

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





Дорогие ребята!

Приглашаем вас принять участие в Заочной олимпиаде ФЭФМ им. Семенова 2021 года!

Н.Н.Семёнов – один из основателей МФТИ, выдающийся учёный в области химической физики и кинетики реакций. Наша олимпиада нацелена не на проверку знаний, а на проявление интереса к физике, химии, а также их комбинациям. Вы сможете лучше познакомиться с направлениями, в которых работают студенты и выпускники ФЭФМ. В последнее время школьники отчасти получают знания самостоятельно, что можно непосредственно продемонстрировать в данном состязании.

Задачи рассчитаны на учеников 10-11 классов, но особенно актуальны для абитуриентов 2021-го года. Дипломы олимпиады *будут учтены на собеседовании в нашу Физтех-школу* в ходе приёмной кампании 2021-го года. Авторы лучших решений получают *крутые призы!*

Вверху первой страницы или в начале работы (если несколько страниц слиты в единый файл) необходимо указать ФИО, класс, актуальную электронную почту, номер телефона (по желанию, можно указать id «ВКонтакте»). Решения принимаются в электронном виде, это может быть печатное оформление или сканы рукописей в удобном формате. Главное требование – чёткость и контрастность текста. Решения отправляются на электронную почту **abifefm@yandex.ru** или на портал [Abitu.net](https://abitunet.ru). Последний день отправки решений – **20 июня 2021** года.

Чтобы задать вопрос по условию задач или организации олимпиады, напишите в группу [Абитуриентов ФЭФМ](https://abitunet.ru), на почту **abifefm@yandex.ru** или в соответствующий раздел данного события на [Abitu.net](https://abitunet.ru).

Желаем успехов!

С уважением,

Коллектив организаторов.

Долгопрудный, 2021 г.

1 КОСМИЧЕСКАЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ

С целью исследования поверхности Меркурия была отправлена специальная космическая лаборатория с группой исследователей из МФТИ на борту. Обворожённые красотой Солнца, учёные придумали интересную задачу.

1. Зная, что мощность излучения Солнца порядка $4 \cdot 10^{26}$ Вт, найдите, на сколько тонн уменьшается масса Солнца за каждую секунду. Какое ускорение имело бы Солнце, если бы весь испускаемый свет излучался в одном направлении? Масса Солнца примерно равна $2 \cdot 10^{30}$ кг.

Космическая лаборатория наших исследователей представляет собой шар массой около 60 тонн. Через 5 дней после начала исследований учёные обнаружили, что их корабль развил некоторую скорость из-за давления солнечных лучей. Чтобы понять, как изменить подаваемую мощность двигателей, учёным необходимо рассчитать приобретаемое за счёт давления света ускорение.



2. Какое ускорение будет испытывать наша лаборатория, если на неё падает 10^6 Дж солнечного света ежесекундно, при условии, что этот свет частично поглощался, а частично рассеивался во все стороны (**равномерно!**)?

После окончания своих исследований на поверхности Меркурия исследователи собрались возвращаться на Землю. Но тут неожиданно произошло столкновение лаборатории с астероидом. Из-за этого столкновения все двигатели корабля отказали, а сам корабль остался совершенно неподвижен (необходимо считать, что действие всех возможных сил на лабораторию скомпенсировано и лаборатория находится в абсолютном покое). И вот незадача, как же исследователям попасть обратно на Землю? Тут один из инженеров придумал интересную вещь: использовать электрокипяtilьник в качестве своеобразного «двигателя». Но будет ли этот способ действенным? Для этого надо узнать, какую скорость может развить корабль за счёт этих действий.

3. Рассчитайте, с какой скоростью будет двигаться лаборатория, если постоянно работающий кипяtilьник сопротивлением $R = 10$ Ом и питающийся от источника напряжением $U = 300$ В, расположенного на расстоянии $l = 4$ м, отключить от сети. Когда кипяtilьник работал, лаборатория находилась в полном покое.

Балл за задачу: 10

2 МАССОВОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ

Мы живем в эпоху, когда все больше открытий происходит на стыке различных наук, таких как физика, химия, биология и информатика. Одним из примеров таких междисциплинарных исследований является протеомика – раздел молекулярной биологии, целью которого является создание баз данных по белкам, встречающимся в различных живых организмах. Для идентификации белков, определения их структуры и элементного состава зачастую используется физический метод исследований – масс-спектрометрия.

В основе этого метода лежит ионизация исследуемых веществ и последующее разделение ионов по отношению их массы к заряду. Зачастую встречается конструкция масс-анализатора ионно-циклотронного резонанса, где ион движется перпендикулярно постоянному магнитному полю. При этом сенсоры детектируют частоту, с которой происходит движение заряженных частиц. В дальнейшем эти данные преобразуются в масс-спектр – график зависимости интенсивности сигнала (который пропорционален количеству детектируемых ионов) от отношения их массы к заряду. Выразите отношение массы иона к его заряду, если известна частота, с которой движется частица, и индукция магнитного поля в циклотроне (такое выражение называется уравнением калибровки масс-спектрометра).

При исследовании сложных ионов важно помнить, что элементы, входящие в их состав, могут иметь различные изотопы, вследствие чего даже одни и те же группы ионов могут давать несколько близких друг к другу сигналов, отличающихся по интенсивности. Определите, на сколько пиков будет разделяться масс-спектр протонированной молекулы CF_3Cl , если считать, что в природе встречается 1% изотопа C^{13} , а изотопы Cl^{35} и Cl^{37} встречаются в соотношении 3 : 1 соответственно. Фтор является моноизотопным элементом. Каковы будут соотношения интенсивностей этих пиков? Сколько пиков мы увидим, если установка настроена так, что заметить можно только те, интенсивность которых отличается от самого высокого пика не более чем в 100 раз (все остальные сольются с так называемыми шумовыми сигналами)?

Балл за задачу: 10

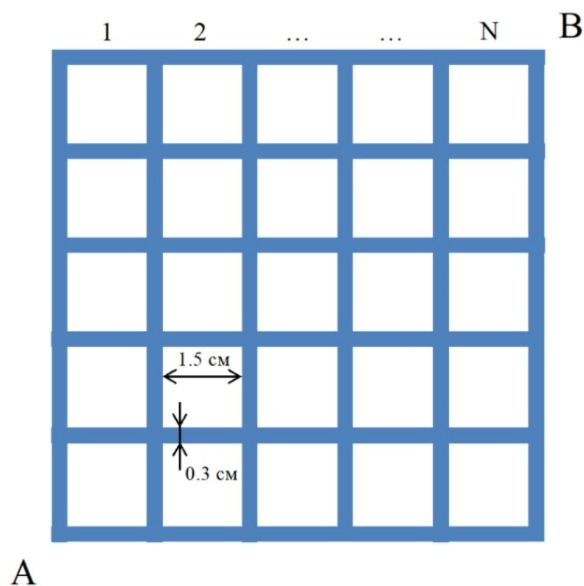
3 ПОВЕРХНОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК

Часто в современной науке приходится иметь дело с материалами, геометрия которых представляет собой тонкую пленку. В особенности это актуально в задачах микроэлектроники и физики полупроводников. Для описания характеристик соответствующих материалов вместо объемных характеристик используются поверхностные. Так, например, для участка плоской линии передачи вводится понятие импеданса на квадрат поверхности. Это делается не только с целью упрощения моделей при расчете, но и, в частности, из-за того, что свойства поверхности могут сильно отличаться от свойств того же материала в объеме. В данной задаче импеданс эквивалентен сопротивлению.

1.1 Убедиться, что определение импеданса на квадрат поверхности корректно (иначе говоря, не зависит от размера квадрата).

Рассмотрим теперь структуру, показанную на рисунке.

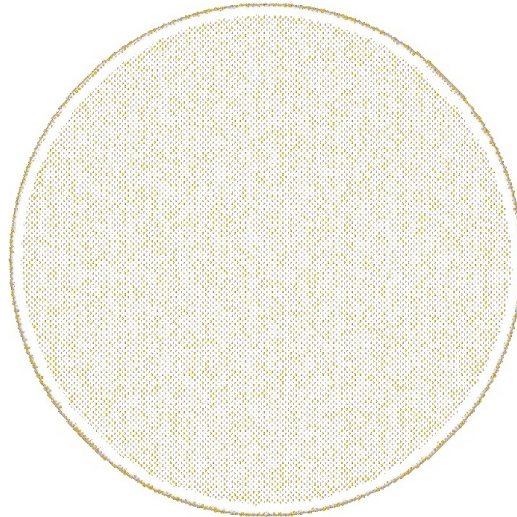
1.2 Найти сопротивление структуры (между точками А и В) для произвольного числа N периодов; при $N = 5$ рассчитать численное значение. Толщину пленки считать постоянной для всей структуры и равной $d = 0.5$ мм. Объемное сопротивление $\rho = 2.7 \cdot 10^{-6}$ (Ом·см). Геометрические размеры см. на рисунке.



Балл за задачу: 10

4 ЛУЧШИЕ ДРУЗЬЯ ДЕВУШЕК

В методах математического моделирования важно следить за тем, насколько эффективно расходуются вычислительные ресурсы. Расчёты проводятся для сферической наночастички. Она состоит из атомов золота (30%) и кремния (70%), которые образуют алмазную кристаллическую решётку. Так как золота меньше, любой атом золота имеет в качестве ближайших соседей только атомы кремния. Более того, считается, что функция распределения атомов золота не является функцией радиуса (вероятности обнаружить атомы золота в окрестности центра и вблизи поверхности совпадают).



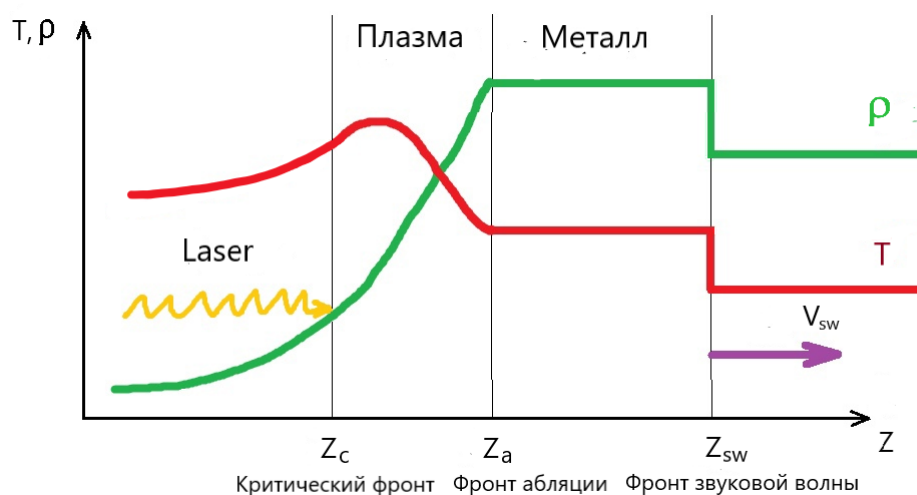
Модель системы. Тип кристаллической решётки : алмазная

С помощью моделирования был измерен объём: $7,39 \cdot 10^7 \text{ \AA}^3$. Затем все атомы золота удаляются, поскольку для высоких температур ($> 1500^\circ \text{K}$) расчёты имеет смысл продолжать лишь для атомов кремния. Оценить с точностью до сотых, во сколько раз уменьшится радиус частички. Считать, что все атомы кремния соединились между собой в алмазную решётку с периодом $5,43 \text{ \AA}$, длина связи $\text{Si} - \text{Si} = 5,08 \text{ \AA}$.

Балл за задачу: 10

5 ПЛАЗМЕННАЯ КОРОНА

Лазеры нашли применение в огромном количестве областей науки и техники. Лазеры инфракрасного диапазона активно применяются для обработки металлов: их сварке, резке, маркировке. Удаление вещества с поверхности материала называется лазерной абляцией. Выделяют два режима лазерной абляции металла: паровой (металл сначала плавится, а потом испаряется под действием лазера) и плазменный (при воздействии лазера на металл образуется плазма – газ нейтральных атомов, ионов и электронов). Рассмотрим плазменный режим.



На рисунке зеленым обозначен профиль плотности металла при лазерной абляции, красным – профиль температуры. Заметим, что лазерное излучение не проникает в глубину металла, а экранируется при достижении материалом определенной плотности (называемой критической плотностью). До поверхности металла тепло доходит посредством теплопроводности плазмы.

- 1) Почему происходит это экранирование?
- 2) Пусть алюминий облучается лазерным излучением длиной волны 800 нм. Какова критическая плотность алюминия в этом случае? Ионизацию считаем однократной.
- 3) Найдите отношение критической плотности алюминия и его плотности при нормальных условиях. Ионизация трехкратная.

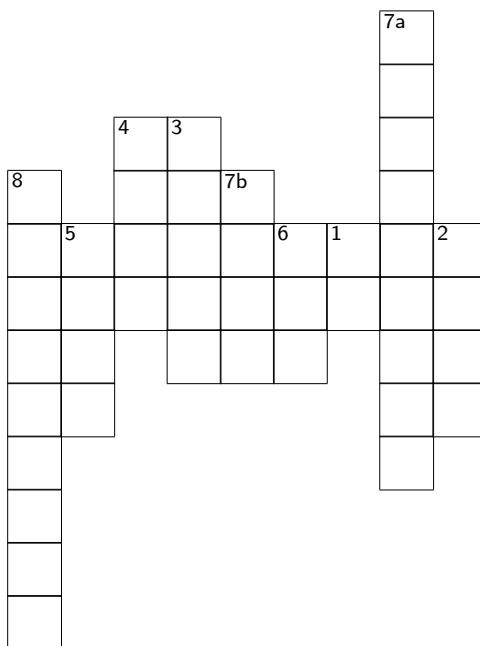
Помочь ответить на вопросы вам поможет теория электропроводности металлов Друде, анализ вида решения волнового уравнения и формула плазменной частоты.

Балл за задачу: 10

6 СДАВАЙСЯ, СОПРОТИВЛЕНИЕ БЕСПОЛЕЗНО!

Разгадайте кроссворд, укажите вещество по горизонтали и опишите его основные свойства.

Замечание: Большие и маленькие буквы неразличимы. Каждая цифра должна занимать отдельную клетку.



Вопросы:

1. Сколько атомов водорода в формуле вещества метоксихлордиэтиламинметилбутил-аминоакридин?

В решении также указать химическую формулу.

Балл: 1

2. При лечении раковых опухолей в организм человека вносят вещество, склонное к радиоактивному распаду. Если принять период полураспада равным 100 дней, а курс лечения 40 дней, рассчитать сколько препарата останется в организме в конце курса. Ответ выразить в процентах, округлив до десятых.

Балл: 2

3. Найти pH ацетатной смеси из $V_{\text{кисл}} = 300$ мл, $C = 0,2$ М CH_3COOH и $V_{\text{соли}} = 100$ мл, $C = 0,1$ М CH_3COONa .

$$K_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 1,75 \cdot 10^{-5}.$$

Как изменится pH при добавлении к смеси $V = 19$ мл, $C = 0,3$ М КОН.

Найти $pH_{\text{нач}}$, $pH_{\text{кон}}$ и вычислить их разность с точностью до третьего знака после запятой.

Балл: 2

4. Полупроводник, $t_{\text{пл}} = 1238^\circ\text{C}$, атомы каждого из элементов находится в тетраэдрическом окружении из атомов другого элемента. Используется в производстве фотодиодов и лазеров.

В ответ внести химическую формулу.

Балл: 1

5. **Это** может быть двойным, а также банановым. Эти бананы вы можете найти в циклопропане. Так что такое **это**? Ответ указать на английском языке.

Балл: 1

6. Массовое соотношение 1 : 2,08 , летучее, имеет массу больше 100 а.е.м. Один из элементов, входящих в состав, не имеет стабильных изотопов.

В ответ внести химическую формулу.

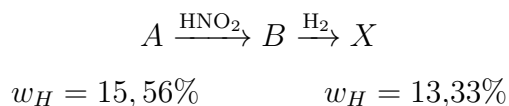
Балл: 1

7. Сверхсильная кислота, в 2005 году признана самой сильной кислотой. Ее анион образует структуру икосаэдра. Химически стабильна, её можно хранить в стеклянной таре.

В ответе указать название химического соединения (два слова: первое в 7a, второе в 7b) на английском языке.

Балл: 1

8. Решить цепочку. Соединение *A* содержит азот. Массовая доля водорода в веществах *A* и *X* равны соответственно 15,56% и 13,33%. В решении записать реакции, найти вещества *A*, *B*, *X*. Указать названия веществ. Для вещества *X* указать самого простого гомологического родственника и его название внести в ответ на английском языке.



Балл: 4

Верно указано вещество: *1 балл*

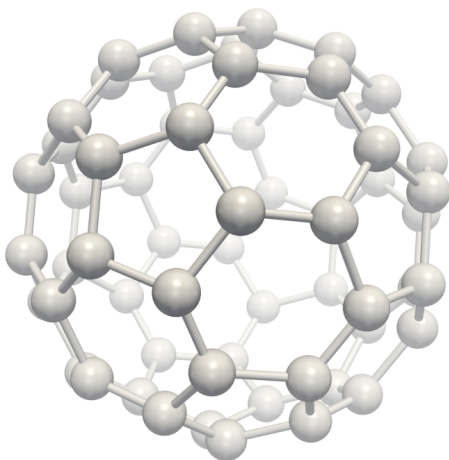
Указаны его свойства: *1 балл*

Балл за задачу: 15

7 НЕЛЬЗЯ ПРОСТО ТАК ВЗЯТЬ И СЛОЖИТЬ СФЕРУ ИЗ ШЕСТИУГОЛЬНИКОВ

Возможность замыкания углеродных цепочек в объемные полые структуры была предсказана советскими учеными еще в 1973 году. И лишь в 1985 году фуллерены (названные в честь инженера Ричарда Фуллера, создававшего подобные архитектурные сооружения) были получены экспериментально исследователями Крото, Смолли и Керлом, за что они впоследствии получили Нобелевскую премию по химии.

Существует много разновидностей фуллеренов, однако наиболее часто встречающейся, и потому наиболее изученной, является молекула C_{60} , внешне наиболее похожая на футбольный мяч, где каждая вершина заменена на трехкоординированный атом углерода. Другие разновидности фуллеренов «получаются» добавлением в эту структуру большего количества атомов углерода.



Согласно теореме Эйлера, для любого многогранника, топологически эквивалентного сфере, сумма числа его вершин и граней на два превосходит число его ребер. Из этой теоремы следует, что невозможна молекула фуллерена, состоящая только из шестиугольных граней, поэтому часть граней заменена на пятиугольники. Используя теорему Эйлера, рассчитайте количество пяти- и шестиугольных граней в молекуле C_{60} и докажите, что для любой разновидности фуллеренов число пятиугольных граней будет оставаться постоянным.

Области применения фуллеренов обширны: они показали себя чрезвычайно эффективными антиоксидантами, а их способность переносить в полости изолированную молекулу в будущем может стать основой для точечной доставки лекарств в очаги инфекций. Помимо этого, будучи подвергнуты высоким давлениям, фуллерены превращаются в сверхтвердые кристаллы, известные как фуллерит (по твердости вдвое превосходит алмаз и на данный момент является самым твердым известным веществом).

При комнатной температуре фуллерит состоит из молекул фуллерена, соединенных в гранецентрированную кубическую решетку. Оцените период такой решетки (то есть минимальное расстояние, на которое нужно сдвинуться, чтобы решетка полностью воспроизвела свой вид), считая, что все молекулы фуллерена соприкасаются друг с другом. Длину связи $C - C$ в среднем можно считать равной 0,14 нм.

Балл за задачу: 10

8 ЭТО ФИЗИКА, ТУТ НУЖЕН ХАРАКТЕР

Колебания – это процесс, который часто встречается в самых разных разделах физики. Чаще всего они представляют собой периодически повторяющиеся изменения состояния системы относительно положения равновесия. Иногда колебания происходят вследствие того, что система не может быть устойчива по каким-то причинам. Так, например, система, состоящая из электрически заряженных точечных частиц, не будет устойчивой (см. теорема Ирншоу)¹. По этой причине либо все заряды разлетятся, либо в системе возникнут колебания. Чтобы это проиллюстрировать, рассмотрим следующую задачу:

1. Система состоит из диэлектрического кольца радиуса R и бесконечно длинной оси, проходящей через центр кольца перпендикулярно его плоскости. По этой оси без трения может скользить бусинка массой m с зарядом $-q$. Найдите период малых колебаний этой бусинки, если по кольцу равномерно распределить заряд $+Q$.

Очень часто для описания каких-то сложных систем в физике используют модели. Так, например, для описания поглощения атомов и молекул пользуются классической моделью их поведения, представляя процессы поглощения излучения как поглощение на резонансной частоте гармонического возмущения (см. резонанс). В качестве примера такой модели может выступать следующая задача:

2. Упрощённо атом гелия можно представить как систему, в которой два электрона совершают колебания около общего центра – неподвижного ядра. Используя эту модель, оцените диэлектрическую проницаемость жидкого гелия в постоянном электрическом поле. Примите во внимание, что гелий сильно поглощает ультрафиолетовое излучение на длине волны $\lambda = 0.06$ мкм. Плотность жидкого гелия $\rho = 0.14$ г/см³.

Указание! Учтите, что поглощение ультрафиолетового излучения происходит при резонансе, т.е. когда частота излучения сравнивается с частотой собственных колебаний системы (в нашем случае – гелия).

Балл за задачу: 10

¹ На самом деле эта теорема может быть обобщена на любые взаимодействия, если закон их поведения (в зависимости от радиус-вектора) убывает подобно закону Кулона (см. обобщения теоремы Ирншоу). Например, гравитационные взаимодействия, описываемые законом Ньютона.