1. Мощность в пространстве

11 класс

На изначально покоящийся на гладком горизонтальном столе брусок массы ш = 2 кг, начали действовать постоянной горизонтальной силой *F.* В результате была получена зависимость мощности *N* от перемещения *s* бруска. Некоторые измерения могли оказаться не очень точными.

* В каких координатных осях экспериментальная зависимость мощности от перемещения линейна?
* Определите мощность силы в точке с координатой *so ——* 10 см.
* Найдите значение силы *F.*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *N,* Вт | 0,28 | 0,40 | 0,57 | 0,75 | 1,02 | 1,10 | 1,23 | 1,26 | 1,50 |
| *s, cc* | 1,0 | 2,0 | 4,0 | 7,0 | 13 | 15 | 19 | 20 | 30 |

Возможное **решение**

Так как *N —— Fo* и работа силы *А —— Fs ——*

Гордеев 3.

, то *N ——* 2N *s* и ожидается линейная

2 *т*

зависимость *N . Линейная зависимость будет и в логарифмических координатах.*

1,6

1,4

1,2

1

0,8

0,6

0,4

0,2

0

N, Вт

0 0,1

0,2 0,3

0,4 0,5

0,6

Построим график *N по* табличным данным. Проведем через нанесённые точки

наилучшую прямую из начала координат.

В точке с координатой s = 10 см мощность должна составлять 0,89 Вт. По угловому

коэффициенту наклона графика *k —— *

 2,0 Н.

2N 2 8 Вт/м / пределяем значение силы

*т*

Критерии оценивания

* Вывод теоретической зависимости *N(s)* 2 балла
* Выбор осей *N )* или *N 2( s),* в которых зависимость линейна 1 балл
* Построение графика в осях *N s* 3 балла

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| o Если построен криволинейный график | 1 балл |  |
| * Нахождение мощности в точке *s ——* 10 см

o интерполяция на криволинейном графике | 0 баллов | 1 балл |
| * Нахождение углового коэффициента графика
 |  | 1 балл |
| * Нахождение значения силы
 |  | 2 балла |

## «Тёмная материя»

Скопления звёзд образуют бесстолкновительные системы — галактики, в которых звёзды равномерно движутся по круговым орбитам вокруг оси симметрии системы. Галактика NGC 2885 состоит из скопления звёзд в виде шара (ядра радиусом *rя ——* 4 кпк) и тонкого кольца,

внутренний радиус которого совпадает с радиусом ядра, а внешний равен 15 *rя* Кольцо состоит из звёзд с пренебрежимо малой по сравнению с ядром массой. В ядре звёзды распределены равномерно.

Было установлено, что линейная скорость движения звёзд в кольце не зависит от расстояния до центра галактики: от внешнего края кольца вплоть до края ядра скорость звёзд uo = 240 км/с. Такое явление может быть объяснено наличием несветящейся массы («тёмной материи»), распределенной сферически симметрично относительно центра галактики вне её ядра.

1. Определите массу Ля ядра галактики.
2. Определите среднюю плотность ря вещества ядра галактики.
3. Найдите зависимость плотности «тёмной материи» Qт(r) от расстояния до центра

# галактики.

1. Вычислите отношение массы «тёмной материи», влияющей на движение звёзд в диске, к массе ядра.

**Примечание:** 1 кпк = 1 килопарсек = 3,086 1019 м, гравитационная постоянная

у = 6,67 1—0 Н м2 к—г ’.

Возможное **решение** Коротков П.

Из уравнения 0 *м Я* находим массу ядра галактики: *М —— r ’0* 1,1- i о41у уг

Средняя плотность материи в ядре галактики *рg ——*

= 1, 35 10 °' 0 pк g 3

Вне ядра галактики —

*[м я + мт рг)).* тогда 

После дифференцирования этого выражения получим: ы fir = *pdMт (г)* p(r)4wr *dr.*

Из последнего уравнения найдём зависимость плотности «тёмной материи» *pm(r)* от

расстояния до центра галактики: *p(r) ——*

4луг 2 4s *pr’*

Масса тёмной материи *Mm )rp\* 0 М я* 14М я- Этoт же результат можно получить и

15гя

интегрированием: *Me —— p(r)4c r 2 dr* ——14Mя

Таким образом, искомое отношение равно 14.

Критерии **оценивания**

1. Определена масса *М* ядра галактики 2 балла
2. Определена средняя плотность ря вещества ядра галактики 1 балл
3. Найдена зависимость плотности «тёмной материи» рт(г) от расстояния до центра галактики 4 балла
4. Вычислено отношение массы «тёмной материи», влияющей на движение звёзд в диске, к массе ядра 3 балла

# Четыре в кубе

Куб собран из одинаковых резисторов, имеющих сопротивления Л. Четыре резистора заменены на идеальные перемычки, как указано на рисунке.

* Найдите общее сопротивление получившейся системы между контактами А и В.
* Через какие резисторы сила текущего тока максимальна, а через какие — минимальна? Найдите эти значения силы тока, если сила тока, входящего в узел А равна /о = 1,2 А?
* Какова сила тока, текущего через идеальную перемычку АА’?

Возможное **решение**

Изобразим эквивалентную схему и расставим токи в ветвях с учетом закона сохранения заряда и симметрии соединения резисторов.

Силу тока h найдем, приравняв разность потенциалов между узлами А и L для ветвей AL и ACL:

/іЛ = *IR+(21 — Ii)R,* откуда h = 3//2. Аналогичным образом найдём силу тока *I : Uo — IyR — Ii R + IR ——* 5/Л/2, откуда *I ——* 5//2.

Сила тока /о = 2J + h + *Iz ——* 5//2 = 6/. Отсюда *I ——* 0,2 А. Теперь легко дать ответы на вопросы задачи.

Общее сопротивление цепи равно Ли =

**Иванов** М.





# Минимальная сила тока в ветви CL. Она равна 2/— li = //2 = 0,1 А. Максимальная сила тока в ветви А’В’: *Iz ——* 0,5 А.

Сила тока, текущего через идеальную перемычку АА’, равна сумме токов через резисторы в ветвях А’С и А’В’:

7//2 = 0,7 А.

Критерии оценивания

* + Правильная эквивалентная схема
	+ Найдены токи через резисторы
	+ Найдено общее сопротивление
	+ Определены максимальные и минимальные токи
	+ Найден ток через перемычку
1. балла
2. балла

2 балла

2 балла

1 балл

1. Ромб. Циклический процесс, совершаемый над идеальным газом, на (р, Г) плоскости представляет собой ромб (см. качественный рисунок). Вершины (1) и (3) лежат на одной изобаре, а вершины (2) и (4) — на одной изохоре. За цикл газ совершил работу *А.*

Насколько отличается количество теплоты *Qi z,* подведённой к газу на участке 1-

2, от количества теплоты *Q* 4 , отведённой от газа на участке 3-4?

Возможное **решение. Слободянин** В.

Количество теплоты, подведённое к газу на участке 1-2 равно *'2i,2 ——U ,2 + А, .*

Количество теплоты, отведённое от газа на участке 3-4 равно f?3,4] =3 4,a + Л4-,a

# Сравним изменения величин внутренних энергий.

Пусть давление в точках 1 и 3 равно *po,* а объем в точках 2 и 4 равен fo Пусть далее, при переходе из состояния 1 в 2 давление изменяется на *др, и* объем на AT. Тогда изменение температуры найдём из следующих соображений:

При переходе из состояния 3 в состояние 4 изменение температуры найдём из следующих соображений:





Поскольку Г — 3 4 равно *T2 — To ,* то равны между собой и изменения величин внутренней

энергии: *U„ 2 ——*3 4,3 -

Работа *А3, 2* больше работы Л4,3 на величину *A/2.*

# Следовательно, и количество теплоты, подведённой к газу на участке 1-2, больше количества теплоты, отведённой от газа на участке 3-4, на *A/2.*

Критерии оценивания

1. Использовано 1-е начало термодинамики для участков 1-2 и 3-4 цикла 1 балл
2. Показано, что изменения температуры на участках 1-2 и 3-4 одинаковы (по модулю)

4 балла

1. Сделан вывод о том, что изменения внутренней энергии на участках 1-2 и 3-4 равны (по модулю) 1 балл
2. Показано, что модули работы на участках 1-2 и 3-4 отличаются на A/2 3 балла
3. Записан окончательный результат 1 балл

**5. Колебаниям** — нет!

В электрической цепи (см. рис.), состоящей из резистора сопротивлением Л, катушки индуктивностью *L,* на конденсаторе емкостью *Со* находится зap»д *Qo.* В некоторый момент времени замыкают ключ *К п* одновременно начинают изменять емкость конденсатора так, что идеальный вольтметр показывает постоянное напряжение.

1. Как зависит от времени емкость конденсатора *C(t)* при изменении / от 0 до I, = *?*

# Какую работу за время h совершили внешние силы? Считайте, что /, = *L / R —— . Подсказка.* Количество теплоты, выделившейся на резисторе за время ii,



равно Yq *= 12 (t)Rdt ——*

0 3C 0

## Возможное решение.

В начальный момент времени ток в цепи не течёт, поэтому *U ——Us ——*

Поскольку *U*

*= L dI*

*dt*

*—*

и остается постоянным (по условию), то: *I ——*

По закону Ома для полной цепи



*dI dt*

Заряд на конденсаторе изменяется по закону

*CoL* 0 2CoL

Этот же результат можно получить, вычислив площадь под графиком зависимости /(/).

Окончательно, *C(t) —— ——Co* l—

*U(t)* 2CoL

/ 1+

*L*

Искомую работу найдем из закона сохранения энергии



Энергия, запасенная в конденсаторе,

*irC ——*2 *QUc* 2Co 2CoL *L*

1 *QUc*

# 1

2 2 2Co 2 2 о

Окончательно

Л —— *~~Q~~* + 0 + *to* 5Q $

3Co 2Со 6Со

# *Примечапие.* Условие, что напряжение на индуктивности остается постоянным, может выполняться только конечное время, поэтому в вопросе (1) стоит ограничение

Критерии **оценивания**

1. Получена зависимость *I(t)*
2. Получена зависимость *U(t)*
3. Получена зависимость *Q(t)*
4. Найдена зависимость *C(t)*
5. Записан закон сохранения энергии
6. Показано, что энергия конденсатора не изменилась
7. Вычислена работа внешних сил
8. балл
9. балла

2 балла

1 балл

1. балл
2. балла

1 балл