

**ЗАОЧНАЯ
ОЛИМПИАДА
ФЭФМ
ИМ. Н.Н. СЕМЕНОВА**





Дорогие ребята!

Перед Вами сборник задач заочной олимпиады ФЭФМ им. Н.Н. Семёнова 2020 года. Конец этого учебного выдался очень ценным для самообразования. Мы не преминули этим воспользоваться, и составили для Вас задание, требующие не только школьных навыков решения задач, но и умения находить и использовать новую для Вас информацию. Кроме того, в некоторых случаях использование компьютера для вычислений может значительно облегчить решение. Это было сделано для того, чтобы Вы могли почувствовать себя настоящими учёными-исследователями: решая задачи, Вы увидите, чем именно занимается наша физтех-школа, увидите, насколько многогранной может быть физика и как тесно с ней связана химия.

Искренне надеемся, что Вы получите удовольствие от решения предложенных задач и выберете для своего дальнейшего обучения именно нашу физтех-школу. Олимпиада посвящена 124-летию со дня рождения Н.Н. Семёнова – выдающегося ученого в области химической физики, лауреата Нобелевской премии по химии и одного из отцов-основателей МФТИ.

Дипломы победителей и призеров данной олимпиады *будут учтены на собеседовании* при поступлении в ФЭФМ МФТИ, а авторы лучших решений получают *ценные призы*.

Отсканированные решения необходимо прислать **до 8 июня** на почту **semp@phystech.edu** или через портал **abitunet/semp_olympiad_2020**. На каждом листе работы укажите свои ФИО. На одном из листов каждого из заданий укажите свой класс и электронный адрес или иной способ для связи с Вами. **Фотографии работ принимаются только если они удобочитаемы, сделаны контрастно и в хорошем качестве.**

*С уважением, коллектив авторов.
Долгопрудный, 2020*

1 НЕОБЫЧНАЯ СТАТИКА

Две тонкие одинаковые доски верхними концами прикреплены к неподвижной горизонтальной оси O . Масса каждой доски равна m , а длина – L . Раздвинув доски, между ними поместили цилиндр массой M и радиусом R , так чтобы точки касания цилиндра совпали с серединами досок (см. Рисунок 1). После того как цилиндр отпустили, он остался неподвижным. Найти минимальный коэффициент трения между цилиндром и доской, чтобы такое чудесное явление наблюдалось. Трением в оси и деформацией тел пренебречь.

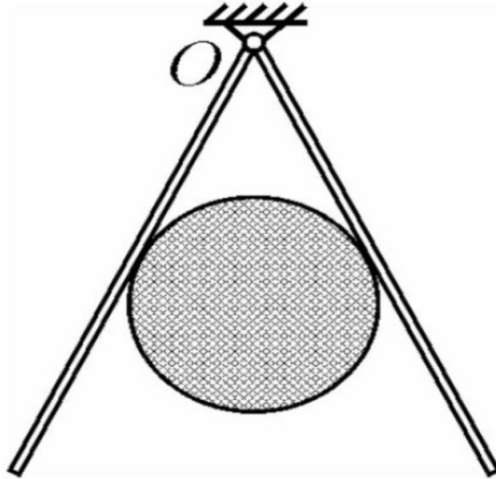
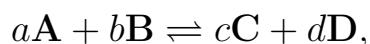


Рисунок 1

2 НЕОБЫЧНАЯ КИНЕТИКА

В химии очень важно исследовать динамику химических реакций. Существует большой раздел химии под названием «химическая кинетика», который занимается описанием скоростей реакции и их механизмов. Мы предлагаем вам познакомиться с химической кинетикой на примере интересной реакции. Предварительно обсудим некоторые термины химической кинетики.

Рассмотрим реакцию



где \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{C} , \mathbf{D} – некоторые вещества, а a , b , c , d – их стехиометрические коэффициенты.

Скоростью реакции называется величина

$$W = \frac{1}{c} \frac{\Delta[\mathbf{C}]}{\Delta t}.$$

Она показывает количество актов превращения вещества \mathbf{C} в единицу времени Δt . Квадратными скобками обозначается концентрация соответствующего вещества (моль/л).

1. Определите размерность и область значений скорости реакции;
2. Выразите скорость реакции через концентрации веществ $\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{D}$.

С другой стороны, по эмпирическому закону действующих масс, скорость химической реакции связана со стехиометрическими коэффициентами как

$$W = k[\mathbf{A}]^a[\mathbf{B}]^b,$$

где k – константа скорости реакции. В этом месте a и b называют частными порядками реакции.

3. Какова размерность константы k в случае $a = b = 1$? В случае $a = 1$, $b = 0$?

Однако оказывается, что закон действующих масс иногда дает неверные результаты. Это связано с тем, что реакция в общем случае происходит не в одну стадию, а состоит из некоторых элементарных реакций, которые мы не можем заметить. Из-за этого мы лишь измеряем уменьшение концентрации реагентов и увеличение концентрации продуктов. Поэтому a и b необязательно совпадают со стехиометрическими коэффициентами и могут быть, вообще говоря, нецелыми.

4. Используя данные таблицы 1, установите частные порядки реакции при $T=300$ К.

Кроме того, очевидно, что скорость реакции зависит от температуры. Аррениус показал, что именно константа скорости зависит от температуры по закону

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right),$$

где k_0 – константа (предэкспоненциальный множитель или просто предэкспонента), а E_a – энергия активации реакции (минимальная энергия, которой должны обладать реагенты, чтобы реакция пошла).

5. Пользуясь данными таблицы 2, найдите k_0 и E_a этой реакции;
6. Попробуйте объяснить, будет ли протекать реакция при $T \rightarrow 0$. Аргументируйте свой ответ;
7. Подумайте, случайным ли образом заполнены клетки измерений в таблицах? Какими способами на практике измеряют скорость химической реакции?

W	[A], моль/л	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
[B], моль/л							
10^{-6}		$5.7 \cdot 10^{-5}$			$6.2 \cdot 10$		$5.4 \cdot 10^5$
10^{-5}							$1.15 \cdot 10^7$
10^{-4}				$2.3 \cdot 10^2$			$2.55 \cdot 10^8$
10^{-3}		$5.2 \cdot 10^{-1}$					$5.3 \cdot 10^9$
10^{-2}							$1.2 \cdot 10^{11}$
10^{-1}		$2.8 \cdot 10^2$	$2.5 \cdot 10^4$	$2.55 \cdot 10^6$	$2.5 \cdot 10^8$	$2.35 \cdot 10^{10}$	

Таблица 1 – Зависимость скорости реакции от концентраций реагентов

T, K	300	350	400	450	500
W	$5.4 \cdot 10^{15}$	$5.4 \cdot 10^{18}$	$9.1 \cdot 10^{20}$	$5.3 \cdot 10^{22}$	$1.7 \cdot 10^{24}$

Таблица 2 – Температурная зависимость скорости реакции при постоянных [A] и [B]

3 ЭЛЕКТРОСТАТИКА И ГРАВИТАЦИЯ

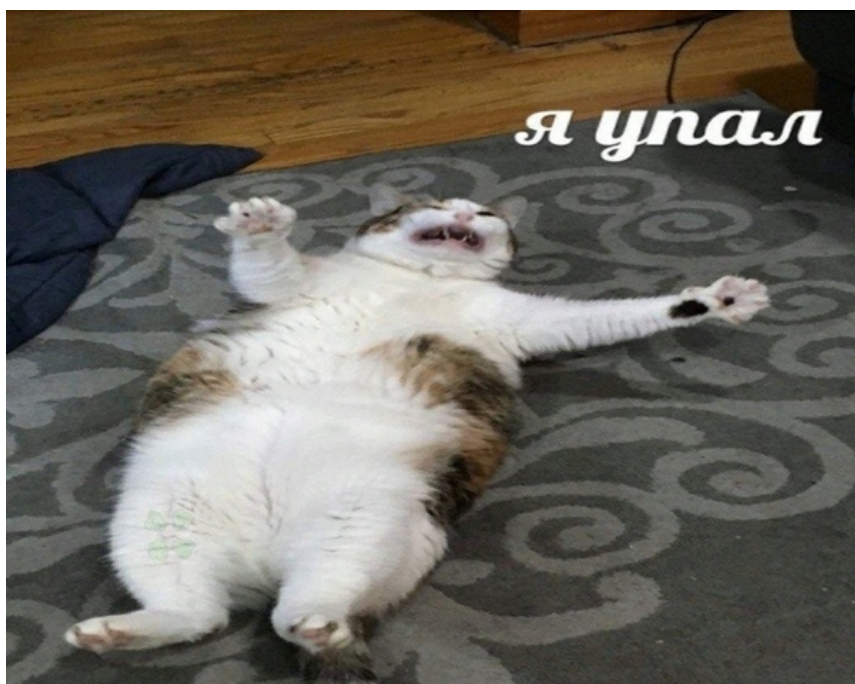


Рисунок 2 – Тело в гравитационном поле

1. Заполните таблицу соответствий

Гравитация			Электростатика		
Закон всемирного тяготения	$-G \frac{mM}{r^3} \vec{r}$	\vec{F}	Закон Кулона		
			Напряжённость электрического поля	$k \frac{Q}{r^3} \vec{r}$	\vec{E}
			Электрический потенциал	$k \frac{Q}{r}$	φ
Потенциальная энергия	$-G \frac{mM}{r}$	Π			
Работа в поле тяжести	mgh	$\Delta\Pi$			

2. Впишите определения

Изолиния –

Кулоновская расходимость –

Разностная схема –

3. Моделирование

Напишите программу (на любом доступном для вас языке программирования), которая визуализирует следующую задачу: движение пробного заряда в заданном двумерном электростатическом поле.

На вход программе задаются:

- координаты и величины зарядов, которые создают электростатическое поле $(x; y; q)$;
- положение и масса изначально покоящегося пробного заряда $(x; y; +1; m)$.

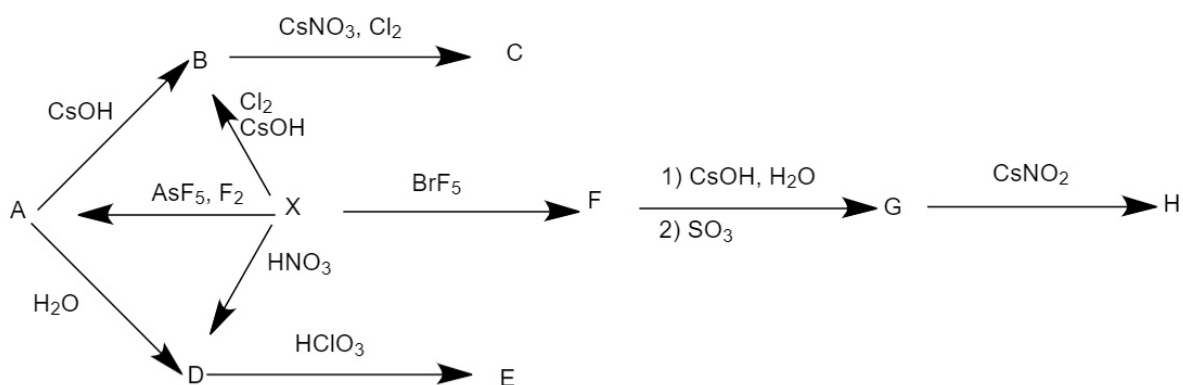
На выходе программа выдаёт:

- Трёхмерную картину потенциала $\varphi(x; y)$;
 - Двумерную карту эквипотенциальных поверхностей $\varphi(x; y) = \text{const}$;
 - Траекторию движения пробного заряда по двумерной карте эквипотенциальных поверхностей.
4. Почему в законе всемирного тяготения перед формулой стоит знак минус, а в законе Кулона нет?
 5. Как Вы "боролись" с кулоновской расходимостью в Вашем коде?
 6. Постройте зависимость полной энергии пробного заряда вдоль траекторной линии в Вашей программе. Почему она получилась такой?

4 ОХ УЖ ЭТОТ *****!

*Расскажу я вам,
дружочки,
как выращивать
грибочки...*

Элемент **X**, как отмечают некоторые исследования, склонен накапливаться в мухоморах и также как и этот гриб является ядовитым для человека в чистом виде. Кроме грибов, его можно найти в диодах, т.к. диоды из него являются стойкими к радиации и при пробоях могут со временем восстанавливаться.



Вещество **B** образуется посредством гидролиза и последующим добавлением CsOH к раствору **A** и последующего упаривания. Массовая доля водорода в этом соединении 2.07%.

1. Составить уравнения всех реакций;
2. Определите элемент **X**. Напишите формулы и названия соединений **A-H**;
3. Назовите побочный продукт реакции из **A** в **B**;
4. Назовите слово зашифрованное звёздочками в начале. Данное слово связано с основной областью применения элемента **X**.

5 ЭЛЕКТРОНИКА

Электроника – область науки и техники, занимающаяся созданием и практическим использованием различных устройств и приборов, работа которых основана на изменении концентрации и перемещении заряженных частиц (электронов) в вакууме, газе или твердых кристаллических телах, и других физических явлениях (НБИК).

Важной задачей электроники является расчёт мощности каких-либо аппаратов. Для расчёта мощности электромотора батискафа, необходимо знать какая сила сопротивления среды действует на него. С этой целью был проведён следующий эксперимент, в котором сила сопротивления вертикальному подъёму считалась равной силе сопротивления горизонтальному движению.

1. Два одинаковых батискафа плавали во взвешенном состоянии, первый на глубине $2d$, второй – на глубине d ($d=1$ км). В некоторый момент времени первый батискаф сбросил балласт и начал всплывать. Когда он достиг глубины d , второй батискаф сбросил балласт и тоже начал всплывать. Первый батискаф появился на поверхности воды на $T=10$ с раньше второго. Вторую половину своего пути первый батискаф проплыл почти с постоянной скоростью $v_0 = 1$ м/с. Масса батискафа без балласта равна m . Считая силу сопротивления вертикальному подъёму прямо пропорциональной скорости батискафа, найдите коэффициент пропорциональности.
2. В условиях предыдущей задачи рассчитайте силу Архимеда, действующую на батискаф. Так же, найдите какую минимальную мощность должен иметь мотор батискафа, чтобы в горизонтальном направлении развивать скорость, равную $0.5v_0$. Горизонтальной силой Архимеда пренебречь.

6 ПЛАЗМОНИКА

Плазмоника – один из разделов современной фотоники – изучает взаимодействие света с веществом (проводники и полупроводники). Будучи молодой наукой, она уже нашла несколько интересных приложений. Например, плазмоны могут локально усиливать электромагнитные волны, в частности – радиодиапазон и видимый свет. Благодаря этим свойствам плазмоны могут использоваться для повышения добротности приемников. Сферические наночастица имеют резонансную частоту в зависимости от радиуса. Так золотые частица могут заменить радиоактивные метки для исследований в биологии.

1. Найдите зависимость резонансной частоты наночастицы от ее радиуса и цвет золотой наночастицы радиуса $r = 100$ нм при освещении ее белым светом¹.

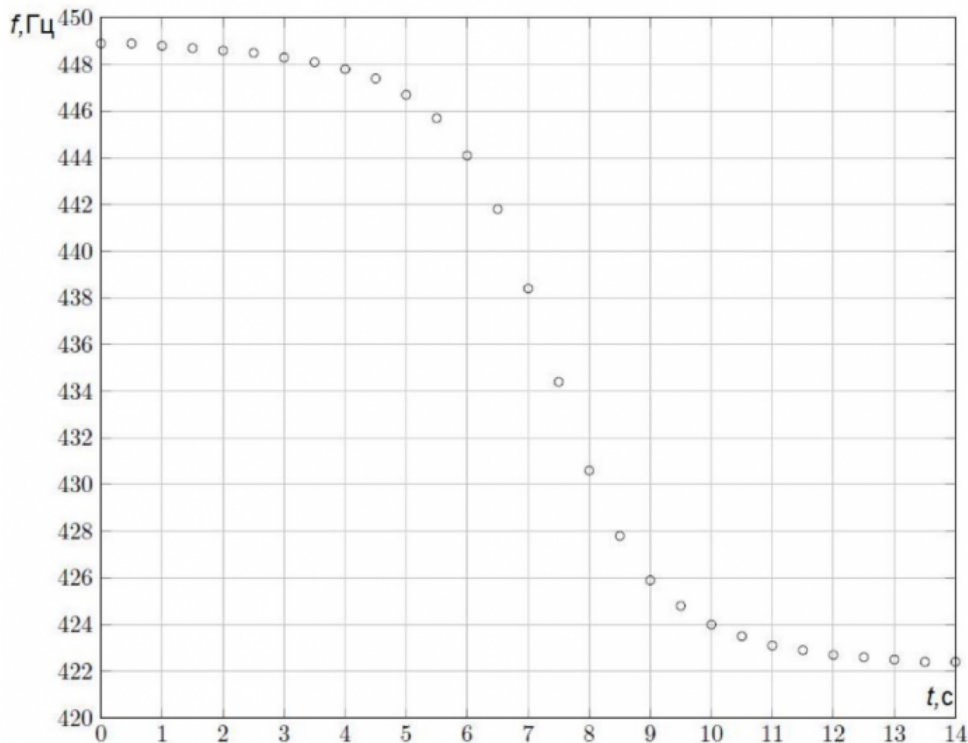


¹Попробуйте погуглить на английском

7 НЕМНОГО О ФИЗТЕХЕ

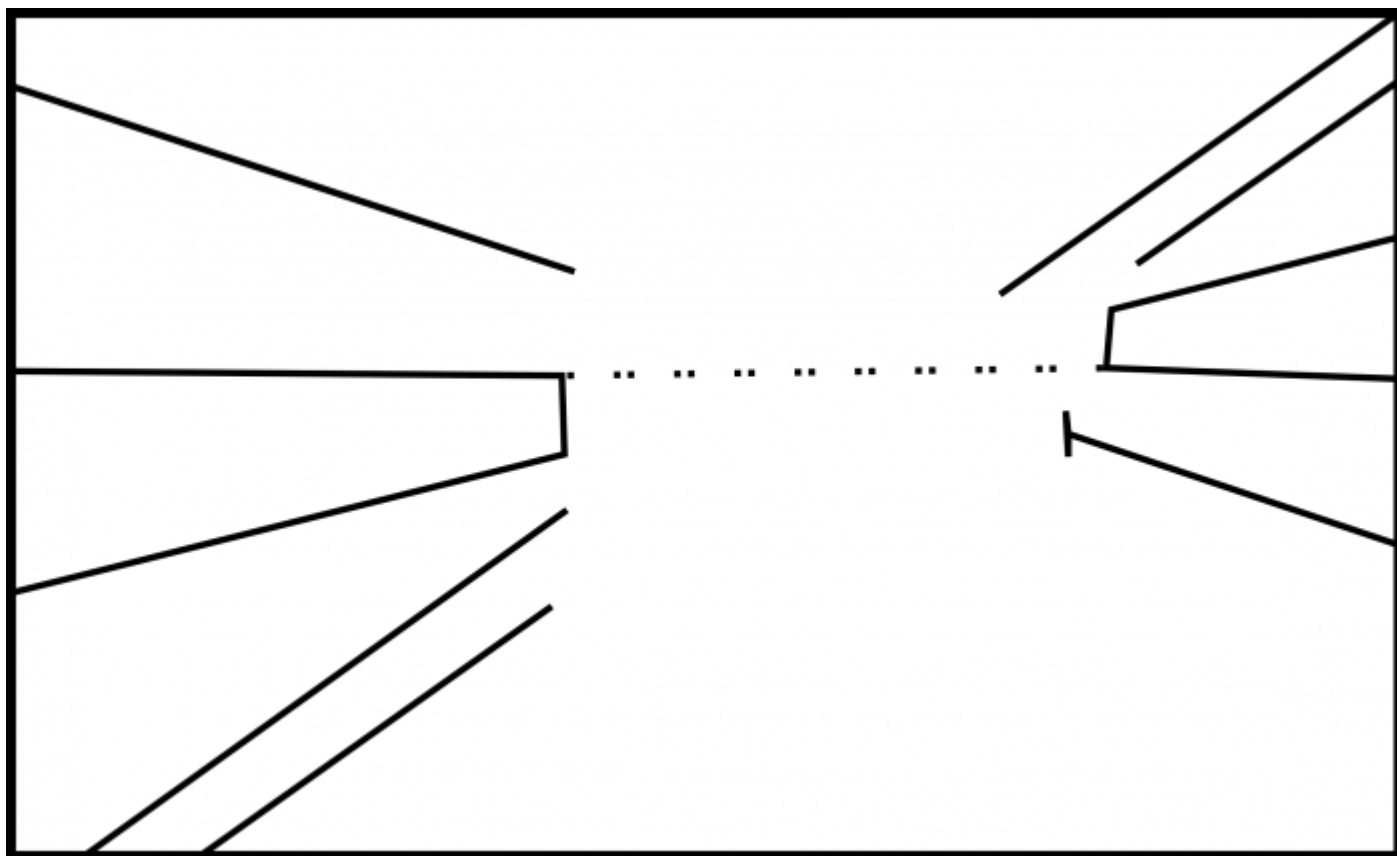
Как известно, МФТИ располагается на одной из транспортных артерий Москвы - Московском центральном диаметре-1 (забавно, ведь не бывает диаметра, проходящего не через центр). Теперь *все* электрички останавливаются на платформе Новодачная, а максимальный интервал между ними - 15 минут. Однако, несмотря на открытие МЦД-1, Савёловское направление осталось важным путём в аэропорт Шереметьево им. А.С.Пушкина - и между электричками иногда проскакивает аэроэкспрессы, которые, естественно, не останавливаются ни на Новодачной, ни на Долгопрудной.

При этом, чтобы отпугнуть зазевавшихся студентов, они издают сигнал. В качестве вопроса по выбору на экзамен по механике студент решил определить скорость электрички. Для этого он измерил зависимость частоты звука гудка от времени и получил следующую зависимость:



1. Определите, на каком расстоянии от железнодорожных путей студент снимал данные. Какова скорость электрички, если считать, что гудок испускает звук постоянной частоты?

Поставив эксперимент, студент возвращается в своё общежитие №8. По пути на асфальте он замечает, что опять какие-то весельчаки разрисовали асфальт формулами из ТФКП, вычислительной математики и статистической физики. Среди незнакомых (пока ещё) формул он заметил картинку, которая его очень заинтересовала. Похоже, это текст, зашифрованный с помощью тонкой собирающей линзы.



2. Что это было за слово? (оптическая ось наверняка проходила по пунктирной линии)

8 ЧЕРЕЗ ЛАЗЕРЫ К ЗВЕЗДАМ

Проект Breakthrough Starshot работает над созданием космического аппарата, движимого системой лазеров. В качестве модели запуска возьмем космический аппарат массой 100 кг, снабженный зеркалом площадью 1 м^2 , полностью отражающим попадающее на него излучение.

1. Какой мощности должен быть лазер, способный запустить такой аппарат?
2. Предположим, что аппарат уже находится на наинизшей возможной орбите Земли. Какой мощности должен быть лазер, если его луч представляет собой конус с углом при вершине 10^{-4} рад, чтобы запустить аппарат отсюда?

Но и дальше все не так просто. Аппарат может тормозиться встречным потоком частиц межзвездного вещества. Пусть сила торможения описывается законом $F = -aSv$, где a - некоторый коэффициент, v - скорость аппарата, S - площадь зеркала. В наши планы входит достичь системы Альфа Центавра (расстояние - 4 световых года) через 20 лет.

2. Каким образом выгоднее всего устроить процесс движения, используя лазер из п.2 и предполагая, что он может разгонять аппарат на любом расстоянии? Исследуйте зависимость ответа на этот вопрос от значения коэффициента a .

