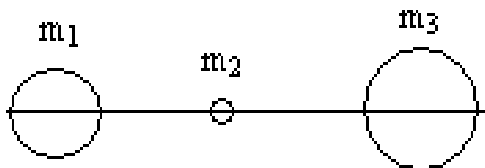
## Законы сохранения

8.1. Снаряд в верхней точке траектории разрывается на два одинаковых осколка, один из которых падает на землю в точке выстрела. На каком расстоянии от точки выстрела упадет на землю второй осколок, если разрыв снаряда произошел от этой точки на расстоянии  $l$  по горизонтали?

8.2. Одинаковые грузы положили в одинаковые тележки, одна из которых имеет гладкое, а другая шероховатое дно. Грузам толчком придали одинаковые скорости вправо. Далеко от тележек справа находится стенка. Считая, что грузы о тележки ударяются упруго, определите, какая из тележек придет к стенке раньше.



8.3. Три тела с массами  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$  могут скользить вдоль горизонтальной прямой без трения, причем  $m_1 \gg m_2$ ,  $m_3 \gg m_2$ . Определить максимальные скорости двух крайних тел, если в начальный момент они покоились,



среднее тело имело скорость  $\vec{v}$ ,. Удары считать абсолютно упругими.

8.4. Где находится центр тяжести тонкой однородной проволоки, согнутой в виде полуокружности радиуса  $R$ ?

### **Дома**

1. Человек массой  $m$  переходит с носа на корму лодки массой  $M$  и длины  $l$ . Чему равно смещение лодки относительно берега?

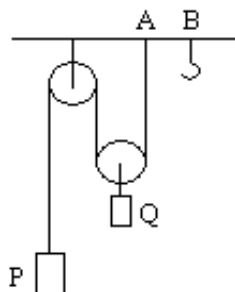
2. Лягушка массой  $m$  прыгает под углом  $\alpha$  вдоль доски массой  $M$  и длиной  $l$ . При какой скорости прыжка лягушка попадет точно на противоположный конец доски?

## **Занятие 9**

### **Разминка**

1. На тонкой бечевке подвесили гирю, сила тяжести которой немного меньше предела прочности бечевки. Бечевка остается целой. Затем бечевку натягивают горизонтально между стойками штатива и к ее середине подвешивают ту же гирю. Бечевка обрывается. Почему?

2. Сохранится ли равновесие, если конец нити перенести с т. А на т. В?



3. На земле прыгун в высоту берет 2.3 м. Сколько он возьмет на Луне, где ускорение свободного падения в 6 раз меньше?

4. Две одинаковые тележки, на которых находятся два одинаковых дворника, движутся по инерции с одинаковыми скоростями параллельно друг другу. В некоторый момент на тележки начинает падать снег равномерным потоком. Один из дворников все время сбрасывает снег вбок, а на другой тележке дворник спит. Какая из тележек быстрее пройдет одно и то же расстояние?

5. Почему мокрый шпагат легче разорвать, чем сухой?

## Графический смысл работы.

### Законы сохранения

9.1. Оконную штору массой  $m = 2$  кг, длиной  $l = 2$  м, шириной  $h = 4$  м: а) Свертывают в тонкий валик наверху окна; б) отодвигают по карнизу на одну сторону окна. Коэффициент трения шторы о карниз  $\mu = 0.25$ . Найти работу, совершаемую в каждом случае.

9.2. Какую минимальную работу нужно совершить, чтобы переместить удава массой  $M$  и длиной  $l$  из начального положения в конечное?



9.3. На нити длиной  $l$  висит не раскачиваясь груз массы  $M$ . Верхний конец нити начинают двигать в горизонтальном направлении с постоянной скоростью. Найти эту скорость, если известно, что



максимальное отклонение груза соответствует положению нити под углом  $\alpha = 45^\circ$  к вертикали.

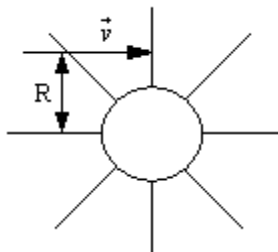
9.4. По горизонтальной трубе с помощью насоса перекачивается жидкость. Во сколько раз нужно увеличить мощность насоса для того, чтобы за то же время количество перекачиваемой жидкости возросло в  $n$  раз? Трение не учитывать.

9.5. В сосуде имеются две несмешивающиеся жидкости с плотностями  $\rho_1$  и  $\rho_2$ ; толщины слоев этих жидкостей  $d_1$  и  $d_2$ . С поверхности жидкости в сосуд опускают маленькое обтекаемое тело, которое достигает дна как раз в тот момент, когда его скорость становится равной нулю. Какова плотность материала тела?

## Дома

1. Математический маятник отклонили на  $90^\circ$  от вертикали и отпустили. В тот момент, когда маятник проходил положение равновесия, точка его подвеса стала двигаться вверх с ускорением  $\vec{a}$ . На какой максимальный угол отклонится маятник от вертикали?

2. Колесо водяной мельницы с плоскими радиальными

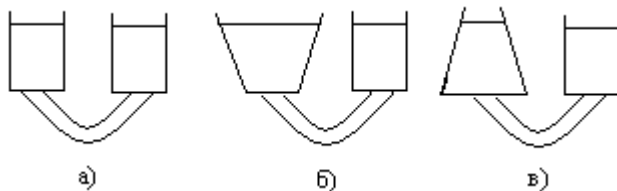


лопастями приводится во вращение ударом струи воды, направленной перпендикулярно лопастям. При какой угловой скорости вращения колеса КПД будет максимальным, если скорость воды в струе  $V$  и струя попадает в лопасть на расстоянии  $R$  от оси вращения колеса?

## Занятие 10

### Разминка

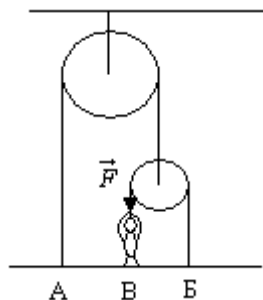
1. Нарушится ли равновесие, если нагреть левый



стакан?

2. Пластмассовый брусок плавает на поверхности воды. Как измениться глубина погружения бруска в воду, если поверх воды налить слой масла, полностью покрывающий брусок?
3. В лифте находится ведро с водой, в котором плавает мяч. Как изменится глубина погружения мяча, если лифт движется с ускорением  $\vec{a}$  вверх, вниз?
4. В воде на некоторой глубине плавает шар. Вернется ли на прежнюю глубину, если его погрузить ниже и отпустить?
5. Чтобы удержать доску в равновесии, человек

прикладывает к веревке силу  $F = 150$  Н. Каков вес человека? Весом доски, блоков и веревки пренебречь. Равны ли АВ и ВБ?

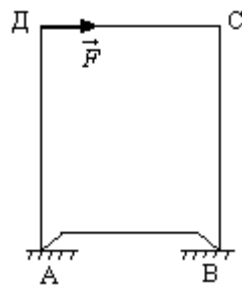


6. Необходимо расставить стаканы так, чтобы пустые и полные чередовались. Брать можно только один стакан.

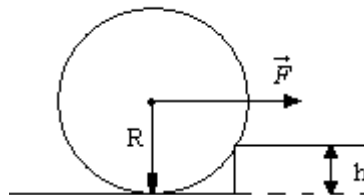


### Условия равновесия

10.1. Шкаф массы  $m = 30$  кг опирается ножками на платформы двух весов. В т. Д приложена горизонтальная сила  $F = 60$  Н. Каковы показания весов, если  $AB = 1.2$  м,  $AD = 2$  м? Центр тяжести шкафа находится на пересечении  $AC$  с  $BD$ .



10.2. Однородный шар радиусом  $R$  и массой  $m$  находится перед ступенькой высотой  $h$  ( $h \ll R$ ). Какую минимальную горизонтально направленную силу  $F$



нужно приложить к центру шара, чтобы он поднялся на ступеньку? К этой задаче даются три ответа, один из которых верный. Найти его, не решая задачу.

$$\text{а) } F = mg \frac{\sqrt{h(2R-h)}}{R-h} ; \quad \text{б) } F = mg \frac{\sqrt{h(2R-h)}}{R} ;$$

$$\text{в) } F = mg \frac{2R-h}{R-h} .$$

10.3. Решить «на прямую» предыдущую задачу.

10.4. Колесо радиуса  $R$  и массы  $m$  стоит перед ступенькой высоты  $h < R$ . Какой наименьшей силой  $F$ , приложенной к оси колеса, можно вкатить его на ступеньку? Как должна быть направлена эта сила?

10.5. Однородный шар радиуса  $R$  и массы  $m$  подвешен на нити, конец которой закреплен на гладкой вертикальной стене. Найти силу натяжения нити и силу давления шара на стену, если длина нити  $l$ .

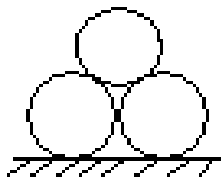
10.6. Однородный шар подвесили на нити, конец которой закреплен на вертикальной стене. Каков должен быть коэффициент трения между шаром и стеной, чтобы точка крепления нити к шару и центр шара находились на одной вертикали? Радиус шара  $R$ , длина нити  $l$ .



10.7. Катушка за намотанную на нее нить подвешена около стены. Масса катушки  $m$ , малый ее радиус  $r$ ,

большой  $R$ , коэффициент трения катушки о стену  $\mu$ . При каком наименьшем угле  $\alpha$  катушка не будет скользить по стене? Какова при этом сила натяжения нити?

10.8. Три одинаковых однородных цилиндра, оси которых параллельны, соприкасаются друг с другом по образующим. Два цилиндра лежат на горизонтальной плоскости, третий покоится на них. При каком минимальном коэффициенте трения между цилиндрами и плоскостью цилиндры не будут расходиться?



10.9. На земле лежат вплотную друг к другу два одинаковых бревна цилиндрической формы. Сверху между ними кладут такое же бревно. При каком коэффициенте трения между бревнами они не раскатятся? По земле бревна не скользят.

10.10. К водопроводному крану с помощью резиновой трубки присоединена стеклянная трубка длиной  $l = 100$  см, оканчивающаяся коротким прямоугольным коленом. На какой угол  $\alpha$  от вертикали отклониться трубка, если из нее будет вытекать вода со скоростью  $v = 200$  см/с? Масса

трубки  $m = 80$  г, площадь ее внутреннего поперечного сечения  $S = 30$  мм<sup>2</sup>.

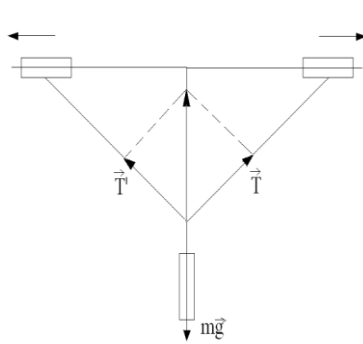
## Дома

1. На горизонтальной плоскости лежит однородный куб массы  $m$ . К верхней грани куба прикладывают медленно увеличивающуюся горизонтальную силу  $F$ . Каков должен быть коэффициент трения между кубом и плоскостью, чтобы куб опрокинулся, повернувшись вокруг неподвижного ребра? При какой величине силы это произойдет?
2. Какой минимальной силой  $F_{\min}$  можно опрокинуть через неподвижное ребро однородный куб, находящийся на горизонтальной плоскости? Каков должен быть при этом минимальный коэффициент трения  $\mu_{\min}$  между кубом и плоскостью? Масса куба  $m$ .

## Занятие 11

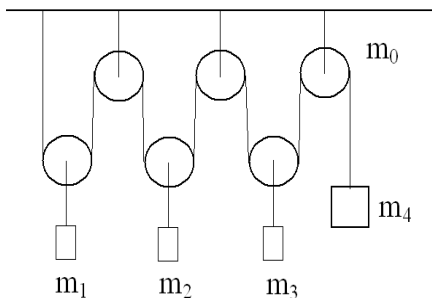
### Разминка

1. Концы нити прикреплены к двум муфтам, способным перемещаться по



горизонтальной направляющей. К середине нити прикрепили небольшой груз и раздвигают муфты. Когда нить будет горизонтальна, сила натяжения станет неограниченно велика! Получается, что с помощью такого устройства можно разорвать любой трос? Или просто можно разорвать любые горизонтальные веревки, подвешивая к их середине небольшие грузы?

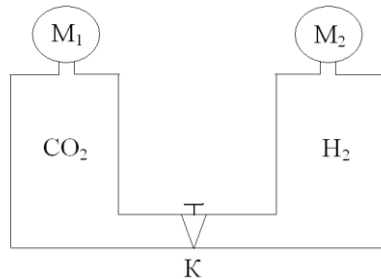
2. В системе, изображенной на рисунке, масса самого правого груза равна  $m_4 = 1$  кг, а массы всех блоков одинаковы и равны  $m_0 = 300$  г. Система уравновешена и неподвижна. Найдите массы грузов  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$ . Массой троса и трением в блоках пренебречь.



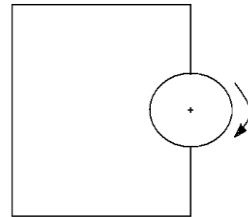
3. В цилиндрическом сосуде с водой плавает кусок льда. Как изменится уровень воды в сосуде, когда лед растает? Ответить на этот вопрос, когда внутри находится кусок свинца, когда внутри находится кусок дерева.
4. В цилиндрическом сосуде плавает деревянный брусок, под которым находится тонкий резиновый шар, наполненный водородом. Как изменится уровень воды в сосуде, если шар всплывет и улетит? Весом шара пренебречь.



5. Манометры показывают одинаковые давления. В какую сторону будет перетекать газ, если открыть кран К? Что произойдет, если опыт провести, повернув сосуд манометра вниз?

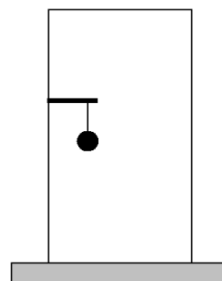


6. На рисунке представлен проект вечного двигателя. Деревянный цилиндр на оси встроен в сосуд с водой. По мнению автора проекта, на левую половину цилиндра будет действовать выталкивающая сила, которая заставит цилиндр вращаться. В чем ошибка?



## Гидро- и аэростатика

11.1. Шарик подвешен в высоком сосуде на легкой нити, как показано на рисунке. После того как сосуд заполнился водой, и шарик оказался полностью погруженным в воду, натяжение нити не изменилось. Определить плотность материала, из которого изготовлен шарик.

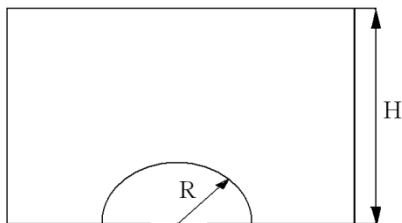


11.2. Тонкий цилиндрический стакан массой  $m = 50$  г ставят вверх дном на поверхность воды и медленно погружают так, что он все время остается в вертикальном положении. Высота стакана  $h = 10$  см, площадь дна  $S = 20$  см<sup>2</sup>. на какую минимальную глубину  $H$  надо опустить стакан, чтобы он утонул?

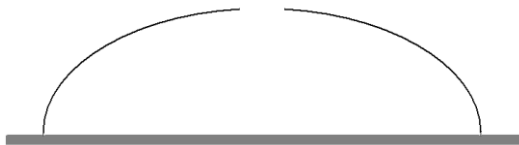
Атмосферное давление  $p_0$ , давлением паров воды в

стакане и толщиной его стенок пренебречь, температуру воды считать постоянной.

11.3. Отверстие в горизонтальном дне сосуда закрыто легким полусферическим колпачком радиуса  $R$ . Сосуд наполнен жидкостью плотности  $\rho$ . Дно находится на глубине  $H$ . Найдите силу, с которой колпачок давит на дно сосуда.



11.4. В полусферический колокол, плотно лежащий на столе, наливают через отверстие вверху воду. Когда вода доходит до отверстия, она приподнимает колокол и начинает вытекать снизу. Найдите массу колокола, если его радиус  $R$ , а плотность воды  $\rho$ .



11.5. Герметично закрытый бак высотой 3 м заполнен водой так, что на его дне находятся два одинаковых

пузырька воздуха. Давление на дне бака 0,15 МПа. Каким станет давление на дне бака, если всплывет один пузырек? Два пузырька?

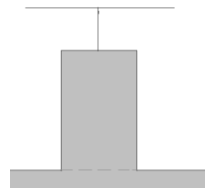
## Дома

1. На коже человека, вышедшего из воды после купания, осталось около 200 г воды. Оцените, какой процент веса Дюймовочки ростом 2,5 см составит вода после купания. Что на основе решения этой задачи можно сказать о свойствах смачивания поверхности тел маленьких существ, имеющих по ходу своей жизни контакт с водой?
2. Какую максимальную работу  $A_{\max}$  можно получить от циклически действующей машины, нагревателем в которой служит масса  $m_1 = 1$  кг воды при начальной температуре  $T_1 = 373$  К, а холодильником  $m_2 = 1$  кг льда при температуре  $T_2 = 273$  К, к моменту, когда весь лед растает? Чему будет равна температура  $T$  воды в этот момент?  
Удельная теплота плавления льда  $q = 335$  кДж/кг, удельная теплоемкость воды равна  $c = 4200$  Дж/(кг К), зависимостью теплоемкости воды от температуры пренебречь.

## Занятие 12

### Разминка

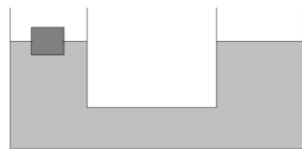
1. Перевернутый стакан наполнен водой и подвешен на нити. Кромка стакана касается воды. Вес стакана  $P$ , а вес воды в нем  $P'$ . Какого натяжение нити? Толщиной стенок стакана пренебречь.



2. На весах уравновешен стакан с водой. Нарушится ли равновесие, если опустить в стакан с водой палец?

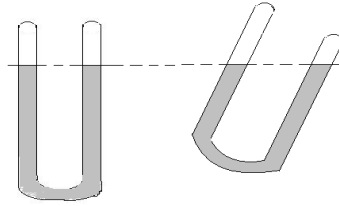


3. В одном из сообщающихся сосудов на поверхности находится деревянный брусок. Совпадают ли уровни воды в сосудах?



4. Изменится ли осадка теплохода, прошедшего из северных вод в экваториальные, вследствие изменения ускорения свободного падения с широтой?

5. В обоих случаях жидкость на одном уровне. Когда это возможно?



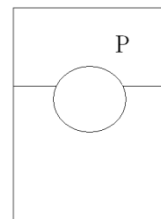
6. В изогнутой трубке более короткое колено затянута очень тонкой и мягкой непроницаемой пленкой. Трубка накачена водородом. Какое положение займет пленка?



7. Сохранится ли равновесие, если нитку удлинить так, чтобы тело целиком погрузилось в воду?



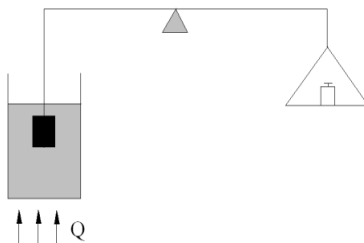
8. В герметичный сосуд налита вода, в ней плавает деревянный шар. Давление воздуха в сосуде увеличили в два раза до  $2P$ . Как изменится глубина погружения шара?



9. В стакане, наполненном до краев водой, плавает кусок льда, перельется ли вода через край, когда лед растает? Что произойдет, если в

стакане находиться не вода, а жидкость более плотная или менее плотная?

10. Уравновешенную систему нагревают снизу. Нарушится ли равновесие при нагреве?



### Теплота. Молекулярная физика.

12.1. Камера заполнена воздухом. Температура ее станок равна  $T$ . На дне камеры имеется малое количество воды. Давление в камере  $P$ , объем ее  $V_1$ . Состояние системы равновесное. Объем камеры начали медленно увеличивать, сохраняя неизменной температуру стенок. Как только объем камеры удвоился ( $V_2 = 2V_1$ ), вода на дне полностью исчезла. Определите температуру сосуда, если начальное давление  $P_1 = 3$  атм, конечное  $P_2 = 2$  атм. Каким станет давление в камере  $P_3$ , если еще раз удвоить объем ( $V_3 = 4V_1$ )?

12.2. В 1918 году немцы впервые применили над Лондоном дирижабль с гелием. Узнав об этом, один физик сказал: «Гелий вдвое тяжелее водорода, следовательно, подъемная сила должна

уменьшится вдвое». На самом деле подъемная сила почти не меняется. Почему?

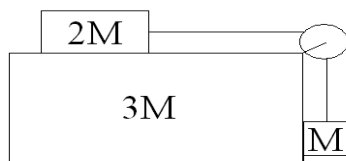
12.3. Почему молоко «убегает» при кипячении? В кастрюле глубиной 10 см и объемом 1 л нагревают на плите 100 г молока. Температура молока поднялась от  $85^{\circ}\text{C}$  до  $95^{\circ}\text{C}$  за 5 минут. Через какое время молоко «убежит»?

12.4. Кастрюлю, в которую налит 1 л воды, никак не удается довести до кипения при помощи нагревателя мощностью 100 Вт. Определить, за какое время вода остынет на  $1^{\circ}\text{C}$ , если отключить нагреватель.

12.5. Оболочка космической станции представляет собой зачерненную сферу, температура которой в результате работы аппаратуры внутри станции поддерживается равной 500 К. Какой будет эта температура, если станцию окружить тонким черным сферическим экраном почти такого же радиуса, как и ее оболочка?

## Дома

1. В показанной на рисунке системе трение есть между большим телом и горизонтальной поверхностью стола, а также между большим телом и верхним грузом. Обозначим коэффициент трения наверху  $\mu_2$ , а внизу  $\mu_1$ . При каких





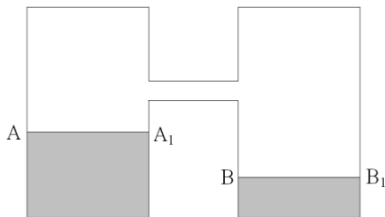
значениях коэффициента трения большое тело может оставаться неподвижным?

2. Двум одинаковым шарикам, один из которых висит на нити, а другой лежит на горизонтальной поверхности, сообщили одинаковые количества теплоты  $Q$ . Какой будет разность температур шариков, если их начальные температуры равны, а потерями тепла можно пренебречь? Все необходимые для определения разности температур величины введите сами.

## Занятие 13

### Разминка

1. Будут ли выравниваться уровни жидкости в двух частях герметичного сосуда? Кажется бы, в обеих частях (на уровне  $AA_1$  и уровне  $BB_1$ ) есть равновесие между жидкостью и ее паром.



2. Все тела падают на землю. Облака состоят из мелких капель воды. Значит, облака должны падать на землю. Однако никому не удалось наблюдать, чтобы облако

опускалось, когда–нибудь достигло земли.  
Почему?

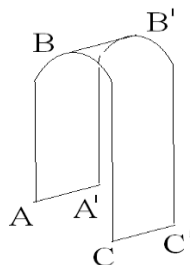
3. При какой температуре, положительной или отрицательной, растут сосульки?
4. Какие дождевые капли падают быстрее – крупные или мелкие?
5. Почему под густым деревом обычно не бывает росы?
6. В капилляре находится капля смачивающей стенки капилляра жидкости. Один из концов столбика жидкости нагревают. Куда будет он перемещаться?



7. Почему на поверхности керосина не бывает мыльной пленки?
8. Двумя одинаковыми пипетками набирают холодную и горячую воду. Изкакой выйдет больше капель?
9. Собиратели устриц набирают в рот масло и, чтобы выйти на берег, выпускают его изо рта. Почему?
10. Из тонкой проволоки изготовлена подковообразная рамка. Если образовать на ней мыльную пленку, то силы натяжения, действующие на рамку на участках  $ABC$  и  $A'B'C'$ , будут горизонтальны и взаимно компенсируются, а силы, действующие на рамку на участках  $AA'$  и  $CC'$  будут направлены вверх,



из чего следует, что если рамка достаточно мягкая, она полетит! Так ли это?



## Молекулярная физика. Поверхностное натяжение.

13.1. При относительной влажности воздуха  $r_1 = 50\%$  вода в блюде испарилась за  $\tau_1 = 40$  мин. За какое время испариться вода при  $r_2 = 80\%$  ?

13.2. Два сосуда одинакового объема соединены трубками. Диаметр одной из трубок велик, а другой мал по сравнению со средней длиной свободного пробега молекул газа, находящегося в сосудах. Первый сосуд поддерживается при температуре  $T$ , а второй при температуре  $4T$ . В каком будет перетекать газ по узкой трубке, если перекрыть широкую трубку? Какая масса газа перейдет при этом из одного сосуда в другой, если общая масса газа в обоих сосудах равна  $M$ ?

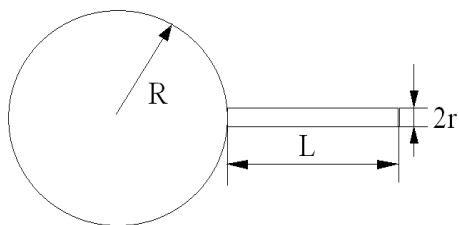
13.3. Теплоизолированная полость небольшими (по сравнению со средней длиной свободного пробега молекул) одинаковыми отверстиями соединена с двумя объемами, содержащими газообразный гелий. Давления в этих объемах поддерживаются одинаковыми и равными  $P$ , а температуры поддерживаются равными в одном из объемов  $T$ , а в другом  $2T$ . Найдите установившееся давление и температуру внутри полости.

|        |           |         |
|--------|-----------|---------|
| $p, T$ | $p_0 - ?$ | $p, 2T$ |
| 1      | $T_0 - ?$ | 2       |

13.4. При заполнении открытого сосуда Дьюара жидким азотом, температура кипения которого при нормальном атмосферном давлении равна  $T_a$ , оказалось, что за единицу времени испаряется масса  $M_a$  азота. Какая масса газа испаряется из того же сосуда за единицу времени, если его заполнить жидким водородом, температура кипения которого равна  $T_b$ ? Температура окружающей среды в обоих случаях равна  $T_0$ . Удельные теплоты парообразования азота и водорода соответственно равны  $q_a$  и  $q_b$ .

13.5. Мыльный пузырь выдут через цилиндрическую трубку с внутренним радиусом  $r = 1$  мм и длиной  $L = 10$  см. в тот момент,

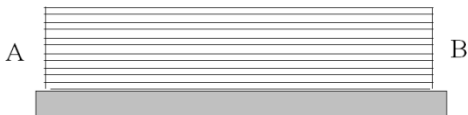
когда радиус пузыря достигает значения  $R_0 = 10$  см, перестают дуть, и воздух из пузыря начинает выходить



через трубку. Через какое время, начиная с этого момента, пузырь исчезнет? Поверхностное натяжение мыльного раствора  $\alpha = 50$  дин/см, вязкость воздуха  $\eta = 1,8 \cdot 10^{-4}$  дин\*с/см<sup>2</sup>. Изменением плотности воздуха во время процесса пренебречь.

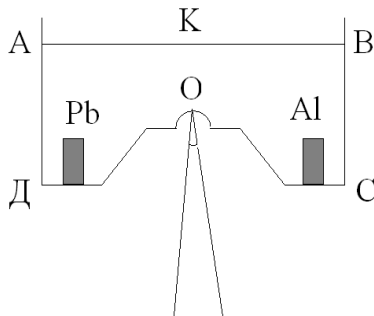
13.6. В закрытый сосуд объемом  $V$ , содержащий насыщенный пар некоторой жидкости при температуре  $T$  и давлении  $p_0$ , помещена сферическая капля той же жидкости при температуре  $T$ . При каком минимальном радиусе капли система будет находиться в равновесии? Коэффициент поверхностного натяжения жидкости равен  $\alpha$ , ее плотность  $\rho_{\text{ж}}$ , молекулярная масса  $\mu$ . Считать, что насыщенный пар подчиняется уравнению состояния идеального газа.

13.7. Листы бумаги, сложенные как показано на рисунке, склеивают свободными концами через лист таким образом, что получаются две самостоятельные кипы А и В. Вес каждого листа  $0,06\text{ Н}$ , число всех листов  $200$ , коэффициент трения бумаги о бумагу, а также о стол, равен  $0,2$ . Предполагая, что одна из кип удерживается неподвижно, определить наименьшее горизонтальное усилие, необходимое для того, чтобы вытащить вторую кипу.



## Дома




1. Симметричный относительно вертикальной плоскости ОК сосуд ABCD наполнен водой и опирается о ребро неподвижной призмы. В правую часть сосуда опустили кусочек алюминия массой  $0,5\text{ кг}$ , а в левую кусок свинца массой  $0,4\text{ кг}$ . Какая часть сосуда перетянет?

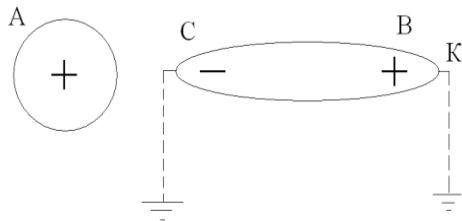


2. Две одинаковые большие и толстые медные пластины нагреты – одна до температуры  $+60^{\circ}\text{C}$ , а другая до температуры  $+20^{\circ}\text{C}$ . Пластины прижаты друг к другу. Их разделяет только тонкая керамическая пластинка. За два часа разность температур между пластинами уменьшилась на 1%. Если заменить керамику простым стеклом той же толщины, то за два часа разность температур уменьшится на 2%. За какое время разность температур уменьшится на 1%, если медные пластины отделить друг от друга сложенными вплотную листами керамики и стекла. Считать, что тепло перетекает только через теплоизолирующие пластины.

## Занятие 14

### Разминка

1. Двум одинаковым проводящим шарам, расположенным на небольшом расстоянии друг от друга сообщены одинаковые по модулю заряды. В каком случае сила взаимодействия между шарами больше, если их заряды одноименные, или разноименные?
2. Между двумя одинаковыми по модулю разноименными точечными зарядами поместили стержень из диэлектрика. Как измениться при этом сила, действующая на    положительный заряд?
3. Неподалеку друг от друга расположены два проводящих шара. Один из них заряжен положительно. Измерения показывают, что сила кулоновского взаимодействия шаров равна нулю. Заряжен ли второй шар?
4. Если в поле положительно заряженного проводника А находится изолированный проводник В, то на нем индуцируются заряды, как показано на рисунке. Если в т. К заземлить проводник, то он заряжается отрицательно,

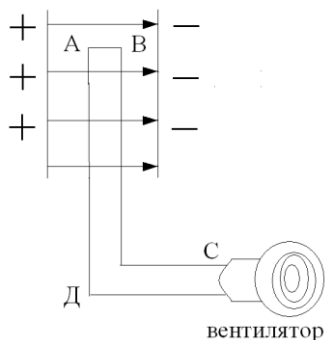




так как положительные заряды уходят в землю. Поэтому следует ожидать, что если заземлить проводник в т. С, то электроны уйдут в землю, и проводник зарядится положительно. На деле в обоих случаях проводник заряжается отрицательно. Почему?

### 5. «Электростатический вечный двигатель»

Поле конденсатора перемещает заряды на участке АВ, а на других не перемещает!? Где ошибка в рассуждениях?

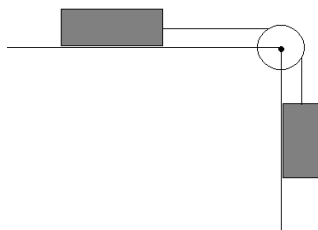


## Электростатика

14.1. С какой силой отталкиваются половинки проводящего шара радиуса  $R$ , которому сообщен заряд  $q$ ?

14.2. Проводящую сферу радиуса  $r$ , заряженную до потенциала  $\phi$ , окружили проводящей сферой радиуса  $R$  и соединили с этой сферой проводником. Чему будет равен после этого потенциал сферы?

14.3. Одинаковые металлические стержни массой  $m$  и длиной  $l$  соединены нерастяжимой непроводящей невесомой нитью, перекинутой через невесомый блок. Стол гладкий, трения в оси блока нет. Найти разность потенциалов между концами каждого из стержней.



14.4. Внутри области, охваченной проводящим шаровым слоем находится точечный заряд  $q$ . Изобразите картину силовых линий. Рассмотрите два случая: заряд находится в центре системы; заряд смещен из центра.

14.5. Грани правильного тетраэдра со стороной  $a$  равномерно заряжены с поверхностной плотностью  $\sigma$ . В центр тетраэдра помещен точечный заряд  $q$ . Найти силу, с которой точечный заряд действует на одну из граней тетраэдра.

### На дом

1. В рамках условия задачи 14.5, найти силу, с которой три грани отталкивают четвертую.
2. Однородный тяжелый канат, подвешенный за один конец, не рвется, если длина каната не

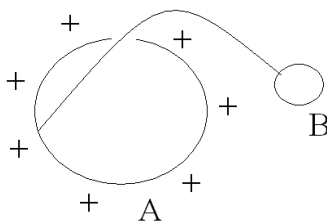
превышает значение  $l_0$ . Пусть канат выскользывает из горизонтально расположенной трубки с загнутым вниз под прямым углом концом. Найти максимальную длину каната, при которой он выскользнет из трубки не порвавшись. Трением и радиусом изгиба трубки пренебречь.

## Занятие 15

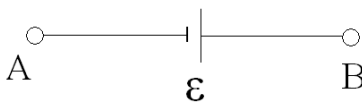
### Разминка

1. Электрон ускоряется в электрическом поле плоского конденсатора, следовательно, он приобретает кинетическую энергию. Но если конденсатор изолирован, то его энергия  $W = \frac{q^2}{2C}$  не изменяется. Откуда же взялась энергия у электрона?
2. Электрический ток в металлических проводниках представляет собой направленное движение свободных электронов. При своем движении электроны сталкиваются с ионами, из которых построена кристаллическая решетка металла, и отдают при этом ионам все то количество движения, которое они приобрели до соударения. Почему же металлический проводник, по которому идет ток, не испытывает действия механических сил в направлении движения электронов?

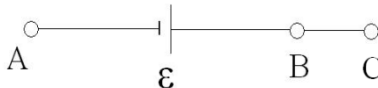
3. Полый металлический шар А, имеющий небольшое отверстие, заряжен положительно. Как известно, на внутренней поверхности этого шара заряды отсутствуют. Зарядится ли металлический шар В, если соединить его проволокой с внутренней поверхностью шара А?



4. К элементу с Э.Д.С.  $\varepsilon$  присоединены металлические шарики А и В радиусом  $r$  каждый. Найти их заряды, считая  $r \ll AB$ .



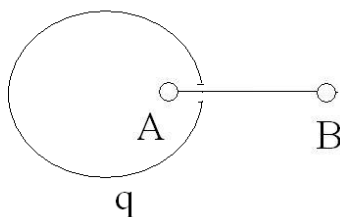
5. Шарики А, В и С присоединены к элементу с Э.Д.С.  $\varepsilon$ . Радиус каждого шарика равен  $r$ ,  $AB$  и  $BC \gg r$ . Найти заряды шариков.



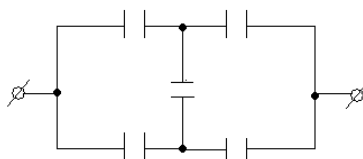
6. Металлическая сфера, имеющая небольшое отверстие, заряжена положительным зарядом  $q$ .

Металлические шарики А и В соединены проволокой и расположены, как показано на рисунке. Радиус сферы R, радиус каждого шарика r,

$AB \gg R$ . Найти заряды, индуцированные на шариках.



7. Найти емкость батареи одинаковых конденсаторов емкостями C.

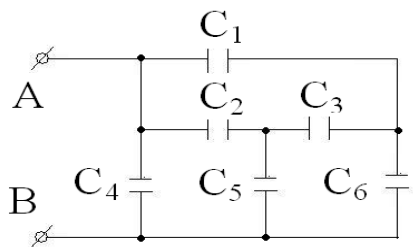


**Электричество. Эквипотенциальные точки. Токи в сплошной среде.**

15.1. Найти сопротивление проволочного куба при всех вариантах подключения к каким либо двум его

углам. Сопротивление одного проволочного звена равно  $R$ .

15.2. Найти емкость системы одинаковых конденсаторов. Емкость каждого конденсатора равна  $C$ .



15.3. Оборвавшийся провод вертикально воткнулся в землю (удельное сопротивление  $\rho$ ). По проводу течет ток  $I$ . Найдите шаговое напряжение, под которым оказался человек, одна ступня которого находится от точки соприкосновения провода с землей на расстоянии  $a$ , а другая – на расстоянии  $b$ .

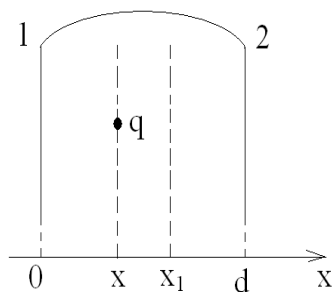
15.4. Точечный заряд  $q$  находится между двумя заземленными проводящими концентрическими сферами радиусами  $a$  и  $b$  на расстоянии  $r$  от центра ( $a < r < b$ ). Найти полные индуцированные на сферах заряды. Рассмотреть все возможные предельные случаи.

15.5. Проводя телефонные и железнодорожные линии, прокладывают лишь один провод, а в качестве второго используют землю. Сопротивление заземления оказывается небольшим (порядка десятков Ом) и не зависит от расстояния между пластинами заземления. Объясните данный факт.

Для простоты рассмотрения считайте, что в качестве заземляющих элементов взяты два одинаковых проводящих шара радиуса  $a$ , расположенных в однородной слабо проводящей среде с удельной электропроводностью  $\sigma$  на большом расстоянии друг от друга.

### Дома

1. Две большие проводящие пластины 1 и 2 расположены на расстоянии  $d$  друг от друга и соединены проводником. Между ними, на расстоянии  $x$  от пластины 1, находится точечный



заряд  $q$ . Какой заряд пройдет

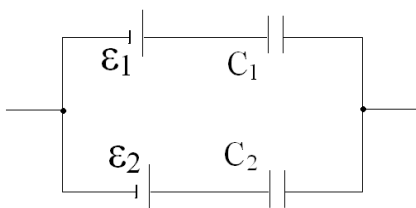
по проводнику, если заряд  $q$  переместить в точку, расположенную от пластины 1 на расстоянии  $x_1$ ?

- Решите задачу 15.3 для случая, когда неизолированный провод с током  $I$  и длиной  $L$  лежит на земле,  $a$  и  $b$  – кратчайшие расстояния ступней человека от провода.

## Занятие 16

### Разминка

- В цепи  $\varepsilon_1 = 1$  В,  $\varepsilon_2 = 2$  В,  $C_1 = 10$  мкФ,  $C_2 = 20$  мкФ. Найти заряд конденсатора  $C_2$ , зная, что заряд конденсатора  $C_1$  равен  $10^{-15}$  Кл.

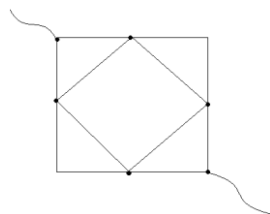


- Если уронить стальной шарик на морскую гальку, то он несколько раз подскочит. Иногда один из подскоков бывает выше предыдущего (но не выше той высоты, с которой шарик уронили). Нет ли здесь противоречия с законом сохранения энергии?
- Во сколько раз энергия равномерно заряженного по поверхности очень тонкого диэлектрического

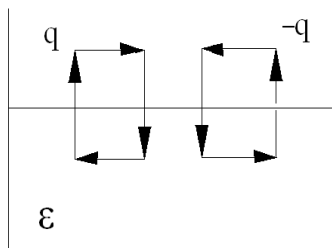


квадратного листа больше (или меньше) энергии того же листа, сложенного вчетверо так, что получился квадрат со стороной в два раза меньше первоначального?

4. Фигура на рисунке сделана из проволоки постоянного сечения. Сторона большего квадрата  $a$ , сопротивление  $1\text{ м}$  проволоки равно  $\rho$ . Найти сопротивление фигуры при подключении в указанных ну рисунке точках.



5. Взяв два разноименных заряда, сблизим их в воздухе, а затем одновременно опустим в воду и раздвинем их под водой. Снова поднимем в воздух в прежние положения и повторим процесс сначала. При этом работа, полученная при сближении, больше той, которая затрачивается при раздвигании, так как силы электрического взаимодействия в воздухе больше, чем в воде. Получен вечный двигатель первого рода? Где ошибка в рассуждениях?



## Электричество

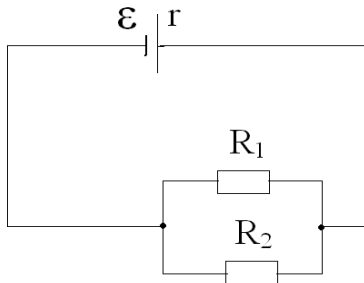
16.1. Равномерно заряженные тонкие грани правильного тетраэдра имеют одинаковый заряд. Чтобы сложить две грани тетраэдра вместе, нужно совершить работу  $A$ . Какую работу нужно совершить, чтобы сложить все грани тетраэдра в стопку?

16.2. Равномерно заряженные одинаковыми зарядами тонкие грани куба сложены в стопку. Если опустить верхнюю грань, то через большой интервал времени она приобретет скорость  $v$ . Какую скорость  $v'$  приобретут две верхние сцепленные между собой грани, если их отпустить?

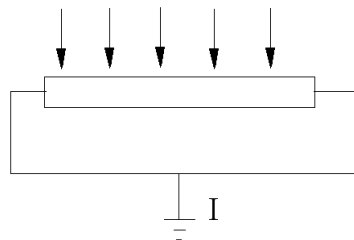
16.3. В доску в вершинах правильного шестиугольника вбиты шесть гвоздей. Все гвозди попарно соединены резисторами с сопротивлением  $R$ . Найдите сопротивление между двумя соседними гвоздями.

16.4. Каждая из  $N$  точек соединена с каждой из оставшихся одинаковыми проводниками с сопротивлением  $R$ . Определите сопротивление между какими-либо двумя точками системы.

16.5. Электрическая схема составлена из источника тока Э.Д.С.  $\varepsilon$  и внутренним сопротивлением  $r$ , и двух подключенных параллельно к источнику тока резисторов. Сопротивление одного  $R_1$ , а сопротивление второго  $R_2$  нужно подобрать так, чтобы выделяемая на этом резисторе мощность была максимальной. Найти  $R_2$ .



16.6. На однородный проводящий стержень, оба конца которого заземлены, падает пучок электронов, причем число электронов, приходящих на единицу длины стержня в единицу времени постоянно. Сопротивление стержня равно  $R$ , ток на участке заземления равен  $I$ . Найти разность потенциалов

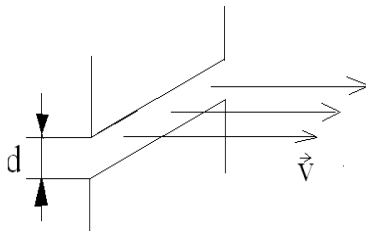


между серединой стержня и его концом.

## Дома

1. К большому металлическому листу поднесли параллельно ему две металлические пластинки, площади которых  $S_1$  и  $S_2$ . Они находятся на расстояниях  $d_1$  и  $d_2$  соответственно от плоскости листа. Какую емкость можно получить, присоединив провода к любым двум проводникам? Пластинки друг от друга находятся на очень большом расстоянии  $d_1$  и  $d_2$  много меньше размеров пластинок.

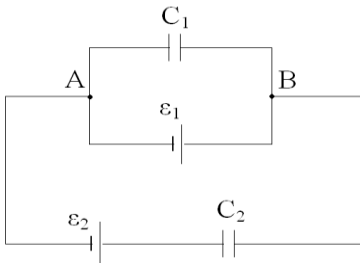
2. Направленный поток электронов вылетает из тонкой широкой щели со скоростью  $v = 10^5$  м/с. Концентрация электронов в потоке  $n = 10^{10}$  м<sup>-3</sup>. На каком расстоянии от щели толщина пучка увеличилась в 2 раза?



## Занятие 17

### Разминка

1. Каковы заряды конденсаторов в цепи?

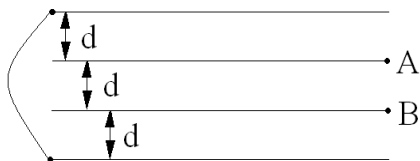


2. Если раскрутить волчок, изготовленный из консервной жести и поднести к нему магнит, то волчок отклонится от магнита. Почему?
3. Если между механическими часами и ухом разместить воздушный шарик, звук хода часов усилится. Почему?
4. У Вас есть пружинные весы на 200 Н, а нужно взвесить чемодан, который примерно в 1,5 раза тяжелее. Как это можно сделать?
5. Один из двух одинаковых сосудов, доверху наполненных теплой водой, поставили на лед, а на другой лед положили сверху. В каком из них вода остынет быстрее?

6. Провода подключены к однородному металлическому шару в диаметрально противоположных точках. В каком сечении шара при пропускании через него электрического тока выделяется больше тепла?
7. Вы располагаете полосовым магнитом и иглой. Как определить, намагничена ли иголка?

## Электричество

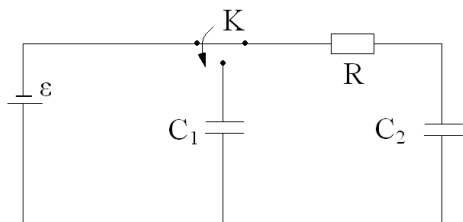
17.1. Четыре одинаковые металлические пластины расположены так, как показано на рисунке. Площадь каждой пластины  $S$ , расстояния между ними равны  $d$  ( $d$  много меньше размеров пластины). Крайние пластины соединены проводником. Найти емкость этой системы при подключении к точкам А и В.



17.2. Имеются три тонких коаксиальных металлических цилиндра. Малый цилиндр несет на себе заряд  $-q$ , два других несут на себе одинаковые заряды  $q/2$ . Большой и средний цилиндры соединяют тонкой проволокой. Найдите заряды цилиндров

после того, как процесс перераспределения зарядов закончится.

17.3. Найти количество теплоты, выделившееся на резисторе после переключения ключа К.



17.4. В однородном электрическом поле находится незаряженный металлический шар. При выключении поля в шаре выделилось количество тепла  $Q$ . Какое количество тепла выделилось бы в аналогичном случае в шаре втрое большего размера?

17.5. Незаряженная проводящая тонкостенная сферическая оболочка помещена в однородное электрическое поле. При напряженности поля  $E_0$  оболочка разрывается. При какой минимальной напряженности поля разорвется оболочка вдвое большего радиуса, имеющая ту же толщину стенок?

17.6. Имеются два проводника А и В произвольной формы. Первоначально на проводнике А имелся заряд  $Q$ , а проводник В не был заряжен. Проводники

приводят в соприкосновение, и на проводник В перетекает заряд  $q$ . Соприкасающимся проводникам сообщили дополнительно некоторый заряд  $q_x$ , и в результате на проводнике А оказался заряд  $q$ . Определите заряд  $q_x$ .

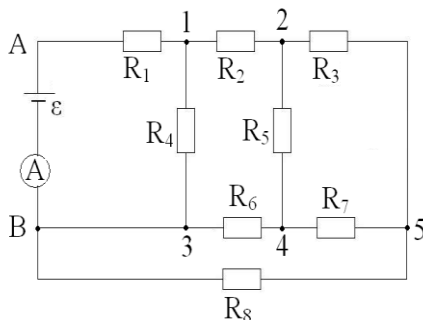
## Дома

1. Три небольших одинаковых незаряженных металлических шарика, находящихся в вакууме, расположены в вершинах правильного треугольника. Шарики поочередно по одному разу соединяют с бесконечно удаленным проводником, потенциал которого поддерживается постоянным. В результате, на первом шарике образуется заряд  $q_1 = 12$  мкКл, а на третьем  $q_3 = 3$  мкКл. Определить заряд второго шарика.

2. Сопротивление всех резисторов в электрической цепи, изображенной на рисунке,

одинаковы и равны  $R = 300$  Ом.

Включенный в цепь амперметр показывает ток





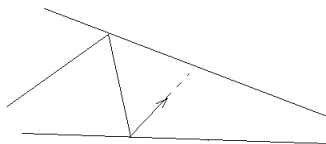
$I = 10$  мА. Найти Э.Д.С. батарейки. Сопротивлениями амперметра и батарейки можно пренебречь.

## Занятие 18

### Разминка

1. В зеркале наша правая и левая сторона меняются местами, а верх и низ остаются неизменными. Нет ли тут противоречия?

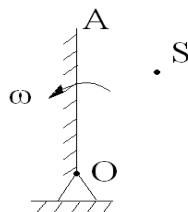
2. Правда ли, что коническая зеркальная труба позволит конденсировать пучок лучей с получением сколь угодно большой плотности светового потока?



3. Равен ли день ночи во время равноденствия? Астрономические вычисления показывают, что да. На деле (для наблюдателя на Земле) день длиннее. Почему?

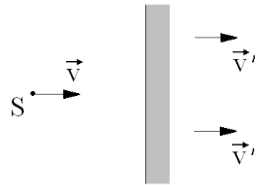
4. Луч света, проходя через плоскопараллельную пластину, смещается, оставаясь параллельным самому себе. Почему тогда мы не замечаем смещения предметов за окном?

5. Зеркало АВ вращается с угловой скоростью  $\omega$ . С

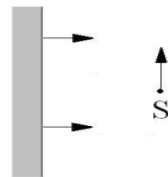


какой скоростью движется отражение точки  $S$ ?  
 Точка  $S$  неподвижна, расстояние  $OS = L$ .

6. Точка  $S$  движется со скоростью  $v$ , а зеркало, со скоростью  $v'$ . При каком значении  $v'$  отражение точки  $S$  будет неподвижным? Зеркало движется поступательно.

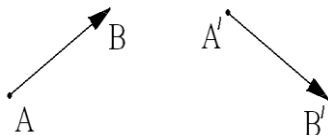


7. Точка  $S$  движется со скоростью  $3 \text{ см/с}$ , а зеркало со скоростью  $2 \text{ см/с}$ . С какой скоростью движется отражение точки  $S'$ ? Зеркало движется поступательно.

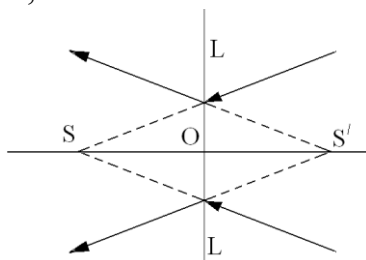


8. Собирающая линза дает изображение точечного источника света. Когда источник находится в точке  $A$ , его изображение получилось в точке  $B$ , а когда источник поместили в точку  $B$ , его изображение получилось в точке  $C$ . Совпадают ли точки  $A$  и  $C$ ?

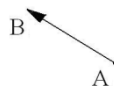
9. На рисунке представлены предмет  $AB$  и изображение  $A'B'$  в линзе. Определить положение линзы, ее оптический центр, фокусы линзы.



10. На рисунке показано, как линза  $LL$  преобразует падающие на нее лучи. Зная, что  $OS = 40$  см, а  $OS' = 60$  см, найти фокусное расстояние линзы.



11. Определите области пространства, находясь в которых можно видеть в зеркале изображение всего предмета  $AB$ , только верхней, только



нижней его части.

12. На линзу фотообъектива села муха. Как это отразится на качестве снимка?

13. Предметы, отстоящие от уличного фонаря на 10 м, освещаются им вчетверо слабее, чем

предметы, удаленные от него на 5 м. Однако с расстояния 10 м этот фонарь кажется столь же ярким, как и с расстояния 5 м. Почему?

14. Как будет ориентироваться относительно Солнца сферический спутник, одна половина которого зеркальная, а другая покрыта черными термобатареями?

### **Оптика**

18.1. Если смотреть на освещенную поверхность через широкое отверстие корпуса шариковой ручки, то вокруг узкого отверстия в корпусе видно несколько концентрических темных и светлых колец. Объясните, почему наблюдаются эти кольца.

18.2. На дне аквариума глубиной  $H$  лежит монета. Какова кажущаяся глубина нахождения монеты для наблюдателя, смотрящего на нее вертикально вниз?

18.3. На какой высоте кажется летящим над ним самолет наблюдателю, находящемуся в подвижной лодке, погружившейся на небольшую глубину, если реальная высота полета самолета 3 км?

18.4. На скалах Дувра расположена радиолокационная станция (РЛС), работающая на длине волны 5 м. С высоты 200 м она осуществляет обзор пролива Ла-Манш, над которым на расстоянии

20 км от станции на малых высотах летит армада самолетов. Одни из них четко видны на экране локатора РЛС, другие не видны совсем. Объяснить это явление. Найти высоты, при полете на которых самолеты будут четко фиксироваться РЛС в указанных условиях.

18.5. На каком максимальном расстоянии (вдоль поверхности океана) гидроакустик в подводной лодке, расположенной на глубине 500 м, может обнаружить приближающийся корабль? У поверхности океана скорость звука в воде равна 1500 м/с, а с глубиной, в связи с изменением температуры и плотности воды, уменьшается на 4 м/с каждые 100 м.

**Учебное издание**

Составитель

Милютин Игорь Владимирович

**ОЛИМПИАДНАЯ ФИЗИКА**

Сборник задач

*Авторская редакция*

Подписано в печать 11.09.20. Формат 60 x 84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Усл. печ. л. 4,88 Уч.-изд. л. 2,06

Тираж 20 экз. Заказ № 1461.

Типография Издательского центра

«Удмуртский университет»

426034, Ижевск, Университетская, д. 1, корп. 2

Тел. 68-57-18