

Варианты
вступительных экзаменов по физике
в Новосибирский государственный
университет

ответственный за выпуск Е.М. Балдин

20 октября 2004 г.

Содержание

Введение	1
Советы абитуриентам	1
Немного истории	2
Немного информации по исходным текстам пособия	3
Варианты по физике за 2004 год	4
Открытая олимпиада	4
Вариант ФФ-41р	5
Вариант ФФ-42р	6
Вариант ФФ-43в	7
Вариант ФЕН-41р	8
Вариант ФЕН-42в	9
Вариант ГГФ-49в	10
Вариант ГГФ-410р	11
Выпускные экзамены ФМШ	12
Вариант I	13
Вариант II	14
Вступительные экзамены в НГУ	16
Вариант ФФ-421	16
Вариант ФФ-422	18
Вариант ФЕН-401	19
Вариант ГГФ-411	20
Статистика по результатам	22
Открытая Олимпиада 2004	22
Выпускные экзамены ФМШ 2004	26
Письменный экзамен	27
Оценки	29
Собеседование	30
Примеры задач на собеседовании	32
Вступительные экзамены в НГУ 2004	33
ФФ	37
ФЕН	38
ГГФ	39

Разбор задач	40
Открытая Олимпиада 2004	40
Вариант ФФ-41р	40
Вариант ФФ-42р	42
Вариант ФФ-43в	44
Вариант ФЕН-41р	46
Вариант ФЕН-42в	48
Вариант ГГФ-49в	50
Вариант ГГФ-410р	51
Выпускные экзамены ФМШ 2004	52
Вариант I	52
Вариант II	56
Вступительные экзамены в НГУ 2004	57
Вариант ФФ-421	58
Вариант ФФ-422	61
Вариант ФЕН-401	63
Вариант ГГФ-411	64

Введение

Все вопросы, связанные с поступлением в НГУ можно выяснить в приёмной комиссии НГУ по телефонам (3832) 34–35–90, (3832) 39–73–77 и электронной почте poly@admin.nsu.ru.

Дополнительную информацию можно получить в разделе «Абитуриент 2004» на сайте НГУ: www.nsu.ru.

Пособие распространяется под лицензией GNU FDL¹ версии 1.1. Основные положения: вы можете распространять этот документ в любом виде при условии предоставления исходных текстов; вы можете распечатывать этот документ для себя; вы можете его модифицировать (или копировать часть информации) при условии *сохранения на результат текущей лицензии*; При печати больших тиражей (> 100 экземпляров), а также для изменения текущей лицензии вам следует получить разрешение авторов. Для получения более подробной информации о лицензии следует обратиться к первоисточнику по адресу <http://www.gnu.org>.

Замечания, связанные с содержанием и оформлением данного пособия, просьба присылать Балдину Евгению Михайловичу по электронной почте E.M.Baldin@inp.nsk.su. Поэтому же адресу следует связаться для получения исходников. Этот текст, а так же аутентичные копии вариантов, которые давались абитуриентам на экзамене, можно скачать с домашней странички ответственного за выпуск: <http://kedr.inp.nsk.su/~baldin> из раздела «Варианты вступительных экзаменов».

Советы абитуриентам

Экзамен по физике длится четыре астрономических часа для Факультета Естественных Наук (ФЕН) и Геолого-Геофизического Факультета (ГГФ) и пять часов для Физического Факультета (ФФ). Для поддержания сил на экзамен лучше всего взять большую плитку шоколада — этим *сухим* пайком и ограничиться. Если не важно себя чувствуете, то попытайтесь решить эту проблему *до* начала экзаменов. Если есть необходимость, то сходите к врачу — *со здоровьем не шутят*. Курить во время экзамена *не* разрешается.

Обязательно возьмите на экзамен одну или две запасные ручки. Нет более жалкого зрелища, чем экзаменуемый, который пытается расписать ручку. Специально купите *до* экзамена новую ручку. У вас должна *быть* линейка, и вы должны *уметь* ей пользоваться. Так как ваше решение

¹GNU Free Documentation License.

будут проверять, то сделанные вами чертежи должны быть *понятны*. А вот калькулятор только отвлекает. Единственный тип задания, где потребуется получение численного ответа — это «задача-оценка»². Вычисление на калькуляторе не уберезит вас от ошибок, зато даёт ошибочную уверенность в правильности ваших действий — «машина не может ошибаться».

Перед экзаменом прорешайте с десятков вариантов³ за предыдущие годы для оттачивания ваших навыков. Это *лучший* способ подготовки.

Помните, что *всё* что от вас требуется, это знание физики в объёме школьного курса. Поэтому, если вы чего-то не понимаете, то переберите в уме *все*⁴ основные законы физики, которые изучали в школе.

Если не понимаете как решать задачу, то нарисуйте рисунок к ней, опираясь только на условие — возможно, станет понятнее.

Если что-то не понятно в условии, то после того как несколько раз перечитаете условие, задайте вопрос экзаменаторам. Объяснять условия задач — это часть их работы.

Не пользуйтесь шпаргалками — они не помогут.

Помните, что задача не считается решённой, если приводится лишь ответ без объяснений. Поэтому оформляйте решение максимально подробно, но меру знайте⁵. Объясняйте откуда у вас взялась та или иная буква.

За полтора часа до конца экзамена буквально *бросьте всё* и оформите те задачи, которые вы уже решили.

Обязательно проверьте все свои ответы. Полезно обвести их рамкой, чтобы выделить. Учтите, что черновики тоже проверяются.

Немного истории⁶

В 1966 году были сформулированы основные принципы экзамена: экзамен не должен выходить за рамки школьной программы; в каждом варианте обязательно должна быть одна несложная (утешительная) задача; задачи располагаются по нарастающей трудности; задачи оцени-

²Четвёртая задача в вариантах для ФФ.

³Потратьте на каждый вариант по 2–3 часа каждое воскресенье, начиная за 3 месяца до начала экзаменов.

⁴Законы Ньютона, Законы сохранения энергии и импульса, Уравнение Клапейрона-Менделеева, Закон Кулона, Закон Ома, Закон Ампера, Закон Фарадея — то есть, все *десять* основных законов (дайте мне знать, если вспомните больше).

⁵Для объяснения выведенных уравнений достаточно ссылок на основные законы.

⁶Из статьи Г.В. Меледина. «Вступительный экзамен глазами экзаменатора».

ваются в баллах; время — по часу на задачу; задачи в вариантах — не модификации одной и той же идеи, а разные.

В 1972 году задач стало 5 — появилась задача-демонстрация. Абитуриент должен найти объяснение наблюдаемого им явления.

В 1976 году одной из пяти задач стала задача-оценка, где требовалось оценить порядок⁷ физической величины, построив простейшую модель, самостоятельно выбрав необходимые параметры и задав их численное значение.

И в случае с задачей-демонстрацией, и в случае с задачей-оценкой экзаменационная комиссия очень опасалась нововведений, поскольку такие задачи в школе не встречаются. Но опасения оказались напрасны. Задачи хорошо работали на отбор людей, нацеленных на физику.

Из трёх расчётных задач первая, по-прежнему, не сложная, вторая средней трудности, а третья требует некоторой смекалки и умения разобратся в физике явления. Довольно скоро выяснилось, что сложные задачи, которые выделяют явно очень сильных и хорошо подготовленных абитуриентов, перестали работать на отбор. Те, кто их решал, блестяще справлялись со всем задачами, а остальные даже не брались за сложную. Так что чересчур сложные задачи перестали использоваться.

В 1990 году выпускников Физико Математической Школы (ФМШ) при НГУ отделили от остального набора и стали принимать по результатам учёбы и выпускных экзаменов по утверждённым Учёным Советом НГУ правилам. Студенты, прошедшие ФМШ, всегда составляли авангард и продолжают быть среди самых сильных, активных и перспективных студентов НГУ. Но вот «хвост распределения» набираемых из ФМШ похоже поставляет и заметную долю «слабых».

Немного информации по исходным текстам пособия

В этом пособии 98 нумерованных формул, 59 рисунков и 9 таблиц. Написание пособия ушло около двух недель чистого времени одного человека.

Исходный текст состоит из примерно 3400 строчек, около 13 тысяч слов и 125 с половиной тысячи знаков. Пособие создана с помощью издательской системы \LaTeX . В качестве базового дистрибутива использовался \TeX Live 2003 , который можно взять из любого *CTAN* архива.

Для создания картинок использовалась программа *metapost*. Все картинки описаны на языке *Meta* и преобразованы в формат *eps*. Файлы

⁷Получить не абсолютно точный ответ, как в расчётных задачах, а сделать приблизительную оценку.

с исходниками картинок состоят примерно из 2700 строчек и содержат свыше 9 тысяч слов и около ста тысяч символов.

В качестве текстового редактора использовался **emacs**.

Варианты по физике за 2004 год

В этом разделе представлены варианты по физике, которые использовались для отбора абитуриентов в НГУ в 2004 году. Здесь представлены варианты, которые давались весной на открытой олимпиаде (см. стр. 4), использовались в качестве выпускных в ФМШ (см. стр. 12) и в качестве вступительных летних экзаменов в НГУ (см. стр. 16). Для подготовке к экзамену по физике следует просмотреть все перечисленные здесь варианты.

Открытая олимпиада

Начиная с 1994 года во время весенних каникул в НГУ, а также в городах, которые заключили договор, проводится Открытая Олимпиада. По результатам открытой олимпиады выставляются оценки, с которыми абитуриент может участвовать в летних приёмных экзаменах в порядке общего конкурса. К поступлению рекомендуются только выпускники школ текущего года.

Открытая Олимпиада позволяет оценить свои силы и получить бесценный опыт участия в экзаменах.

В 2004 году кроме НГУ Открытая Олимпиада проводилась в следующих городах: Абакан, Алматы, Ангарск, Барнаул, Братск, Горно-Алтайск, Железногорск, Кызыл, Новокузнецк, Улан-Удэ, Усть-Каменогорск, Ханты-Мансийск, Якутск.

Выездные варианты помечены литерой «в»: ФФ-42в, ФЕН-42в, ГГФ-410в. Остальные варианты относятся к Новосибирскому туру Открытой Олимпиады.

Обращение к учителям-физикам: Уважаемые коллеги если у вас есть желание организовать в вашем городе проведение Открытой Олимпиады, то свяжитесь с приёмной комиссии НГУ по телефонам (3832) 34–35–90, (3832) 39–73–77 для выяснения условий проведения.

Вариант ФФ-41р

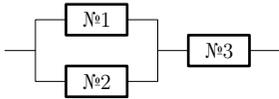


Рис. 1. К задаче №1.

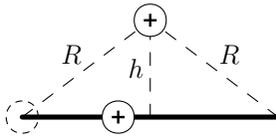


Рис. 2. К задаче №2.

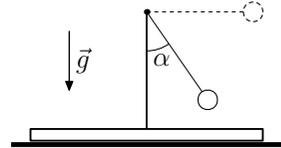


Рис. 3. К задаче №3.

Задача №1 На трёх сопротивлениях (№1, №2 и №3) при подаче на них одного и того же напряжения выделяются мощности N , $N/2$ и $N/3$ соответственно. Какая мощность выделится при подаче того же напряжения на цепь, в которой сопротивления соединены по указанной на рис. 1 схеме?

Задача №2 На расстоянии h от середины спицы и на расстоянии R от её концов закреплён заряд q (См. рис. 2). На левый конец спицы надевают бусинку с таким же зарядом q и массой m . Бусинку толкают вдоль спицы. Найдите начальную скорость бусинки, если её скорость при прохождении середины спицы равна v_1 , а при достижении правого конца равна v_2 . Коэффициент трения всюду вдоль спицы одинаков.

Задача №3 К концу стержня, закреплённого на широкой подставке, привязан на нерастяжимой нити груз массы m (См. рис. 3). Масса подставки со стержнем M . Груз отклонили на 90° от вертикали и отпустили. Найдите коэффициент трения между подставкой и горизонтальной поверхностью стола, если подставка начала сдвигаться в момент, когда нить образует угол α с вертикалью.

Задача №4 Оценить силу давления каскадера на мотоцикл при приземлении после прыжка на мотоцикле через автобус.

Предполагается, что вы хорошо представляете явление, можете сами задать недостающие и необходимые для решения задачи величины, выбрать их числовые значения и получить численный результат.

Задача №5 Демонстратор держится за провод, подсоединённый к электроскопу. Демонстратор подпрыгивает. При этом стрелка электроскопа отклоняется и возвращается назад после приземления. Объясните наблюдаемое явление.

Вариант ФФ-42р

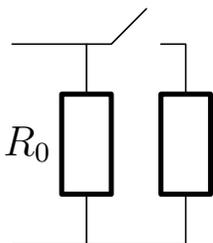


Рис. 4. К задаче №1.

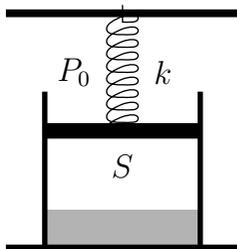


Рис. 5. К задаче №2.

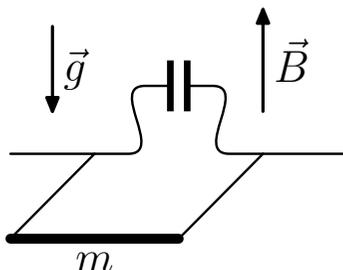


Рис. 6. К задаче №3.

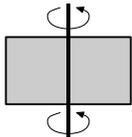
Задача №1 Схема, изображенная на рис. 4, подключена к источнику тока. При разомкнутом ключе напряжение на сопротивлении R_0 равно V_0 . При подключении неизвестного сопротивления напряжение на R_0 равно V при том же токе от источника. Найдите величину подсоединённого сопротивления.

Задача №2 В лёгкий поршень сечения S упирается пружина жёсткости k , как это показано на рис. 5. Под поршнем находится воздух с паром жидкости и сама жидкость при температуре T_0 , равной температуре кипения жидкости при атмосферном давлении P_0 . При остывании до температуры T_1 , когда давлением пара можно пренебречь, поршень опускается на расстояние h . Найдите каким стало давление воздуха, если его объём после остывания равен V_1 . Изменением объёма жидкости пренебречь.

Задача №3 Квадратная проволочная рамка может вращаться без трения вокруг горизонтальной стороны (См. рис. 6), в разрыв которой включён конденсатор ёмкости C . Масса противоположной стороны равна m . Рамка находится в вертикальном магнитном поле B , её отпускают из горизонтального положения. Какова скорость массивной стороны, когда она опустится на h ?

Ускорение свободного падения g , индуктивностью, сопротивлением рамки и массами её боковых сторон пренебречь.

Задача №4 Оцените скорость на ободе центрифуги, если при её вращении максимальное давление в водном растворе может в 500 раз превысить атмосферное давление.



Предполагается, что вы хорошо представляете явление, можете сами задать недостающие и необходимые для решения задачи величины, выбрать их числовые значения и получить численный результат.

Задача №5 Демонстратор держится за провод, подсоединённый к электроскопу. Демонстратор подпрыгивает. При этом стрелка электроскопа отклоняется и возвращается назад после приземления. Объясните наблюдаемое явление.

Вариант ФФ-43в

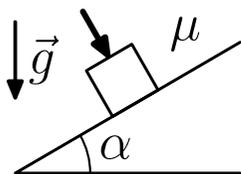


Рис. 7. К задаче №1.

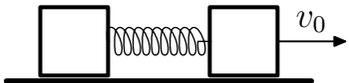


Рис. 8. К задаче №2.

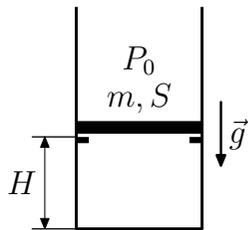


Рис. 9. К задаче №3.

Задача №1 С плоскости, которая образует угол α с горизонталью, соскальзывает тело массы m , как это показано на рис. 7. С какой силой, направленной перпендикулярно плоскости, нужно прижать тело, чтобы оно двигалось с постоянной скоростью? Коэффициент трения тела с плоскостью μ . Ускорение свободного падения g .

Задача №2 На горизонтальной плоскости (См. рис. 8) находятся два тела массой m каждое, соединенные недеформированной пружиной жесткости k . Одному из тел сообщили скорость v_0 . Найдите натяжение пружины в момент, когда скорость второго тела достигнет значения v . Трением пренебечь.

Задача №3 Тонкий поршень массы m и сечения S лежит на выступах, закреплённых на высоте H от дна высокого открытого сверху цилиндра (См. рис. 9). Под поршнем находится гелий при атмосферном давлении P_0 . Гелий начинают постепенно нагревать. Какое количество тепла нужно сообщить гелию, чтобы расстояние между дном и поршнем удвоилось? Ускорение свободного падения g .

Задача №4 Над ровными участками поверхности Земли имеется электрическое поле с напряжённостью ≈ 100 В/м, направленное вертикально вниз. Оцените каким будет заряд на вас, если вы лежите на пляже.

Предполагается, что вы хорошо представляете явление, можете сами задать недостающие и необходимые для решения задачи величины, выбрать их числовые значения и получить численный результат.

Задача №5 В стеклянную трубку с суженным концом набирают горячую воду примерно наполовину. Закрыв пальцем верхнее широкое отверстие, трубку вынимают из воды и поднимают суженный конец вверх. Из него вырывается струя воды⁸. Объясните наблюдаемое явление.

Вариант ФЕН-41р

Задача №1 Небольшое тело находится на гладком участке горизонтальной поверхности на расстоянии L от границы раздела, за которой коэффициент трения между телом и поверхностью равен μ . Какую скорость сообщили телу, если время движения по гладкому участку оказалось равным времени движения по поверхности с трением?

Задача №2 Невесомый подвижный поршень находится посередине цилиндра, открытого сверху (См. рис. 10), под ним воздух при начальной температуре T_0 . В поршне имеется клапан, открывающийся при перепаде давления P_1 . Атмосферное давление неизменно и равно P_0 . До какой температуры нужно нагреть воздух под поршнем, чтобы клапан открылся? Выступ у верхнего края цилиндра не позволяет поршню выскочить из него.

⁸Струя воды бьёт до потолка.

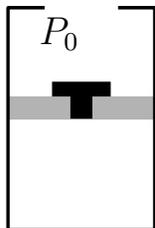


Рис. 10. К №2.

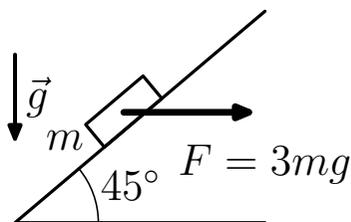


Рис. 11. К задаче №3.

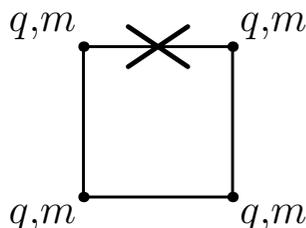


Рис. 12. К задаче №4.

Задача №3 Тело массы m соскальзывает по наклонной плоскости, образующей угол 45° с горизонталью, как это показано на рис. 11. После того, как к нему приложили постоянную силу $F = 3mg$, направленную горизонтально, тело стало подниматься вверх с тем же по величине ускорением, с которым оно исходно соскальзывало вниз. Определите коэффициент трения между телом и плоскостью. Ускорение свободного падения равно g .

Задача №4 Четыре одинаковых заряда q массы m связаны нерастяжимыми и невесомыми нитями так, что они находятся в вершинах квадрата со стороной L (См. рис. 12). Одну нить пережигают. Найдите скорости зарядов когда они окажутся на одной прямой.

Вариант ФЕН-42в

Задача №1 Тело отпустили на высоте H над полом. Определите время пролёта телом участка от высоты h над полом до пола. Ускорение свободного падения g .

Задача №2 Два одинаковых закрытых сосуда соединены трубкой и содержат воздух с одинаковой температурой. Какая масса воздуха перейдёт из правого сосуда в левый, если абсолютную температуру в правом сосуде повышают вдвое, а в левом поддерживают прежней? Общая масса воздуха в сосудах равна m . Объёмом соединительной трубки пренебречь.

Задача №3 На горизонтальном диске вместе с ним вращается тело массы m , связанное с осью вращения растянутой пружиной жёсткости k

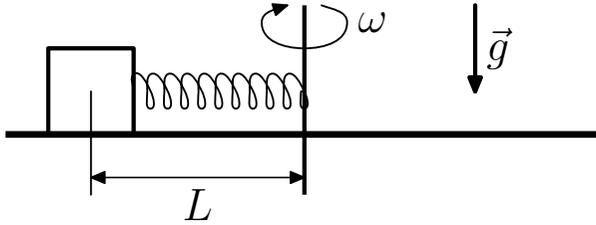


Рис. 13. К задаче №3.

(См. рис. 13). Тело находится на расстоянии L от оси вращения. При уменьшении угловой скорости до ω_1 тело начинает приближаться к оси, а при увеличении до ω_2 — удаляться. Найдите коэффициент трения между телом и диском и начальное удлинение пружины. Ускорение свободного падения g . Размерами тела по сравнению с L можно пренебречь.

Задача №4 Два неподвижных заряженных тела масс t и $2t$ связаны лёгкой нитью длины L , натяжение которой равно T . Нить пережигают. Найдите скорости тел в момент, когда расстояние между ними удвоится.

Вариант ГГФ-49в

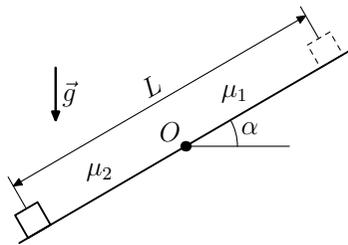


Рис. 14. К задаче №1.

Задача №1 Выше границы раздела поверхностей (точка O на рис. 14) на наклонной плоскости с углом α с горизонталью коэффициент трения $\mu_1 < \operatorname{tg} \alpha$, а ниже $\mu_2 > \operatorname{tg} \alpha$. Небольшое тело, отпущенное из состояния

покоя, прошло до остановки расстояние L . На каком расстоянии от границы раздела оно было отпущено? Ускорение свободного падения равно \vec{g} .

Задача №2 В цилиндре под поршнем находится масса m пара при давлении в два раза меньшем давления насыщенного пара при данной температуре. При постоянной температуре объём пара под поршнем уменьшают втрое. Найдите массу сконденсировавшейся жидкости.

Задача №3 Частица с зарядом q и массой m имеет скорость, направленную перпендикулярно вектору магнитной индукции \vec{B} . Через какое время вектор скорости повернётся на 45° ?

Задача №4 а) Дайте определение ёмкости конденсатора.

б) Напишите выражение для энергии конденсатора. Напряжение на конденсаторе равно U , а заряд q .

Вариант ГГФ-410р

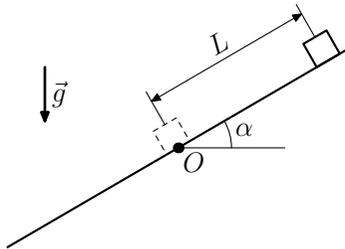


Рис. 15. К задаче №1.

Задача №1 Вдоль наклонной плоскости с углом α с горизонталью и коэффициентом трения $\mu < \operatorname{tg} \alpha$ толкнули небольшое тело, которое поднялось вверх на расстояние L , а затем стало съезжать вниз (См. рис. 15). На каком расстоянии от начальной точки O тело приобретёт скорость, равную по величине начальной? Ускорение свободного падения равно \vec{g} .

Задача №2 В цилиндре под поршнем находятся в равновесии водяной пар и столько же по массе воды. Начальная плотность пара равна ρ_0 . При постоянной температуре, выдвигая поршень, увеличивают втрое объём пара. Какова будет конечная плотность пара?

Задача №3 Частица с зарядом q и массой m имеет скорость \vec{v} , направленную перпендикулярно вектору магнитной индукции \vec{B} . На каком расстоянии от начальной точки она окажется, когда вектор скорости повернётся на 90° ?

Задача №4 а) Как при параллельном соединении конденсаторов подведённый к схеме от источника напряжения заряд связан с зарядами конденсаторов?

б) Каково отношение ёмкостей конденсаторов при параллельном соединении, если их энергии равны W_1 и W_2 ?

Выпускные экзамены ФМШ

В 1990 году выпускников Физико Математической Школы (ФМШ) при НГУ отделили от остального набора и стали принимать по результатам учёбы и выпускных экзаменов по утверждённым Учёным Советом НГУ правилам. В этом разделе приведены варианты выпускных экзаменов по физике 2004 для двухгодичных потоков.

В разные годы для выпускных экзаменов использовались немного разные правила. В 2004 году экзамен длился 4 астрономических часа и состоял из шести задач. Как и в случае обычных вступительных экзаменов в НГУ в вариантах присутствовали задача «оценка» и задача «объяснить явление».

В этом разделе представлены варианты, которые писали выпускники двухгодичных потоков.

Вариант I



Рис. 16. К задаче №1.

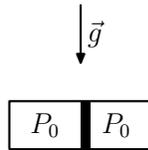


Рис. 17. К задаче №2.

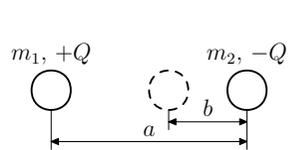


Рис. 18. К задаче №3.

Задача №1 На брусок массы M , находящийся в контакте с тонкостенным цилиндром массы m (см. рис. 16), действует постоянная сила F . Найдите ускорение бруска, если цилиндр движется по горизонтальной поверхности без проскальзывания. Трением между бруском и цилиндром, а так же между бруском и горизонтальной плоскостью пренебречь.

Задача №2 В горизонтально расположенном цилиндрическом сосуде находится водяной пар при давлении P_0 . Давление насыщенных паров воды при этой температуре равно $2P_0$. Сосуд разделён на две равные части массивным тонким поршнем, как показано на рис. 17. После того, как сосуд поставили вертикально, поршень разделил объём в отношении $1 : 5$. Определите массу поршня, если его площадь равна S . Температуру считать неизменной.

Задача №3 Два маленьких шарика, массы которых равны m_1 и m_2 , а заряды $\pm Q$, находятся на расстоянии a (см. рис. 18). Левый шарик отпускают. Когда расстояние между шариками становится b — отпускают правый. Найдите скорость, с которой будут лететь шарики после того, как они столкнутся и слипнутся, т. е. удар абсолютно неупругий.

Задача №4 Посередине между точечным источником света S и плоским зеркалом поместили собирающую линзу с фокусным расстоянием F . При этом изображение источника совпало с ним самим же. Такой же результат получился и для линзы с фокусным расстоянием $2F$. Найдите расстояние между точечным источником S и зеркалом.

Задача №5 Оцените относительное изменение радиуса пузырька воздуха при всплытии в аквариуме.

Предполагается, что Вы хорошо представляете явление, можете сами задать недостающие и необходимые для решения задачи величины, выбрать их числовые значения и получить численный результат.

Задача №6 Брусок лежит на горизонтальной плоскости (см. рис. 19). Нить, перекинутая через блок, одним концом привязана к бруску, другим — к грузу. Если груз немного приподнять и отпустить, то брусок смещается по направлению к блоку. Если же между грузом и нитью вставить пружину и снова приподнять груз на *такую же* высоту и отпустить, то брусок остаётся на месте. Объясните это явление.

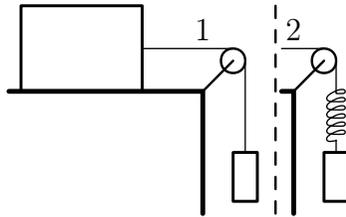


Рис. 19. К задаче №6.

Вариант II

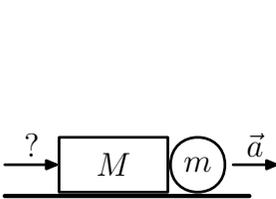


Рис. 20. К задаче №1.

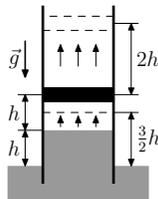


Рис. 21. К задаче №2.

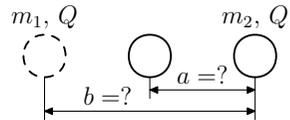


Рис. 22. К задаче №3.

Задача №1 Брусок массы M , находящийся в контакте с тонкостенным цилиндром массы m (см. рис. 20), движется с постоянным ускорением a . Найти действующую на брусок силу, если цилиндр движется по

горизонтальной поверхности без проскальзывания. Трением между бруском и цилиндром, а так же между бруском и горизонтальной плоскостью пренебречь.

Задача №2 Вертикальная труба открытым концом вставлена в горячую воду. Поршень находится на высоте $2h$, а вода в трубе — на высоте h относительно наружного уровня воды (см. рис. 21). Между поршнем и водой находится воздух с насыщенным паром. Поршень медленно подняли дополнительно на высоту $2h$, при этом вода в трубе поднялась дополнительно на $h/2$. Найдите давление насыщенных паров жидкости. Наружное давление равно P_0 , плотность жидкости ρ .

Задача №3 Два маленьких шарика, массы которых равны m_1 и m_2 , а заряды Q , находятся на расстоянии a (см. рис. 22). Левый шарик отпускают. Когда расстояние между шариками становится b — отпускают правый. Скорости шариков на бесконечности равны v_1 и v_2 , соответственно. Найдите расстояния a и b .

Задача №4 Посередине между точечным источником S и плоским зеркалом поместили собирающую линзу с фокусным расстоянием F . При этом изображение источника совпало с ним самим же. Такой же результат получился и для линзы с фокусным расстоянием $F/2$. Найдите расстояние между точечным источником и зеркалом.

Задача №5 Оцените относительное изменение радиуса пузырька воздуха при всплытии в аквариуме.

Предполагается, что Вы хорошо представляете явление, можете сами задать недостающие и необходимые для решения задачи величины, выбрать их числовые значения и получить численный результат.

Задача №6 Брусок лежит на горизонтальной плоскости (см. рис. 19 на стр. 14). Нить, перекинутая через блок, одним концом привязана к бруску, другим — к грузу. Если груз немного приподнять и отпустить, то брусок смещается по направлению к блоку. Если же между грузом и нитью вставить пружину и снова приподнять груз на *такую же* высоту и отпустить, то брусок остаётся на месте. Объясните это явление.

Вступительные экзамены в НГУ

Вступительные экзамены в НГУ проходят летом с 1го по 15 июля включительно. В отличии от «Открытой олимпиады» в список тем для составления задач добавляется оптика.

Экзамен по физике длится четыре астрономических часа для Факультета Естественных Наук (ФЕН) и Геолого-Геофизического Факультета (ГГФ) и пять часов для Физического Факультета (ФФ).

Примерно через один день после проведения экзамена проводится разбор задач. Обязательно сходите и просмотрите свою работу. Проверку работ ведут квалифицированные преподаватели, но даже они могут пропустить решение какой либо задачи, особенно если вы страдаете неряшливым оформлением.

Поэтому отделяйте черновик от чистовика и выделяйте ответ, например, обведя его. Если не успеваете переписать решение из черновика, то в чистовике напишите об этом и на какой странице следует искать правильное решение. Если в чистовике и в черновике присутствуют два разных решения задачи, то проверяется только то, которое идёт в чистовике.

Вариант ФФ-421

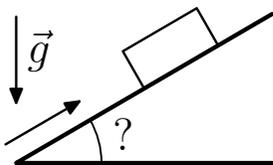


Рис. 23. К задаче №1.

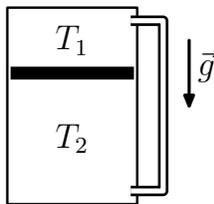


Рис. 24. К задаче №2.

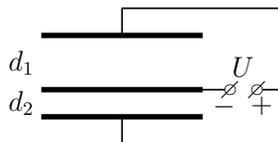


Рис. 25. К задаче №3.

Задача №1 Тело толкнули вверх вдоль шероховатой наклонной плоскости (см. рис. 23) . При подъёме величина ускорения была равна a_1 , при спуске — a_2 . Найдите угол наклона плоскости. Ускорение свободного падения \vec{g} .

Задача №2 Вертикально стоящий цилиндр с газом разделён поршнем массы m и сечения S на два отсека (см. рис. 24). Под действием

собственного веса поршень медленно опускается. При этом давления в отсеках остаются неизменными, что обеспечивается перетеканием газа по трубке пренебрежимо малого объёма. Температуры газа в отсеках поддерживаются постоянными, выше поршня — T_1 , ниже — T_2 ($T_2 > T_1$). Найдите давления газа в отсеках. Ускорение свободного падения \vec{g} , трением поршня о стенки пренебречь.

Задача №3 Три параллельные проводящие пластины, площади S каждая, подключены к источнику с напряжением U как показано на рис. 25. Расстояния от внешних пластин до средней равны d_1 и d_2 , соответственно. Найдите электрическую силу, действующую на среднюю пластину, если расстояния между пластинами много меньше их размеров.

Задача №4 Оцените среднюю мощность, развиваемую силой давления пороховых газов, действующей на пулю при выстреле.

Предполагается, что Вы хорошо представляете явление, можете сами задать недостающие и необходимые для решения задачи величины, выбрать их числовые значения и получить численный результат.

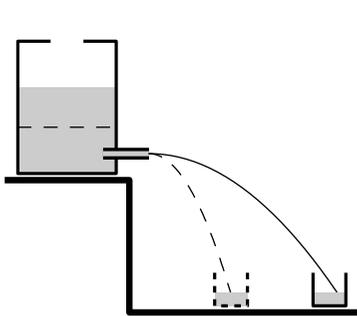


Рис. 26. К задаче №5.

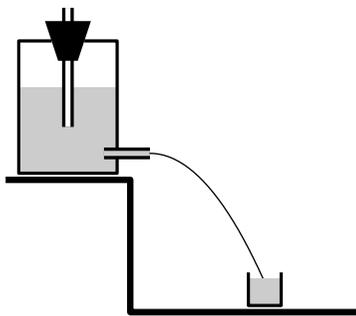


Рис. 27. К задаче №5.

Задача №5 Сосуд со сливным отверстием вблизи дна заполняется водой. Из отверстия начинает бить струя воды, вначале попадающая в горловину колбы. По мере вытекания струя перестаёт попадать в горловину и колба остаётся незаполненной (см рис. 26). Если сосуд, заполненный водой, закрыть пробкой с трубкой, открытой сверху и погруженной

снизу в воду, то струя не уходит от горловины и наполняет колбу доверху (см рис. 27). Объясните демонстрируемое явление.

Вариант ФФ-422

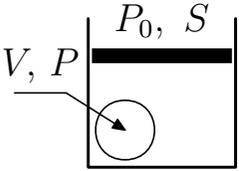


Рис. 28. К задаче №1.

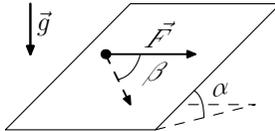


Рис. 29. К задаче №2.

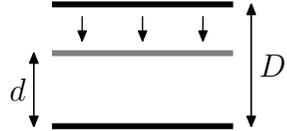


Рис. 30. К задаче №3.

Задача №1 В цилиндре сечения S под невесомым поршнем находится воздух и резиновый шарик объёма V с давлением воздуха в нём P (см. рис. 28). На сколько поднимется поршень, если шарик лопнет? Трения нет, атмосферное давление равно P_0 , температура остаётся неизменной.

Задача №2 По плоскости с углом наклона α движется с постоянной скоростью тело, которое тянут вдоль плоскости горизонтальной силой \vec{F} . При этом скорость тела направлена под углом β к направлению силы \vec{F} (см. рис. 29). Найдите массу тела и коэффициент трения между телом и плоскостью. Ускорение свободного падения \vec{g} .

Задача №3 Две металлические пластины массы m каждая образуют разомкнутый плоский конденсатор ёмкости C , заряженный до напряжения U (см. рис. 30). Сначала отпускают верхнюю пластину, а в момент, когда расстояние между пластинами сокращается от начального D до d , отпускают и нижнюю. Найдите с скорость пластин после абсолютно неупругого удара. Сила тяжести отсутствует.

Задача №4 Спортсмен подпрыгивает со скакалкой, так что за один прыжок происходит два полных оборота скакалки. Оцените среднюю скорость середины шнура скакалки.

Предполагается, что Вы хорошо представляете явление, можете сами задать недостающие и необходимые для решения задачи величины, выбрать их числовые значения и получить численный результат.

Задача №5 Сосуд со сливным отверстием вблизи дна заполняется водой. Из отверстия начинает бить струя воды, вначале попадающая в горловину колбы. По мере вытекания струя перестаёт попадать в горловину и колба остаётся незаполненной (см рис. 26 на стр. 17). Если сосуд, заполненный водой, закрыть пробкой с трубкой, открытой сверху и погруженной снизу в воду, то струя не уходит от горловины и наполняет колбу доверху (см рис. 27 на стр. 17). Объясните демонстрируемое явление.

Вариант ФЕН-401

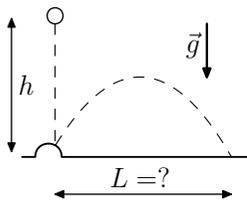


Рис. 31. К задаче №1.

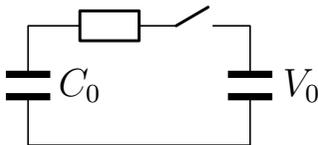


Рис. 32. К задаче №2.

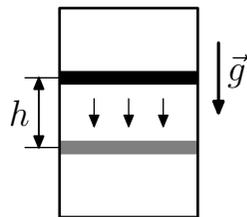


Рис. 33. К задаче №3.

Задача №1 Шарики роняют с высоты h на сферический выступ горизонтальной поверхности (см. рис. 31). На какое наибольшее расстояние L по горизонтали может отскочить шарик после упругого удара о выступ? Радиусами шариков и выступа пренебречь по сравнению с h .

Задача №2 Напряжение на конденсаторе неизвестной ёмкости равно V_0 . К нему через резистор подсоединяют 2-й незаряженный конденсатор ёмкости C_0 , после чего на 1-ом конденсаторе устанавливается напряжение V (см. рис. 32). Найдите его начальный заряд.

Задача №3 Поршень массы m разделяет вертикальный цилиндр объёма V на два отсека и может двигаться без трения (см. рис. 32). В начале давление газа над поршнем равно P_0 . Из-за медленного просачивания газа из нижнего отсека в верхний поршень плавно опускается. Найдите давление в верхнем отсеке, когда при неизменной температуре поршень опустился на h . Ускорение свободного падения \vec{g} .

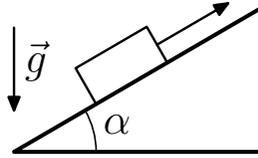


Рис. 34. К задаче №4.

Задача №4 Тело массы m толкнули вверх по наклонной плоскости с углом наклона α (см. рис. 34). Оно поднималось от исходной точки вверх время t , а спускалось назад к исходной точке время $2t$. Определите коэффициент трения и тепло, выделившееся при возвращении тела к исходной точке. Ускорение свободного падения \vec{g} .

Вариант ГГФ-411

Задача №1 В баллоне со сжатым газом начальное давление равно P_0 . После того, как из него наполнили воздушный шарик до объёма V_1 и давления P_1 и закрыли кран, давление в баллоне упало до P_2 . Найдите объём баллона, если температура газа оставалась неизменной, а объём соединительных трубок пренебрежимо мал.

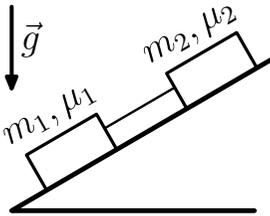


Рис. 35. К задаче №2.

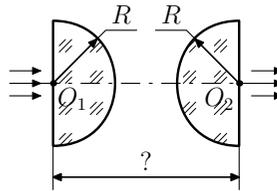


Рис. 36. К задаче №3.

Задача №2 На наклонной плоскости находятся два соединённых невесомой нитью тела с массами m_1 и m_2 (см. рис. 35). Коэффициенты трения между телами и наклонной плоскостью равны μ_1 и μ_2 , соответственно, причём у верхнего коэффициент трения больше чем у нижнего $\mu_2 > \mu_1$. При каком наибольшем угле наклона тела ещё не начнут соскальзывать с наклонной плоскости?

Задача №3 Два стеклянных полушария радиуса R обращены выпуклыми сторонами друг к другу, а плоские стороны перпендикулярны оси, проходящей через центры O_1O_2 (см. рис. 36). Показатель преломления стекла n . При каком расстоянии между плоскими сторонами тонкий параллельный пучок света, направленный по оси симметрии системы, выйдет так же параллельно этой оси? Воспользуйтесь тем, что для малых углов $\sin \alpha \simeq \operatorname{tg} \alpha \simeq \alpha$.

Задача №4 а) Что такое фотоэффект?

б) Как связаны между собой максимальная скорость электронов, вылетающих из металла, с частотой падающего на металл света?

в) Что такое красная граница фотоэффекта?

Статистика по результатам

В этом разделе представлена статистика, собранная по результатам проверки физических вариантов в 2004 году. Здесь обработаны данные по вариантам, которые были представлены на открытой олимпиаде (см. стр. 22), которые давались в качестве выпускных в ФМШ (см. стр. 26) и в качестве вступительных летних экзаменов в НГУ.

Не стоит строить далеко идущие предположения относительно данных, которые будут приведены в этом разделе. Здесь можно уловить общие тенденции, но разобрать частные случаи не получится.

Так как было не совсем понятно какими образом должны быть представлены данные, то данная обработка производилась в ручную, поэтому вполне возможны ошибки. Если статистика окажется полезной для проведения экзаменов по физике в будущем, то будет разработан инструментарий, который позволит уменьшить число не вынужденных ошибок до возможного предела.

Если у вас есть предложения/замечания по этому разделу, то перешлите их по электронной почте E.M.Baldin@inp.nsk.su.

Открытая Олимпиада 2004

При проверке работ по физике каждой задаче приписывается максимальное число баллов, которое может получить абитуриент за идеальное решение. Если же решение не полное, но в нём присутствуют разумные предположения или записаны правильные уравнения, имеющие отношения к задаче, то абитуриент получает часть от максимально возможных баллов. Таким образом, даже не решив полностью задачу, вы добавляете себе баллов.

Когда все работы проверены, то для каждого варианта, строится гистограмма как на рис. 37. Далее после совещания расставляются границы для оценок. Работы, которые находятся на «границе» перепроверяются на предмет уточнения оценки. При этом действует правило, что все сомнения трактуются в пользу абитуриента.

Если работ немного, то может оказаться так, что пятёрок нет вообще (См. рис. 38). То что, распределение по баллам для выездных олимпиад сильно походит на экспоненциальное распределение с локальными пиками в районе 8 и 18 баллов, объясняется аномально большим количеством работ из Якутска. С другой стороны в результате такой тотальной проверки из Якутска мы получаем значительное число хороших ребят.

Вариант ФФ-43в (весна 2004)

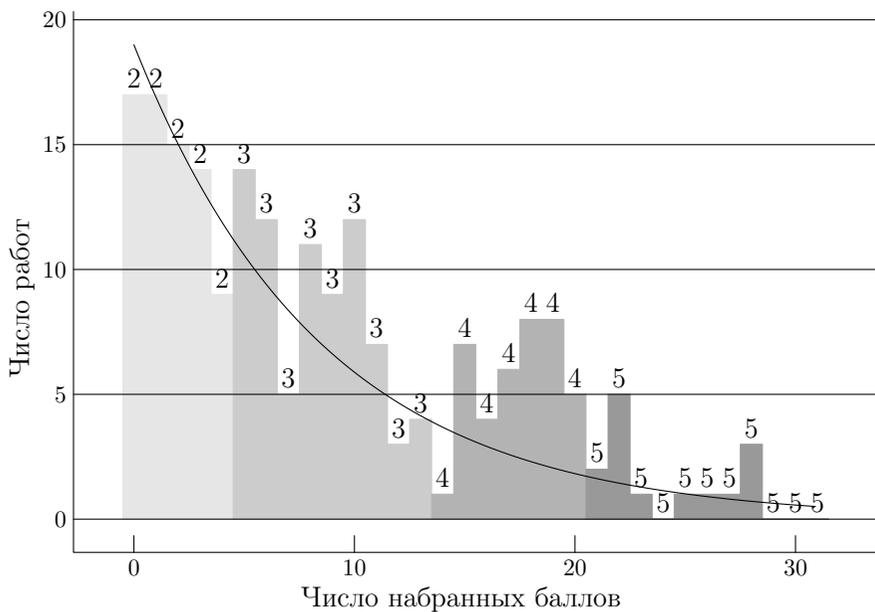


Рис. 37. Распределение по баллам (выездная Открытая Олимпиада)

Чтобы получить хорошую оценку необходимо решить три-четыре задачи частично или полностью. В таблицах 1 и 2 представлена разбалловка по задачам для ФФ и ФЕН, соответственно. В таблице 9 представлены границы оценок. От проверки к проверке границы меняются. Оценка отлично ставится, если полностью решены три теоретические задачи на ФФ или три задачи на ФЕН и ГГФ.

Рассмотрим подробнее как решались каждая из задач. В качестве предмета для рассмотрения выберем абитуриентов, поступающих на физфак, которые писали вариант ФФ-41р. На рис. 39 представлено распределение баллов для каждой из задач варианта. Более тёмная гистограмма отмечает те работы, за которые были поставлены оценки хорошо и отлично. Видно, что с первыми тремя теоретическими задачами хорошисты и отличники справляются значительно лучше, чем все остальные. Разнойбой становится виден при проверке задач № 4 и № 5. Это задача оценка и задача объяснить явление. Этот класс задачи специально задумывался для того, чтобы абитуриенты с относительно плохой подготовкой, но

Вариант ФЕН-42в (весна 2004)

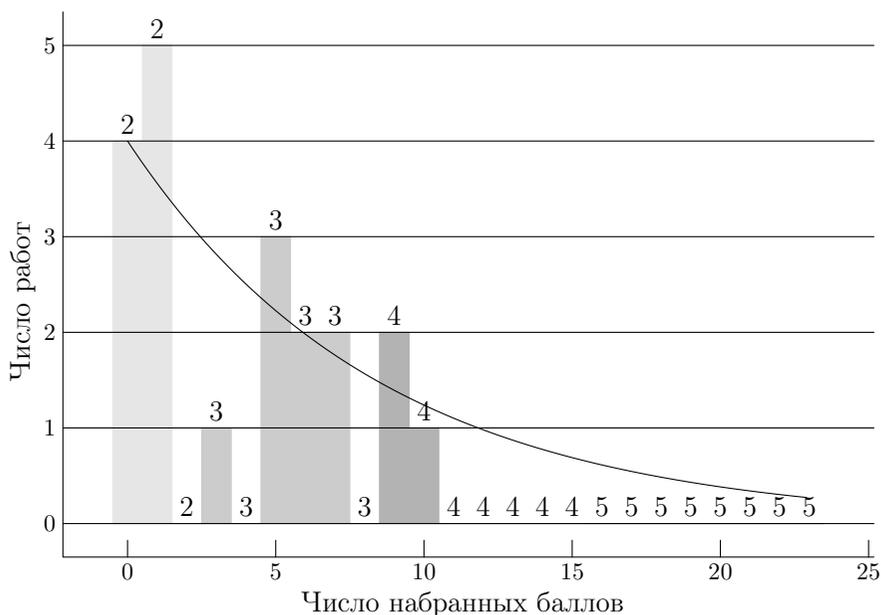


Рис. 38. Распределение по баллам (выездная Открытая Олимпиада)

имеющих «физическое чутьё» смогли на них набрать баллы. Удручающей выглядит ситуация для задачи объяснить явление (См. стр. 5). Очевидно, что с электростатикой в школе сейчас есть явные проблемы.

Интересно посмотреть распределение по оценкам в зависимости от факультета. В таблице 4 и на рис. 40 немного по разному представлено распределение оценок в зависимости от факультета на который подаётся заявление. Для представления были взяты варианты, которые давались на выезд. Следует отметить, что поступающие на ФФ и ФИТ пишут один и тот же вариант. Поступающие на Лечебное Дело и ФЕН не разделялись, так как общее число работ не велико.

Из представленных распределений можно заметить, что только те, кто подавал заявление на ГГФ более-менее правильно оценивали свои силы. Это видно по тому, что количество пятёрок и четвёрок примерно равно количеству двоек и троек. Подавшие заявление на ФИТ в большинстве своём просто не представляют сложности экзамена. Порадовали абитуриенты, подавшие заявление на ФФ — не так хорошо, как ГГФ,

Вариант	баллы					
	1	2	3	4	5	Σ
ФФ-41р	5	8	8	5	5	31
ФФ-42р	5	7	9	5	5	31
ФФ-43в	5	7	9	5	5	31

Таблица 1. Разбалловка для ФФ

Вариант	баллы				
	1	2	3	4	Σ
ФЕН-41р	4	5	5	7	21
ФЕН-42в	5	5	6	8	23

Таблица 2. Разбалловка для ФЕН

Вариант	Границы оценок			
ФФ-41р	$0 \leq "2" \leq 5$	$6 \leq "3" \leq 11$	$12 \leq "4" \leq 19$	$20 \leq "5" \leq 31$
ФФ-42р	$0 \leq "2" \leq 3$	$4 \leq "3" \leq 11$	$12 \leq "4" \leq 16$	$17 \leq "5" \leq 31$
ФФ-43в	$0 \leq "2" \leq 4$	$5 \leq "3" \leq 14$	$15 \leq "4" \leq 20$	$21 \leq "5" \leq 31$
ФЕН-41р	$0 \leq "2" \leq 5$	$6 \leq "3" \leq 10$	$11 \leq "4" \leq 16$	$17 \leq "5" \leq 21$
ФЕН-42в	$0 \leq "2" \leq 2$	$3 \leq "3" \leq 8$	$9 \leq "4" \leq 15$	$16 \leq "5" \leq 23$
ГГФ-49в	$0 \leq "2" \leq 4$	$5 \leq "3" \leq 9$	$10 \leq "4" \leq 14$	$15 \leq "5"$

Таблица 3. Границы оценок (Открытая Олимпиада)

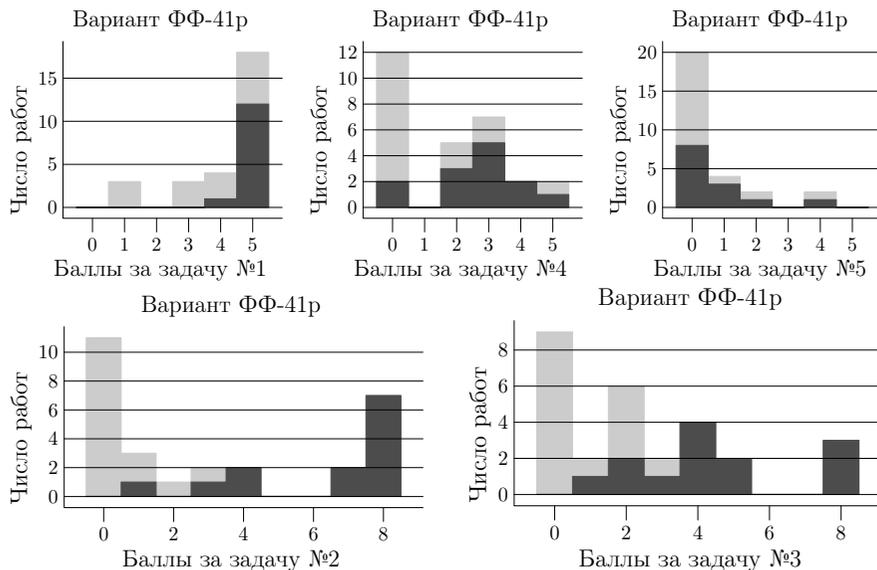


Рис. 39. Распределение баллов по задачам. Более тёмная гистограмма отмечает те работы, которые заслужили оценки 4 и 5.

но довольно неплохо. Тем кто писал на ФЕН просто необходима дополнительная подготовка.

Факультет	оценки			
	2	3	4	5
ФФ	18	28	24	8
ГГФ	13	15	18	7
ФИТ	51	41	13	5
ММФ (ГГФ)	1	1	0	1
ММФ (ФФ)	6	8	4	0
ФЕН	9	8	3	0
ММФ (ФЕН)	1	0	0	0

Таблица 4. Распределение оценок на Открытой Олимпиаде 2004. Сортировка по пятёркам. Больше пятёрок — выше место.

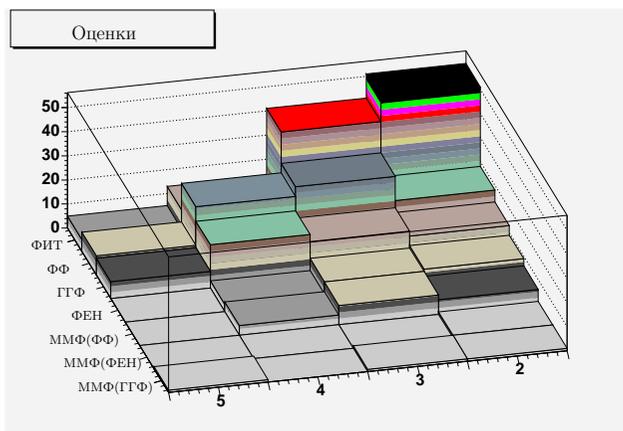


Рис. 40. Распределение оценок на Открытой Олимпиаде 2004.

Выпускные экзамены ФМШ 2004

Я не гарантирую, что все цифры, приведённые здесь, являются истинными. Во время подсчёта я вполне мог допустить ошибку. Если вы обнаружили что-то, что вызывает у вас недоумение, то просьба сообщить

мне об этом по электронной почте: E.M.Baldin@inp.nsk.su. Критика и исправления принимаются с благодарностью.

Письменный экзамен

Выпускные экзамены ФМШ по физике в 2004 году длились 4 астрономических часа. Двухгодичные и одногодичные потоки писали разные варианты. В этом разделе приведена статистика, которая относится к двухгодичному потоку. Если у вас есть информация по одногодичному потоку, то дайте мне знать об этом по электронной почте: E.M.Baldin@inp.nsk.su.

Оба варианта из двухгодичного потока (см. стр. 13 и стр. 14) примерно одной сложности, поэтому границы оценок выставлялись по одной гистограмме. Сама гистограмм представлена на рис. 41. В среднем выпускные экзамены написаны очень хорошо. К сожалению хорошая подготовка учащихся ФМШ является не единственной причиной такого состояния дел, но в целом всё прошло без эксцессов.

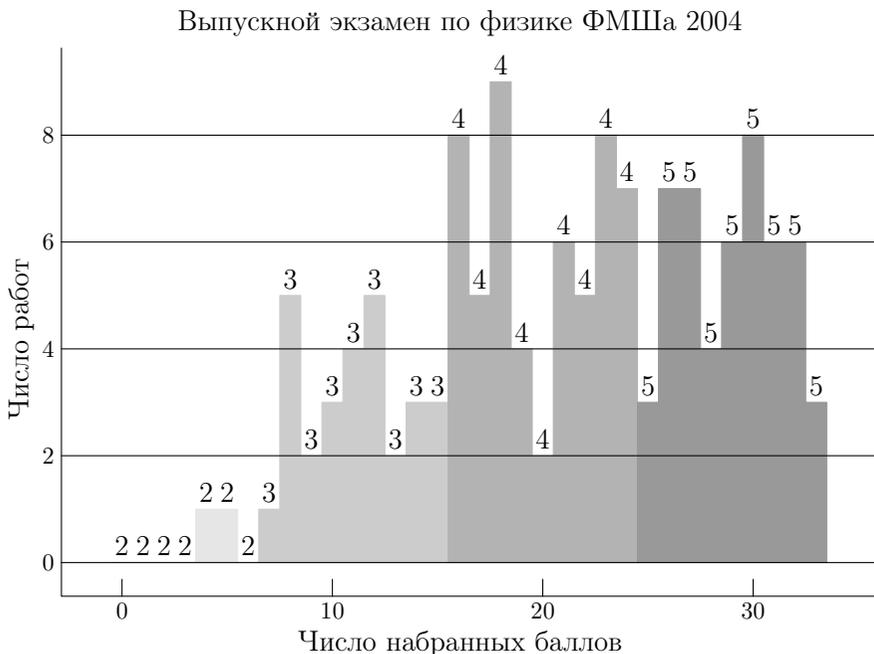


Рис. 41. Распределение по баллам (ФМШ 2004)

Представляет интерес распределение баллов по задачам в зависимости от оценки, полученной на экзамене. На рис. 42 представлены гистограммы по задачам. Более тёмная заливка соответствует оценки отлично, самая светлая — удовлетворительно.

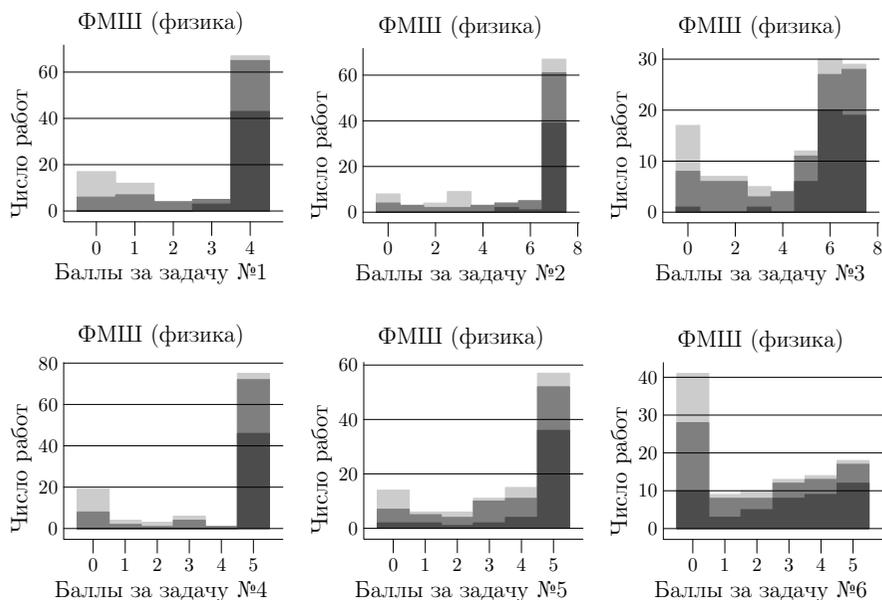


Рис. 42. Распределение баллов по задачам. Самая тёмная гистограмма отмечает те работы, которые заслужили оценки 5, самая светлая — 3.

Из распределений видно, что самой простой задачей оказалась задача на газовые законы №2, не смотря на то, что была оценена в 7 баллов. Так же без особых затруднений решалась и оптическая задача №4.

Не смотря на свою простоту задача «объяснить явление» №6 оказалась самой проблематичной вне зависимости от полученной оценки. В будущем следует увеличивать удельный вес подобных задач, так как они позволяют хорошо дифференцировать учащихся.

Очень хорошо разделила успевающих и не очень учеников задача №1. В этой задаче следовало воспользоваться законом сохранения момента импульса. Эта задача выходит за рамки стандартной школьной программы. Следует увеличить число задач на выпускных экзаменах, для решения, которых используются специфические для ФМШ знания.

Это позволяет определить чему же научились дети непосредственно в ФМШ.

Задача «оценка» №5, как и формально самая сложная задача №3 на закон сохранения энергии-импульса и энергию электрического поля дифференцировали детей вполне удовлетворительно.

Оценки

Класс	письменный	устный	аттестат	число учащихся
одногодичники	3.6	4.1 ↑	4.1 ↑	176
двухгодичники	4.2	4.2 ⇕	4.2 ⇕	133
10-1	4.3	4.4 ↑	4.3 ⇕	20
10-2	4.1	4.1 ⇕	4.1 ⇕	14
10-3	4.4	3.8 ↓	4.1 ↓	21
10-4	4.7	4.6 ↓	4.6 ↓	16
10-5	3.6	4.0 ↑	4.0 ↑	15
10-6	3.9	4.0 ↑	4.6 ↑	24
10-7	4.4	4.4 ⇕	4.3 ↓	23
10-8	3.6	4.0 ↑	4.0 ↑	21
10-9	3.6	4.0 ↑	3.9 ↑	22
10-10	4.0	4.2 ↑	4.3 ↑	25
10-11	4.0	4.4 ↑	4.4 ↑	21
10-12	3.3	4.1 ↑	3.9 ↑	20
10-13	3.4	3.9 ↑	4.0 ↑	23
10-14	3.3	4.0 ↑	4.0 ↑	22
10-15	3.7	4.1 ↑	4.0 ↑	22

Таблица 5. Средние баллы по физике по результатам выпускных экзаменов ФМШ 2004 (жирным шрифтом выделены средние баллы в случае отличия от письменного балла более чем на 0.5 балла).

В таблице 5 представлены средние баллы по физике по результатам выпускных экзаменов ФМШ 2004. В таблице выделены средние баллы если они отличаются от результатов письменного экзамена более чем на 0.5 балла. Стрелочки показывают в каком направлении изменился балл по отношению к письменному экзамену.

У двухгодичных потоков нет серьёзных различий между средними оценками. Исключения составляют классы 10-3 и 10-6. Результаты устных экзаменов 10-3 класса разительно отличаются письменных в отри-

цательную сторону. То же самое можно сказать про письменный экзамен и аттестационные оценки у 10-6 класса, но в этом случае отличия идут в положительном направлении.

В отличие от других двухгодичных классов 10-5 и 10-6 при написании письменного экзамена был поделен по принципу успеваемости. В небольшой аудитории была рассажена примерно треть от общего количества учеников успевающих по физике на 4 и 5, а оставшиеся $\frac{2}{3}$ разместились в основной аудитории. Таким образом, фактически полностью исключались утечки информации⁹. По всей видимости эту практику следует использовать и в дальнейшем для повышения объективности оценки.

В случае одногодичного потока заметно, что результаты письменных экзаменов значительно хуже устных и аттестационных оценок. Я никак не могу прокомментировать результаты по одногодичному потоку, так как письменные экзамены у одногодичного и двухгодичного потока раздельны. По-видимому следует идти по пути объединения письменных экзаменов для получения более объективной оценки. Естественно, в этом случае одногодичники будут в не выгодной ситуации по отношению к двухгодичникам, но всегда есть возможность изменить оценку на устных экзаменах.

Собеседование

По результатам письменных и результирующих оценок по физике и математике с учётом всех остальных оценок, но без особого учёта гуманитарных предметов, выпускники ФМШ 2004 были поделены на четыре категории для допуска к собеседованию. В таблице 6 приведено распределение по разным потокам.

Поток	Степень рекомендации				Всего
	1	2	3	4	
одногодичный	49 (28%)	45 (26%)	47 (27%)	35 (20%)	176
двухгодичный	71 (53%)	34 (26%)	8 (6%)	19 (14%)	133
Всего	120 (39%)	79(26%)	55 (18%)	54 (17%)	309

Таблица 6. Степень рекомендации для собеседования по физике. Чем меньше число, тем выше степень рекомендации.

⁹Во время проверки мной трижды в разных решениях была встречена следующая фраза: «Так как число маленькое, то кубическим корнем из него можно пренебречь». Такую фразу нарочно не придумаешь.

С первой категорией выпускников собеседование было достаточно формальным, но оно всё равно проводилось, но не с целью ещё раз протестировать потенциального студента ФФ, а с целью рекламы факультета и отделения общей физики в частности, так как конкуренция за этих учеников среди факультетов очень серьёзная. На собеседование пришло 58 выпускников первой категории и из них 9 в результате не остались на факультете¹⁰. В процессе разговора с выпускниками затрагивались причины по которым они выбрали физфак. Выявлена положительная корреляция между выступлением представителей факультета, в частности декана А.В. Аржанникова, и степенью заинтересованности в обучении на ФФ.

Различие между второй и третьей категорией было чисто формальное. Отличие заключалось во времени начала собеседования для учеников. Выпускникам третьей категории было рекомендовано прийти на час позже после начала собеседования. На этом различия заканчивались. Собеседования и задачи были для всех одинаковы. Время собеседования выпускнику ФМШ предлагалось для решения от трёх до четырёх задач по физике разного уровня. По сложности эти задачи соответствовали уровню задач письменных экзаменов ФЕН или ГГФ. Все спорные вопросы в процессе собеседования решались в пользу выпускника. В случае удачного прохождения собеседования участники рекомендовались для поступления на ФФ.

Выпускники четвёртой категории к собеседованию не допускались¹¹.

Всего на собеседование пришло 120–130 человек и из них положительно собеседование прошло 115 человек (включая 58 выпускников первой категории). На физический факультет было принято 97 выпускников ФМШ включая 12 человек, которые прошли на кафедру физической информатики. Из рекомендованных не было зачислено 5 человек. Рейтинг для внеконкурсного поступления формируется по степени рекомендации¹² и по успеваемости учащегося.

¹⁰В прошлом году не осталось около 30 человек, так что собеседование даже с отличниками вещь совершенно необходимая.

¹¹Это никак не сказывалось на возможность поступления этих ребят на ФФ во время основных экзаменов. В этом году зафиксирован случай, когда один из допущенных на собеседование блестяще написал экзамен по физике и хорошо прошёл собеседование, хотя это скорее исключение из правил.

¹²В данном случае было две степени рекомендации: «Рекомендован» и «Настоятельно рекомендован».

Примеры задач на собеседовании

Здесь перечислено несколько задач, которые были рекомендованы для проведения собеседования для целей проверки необходимых навыков. Список этих задач постоянно меняется и не является обязательным для преподавателей. Основной интерес представляет решение, а не ответ, поэтому сконцентрируйтесь именно на решении. Если что-то в условии не понятно, например, не хватает данных, то обязательно уточните это у преподавателя. Первое что следует сделать: нарисовать рисунок.

Задача №1 Станция имеет орбитальную скорость \vec{v} относительно Земли. С какой наименьшей скоростью относительно её нужно запустить зонд, чтобы он ушёл от Земли?

Задача №2 Какова сила тяги космического корабля, если он движется по круговой орбите радиуса R со скоростью вдвое большей 1-й космической? v_I и m даны.

Задача №3 Ускорение падения на планете на её поверхности \vec{g}_1 , а на высоте h — \vec{g}_2 . Каков радиус планеты?

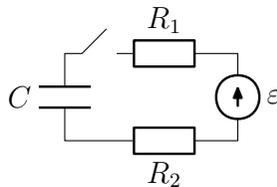


Рис. 43. К задаче № 4

Задача №4 Сколько тепла выделится на каждом из резисторов, после подключения идеального источника напряжения с ЭДС равным ε (см. рис. 43)?

Задача №5 При каком наименьшем коэффициенте трения велосипедист может совершить поворот по окружности радиуса R , двигаясь со скоростью v ? Ускорение свободного падения \vec{g} .

Задача №6 Частица с зарядом q движется в плоскости перпендикулярной магнитному полю \vec{B} . На пути S направление её скорости повернулось на угол α . Каков импульс частицы?

Вступительные экзамены в НГУ 2004

Вступительные экзамены в НГУ проходят в начале июля. Первого июля проводятся собеседования¹³ с «олимпиадниками» и «ЕГЭшниками». Зачисление происходит примерно 15 июля по результатам собеседования с «олимпиадниками», выпускных ФМШ, открытой олимпиады и, собственно, вступительных экзаменов.

Условия задач приведены на стр. 16. Всего было два варианта для поступающих на ФФ и ФИТ¹⁴, один вариант для поступающих на ГГФ и один вариант для ФЕН и Лечебное дело.

Вариант	баллы					
	1	2	3	4	5	Σ
ФФ-421	5	7	9	5	5	31
ФФ-422	5	7	8	5	5	30

Таблица 7. Разбалловка для ФФ

Вариант	баллы				
	1	2	3	4	Σ
ФЕН-401	3	5	6	6	20
ГГФ-411	5	5	6	5	20

Таблица 8. Разбалловка для ФЕН и ГГФ

Вариант	Границы оценок			
ФФ-421	$0 \leq "2" \leq 6$	$7 \leq "3" \leq 14$	$15 \leq "4" \leq 22$	$23 \leq "5" \leq 31$
ФФ-422	$0 \leq "2" \leq 5$	$6 \leq "3" \leq 14$	$15 \leq "4" \leq 22$	$23 \leq "5" \leq 30$
ФЕН-401	$0 \leq "2" \leq 3$	$4 \leq "3" \leq 7$	$8 \leq "4" \leq 11$	$12 \leq "5" \leq 20$
ГГФ-411	$0 \leq "2" \leq 4$	$5 \leq "3" \leq 9$	$10 \leq "4" \leq 15$	$16 \leq "5" \leq 20$

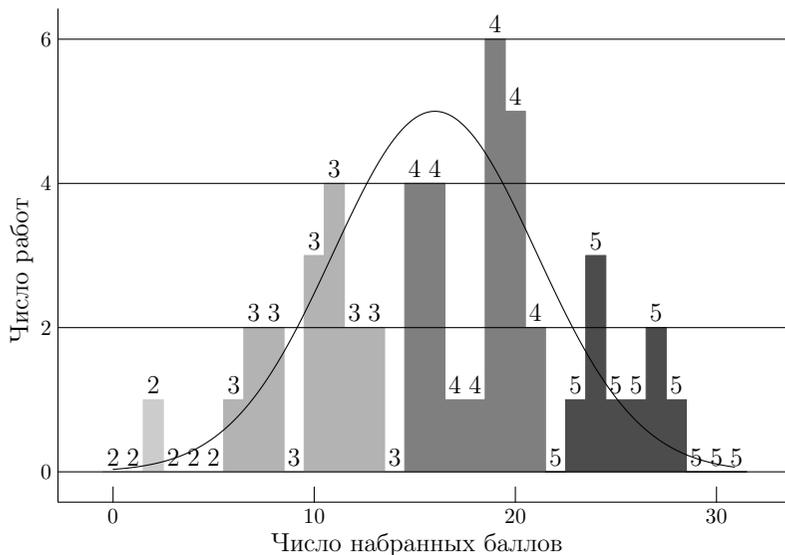
Таблица 9. Границы оценок (НГУ-2004)

Глядя на результаты экзамена следует учитывать, что последние четыре года экзамен по математика предшествует экзамену по физике и

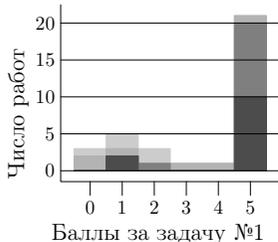
¹³Подробности о собеседовании можно узнать в приёмной комиссии или на сайте НГУ: www.nsu.ru.

¹⁴Поступающих на ФИТ было всего 8 человек. Из писавших вариант ФФ-421 один абитуриент ФИТ получил 2, один 3 и два пять. В дальнейшем абитуриенты ФФ и ФИТ не разделяются.

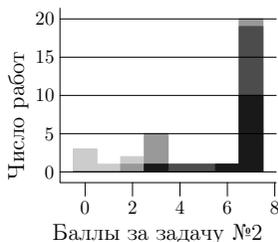
Вариант ФФ-421 (НГУ 2004)



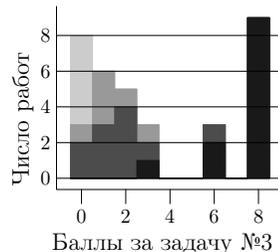
ФФ-421 (НГУ-2004)



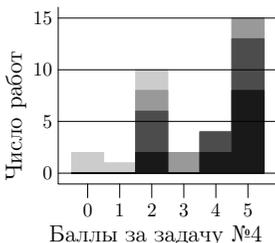
ФФ-421 (НГУ-2004)



ФФ-421 (НГУ-2004)



ФФ-421 (НГУ-2004)



ФФ-421 (НГУ-2004)

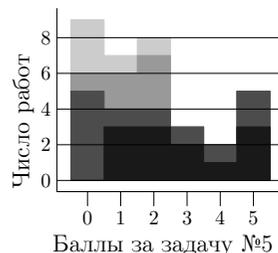
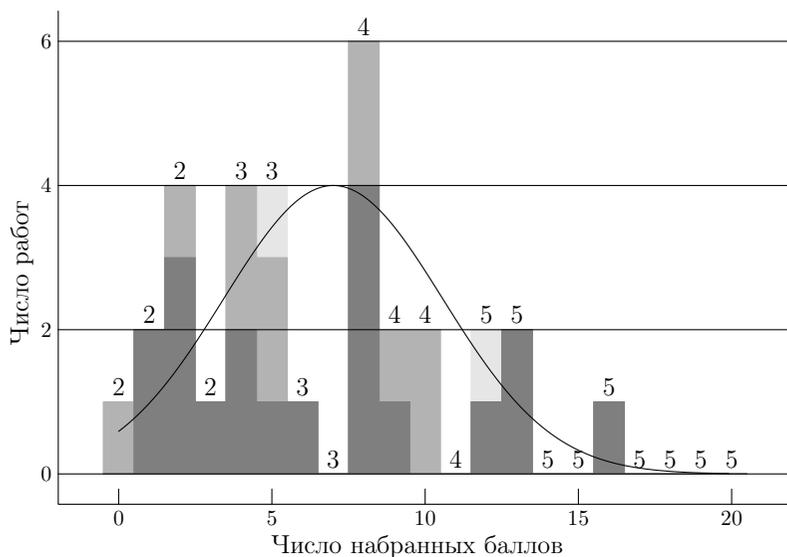
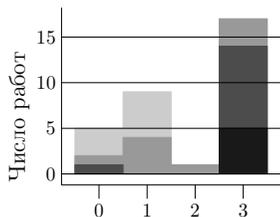


Рис. 44. Вариант ФФ-421. Распределение баллов. Чем темнее заливка, тем выше оценка.

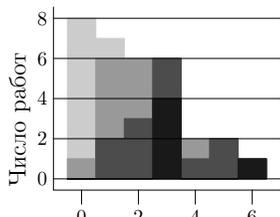
Вариант ФЕН-401 (НГУ 2004)



ФЕН-401 (НГУ-2004)

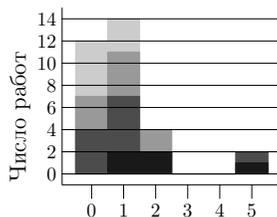


Баллы за задачу №1
ФЕН-401 (НГУ-2004)

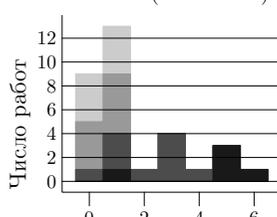


Баллы за задачу №3

ФЕН-401 (НГУ-2004)



Баллы за задачу №2
ФЕН-401 (НГУ-2004)



Баллы за задачу №4

Рис. 45. Распределение баллов. Верхний рисунок: Самая тёмная заливка соответствует биологам, более светлая — химикам и самая светлая — медикам (всего две работы). Нижние рисунки: Чем темнее заливка, тем выше оценка.

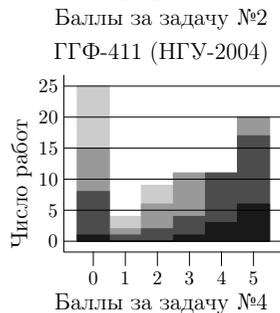
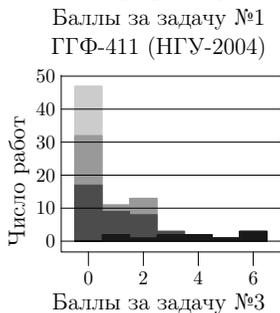
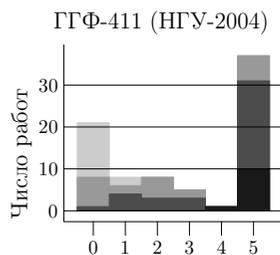
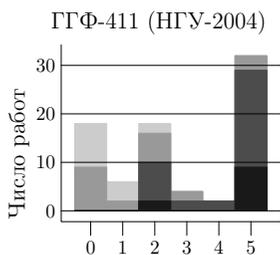
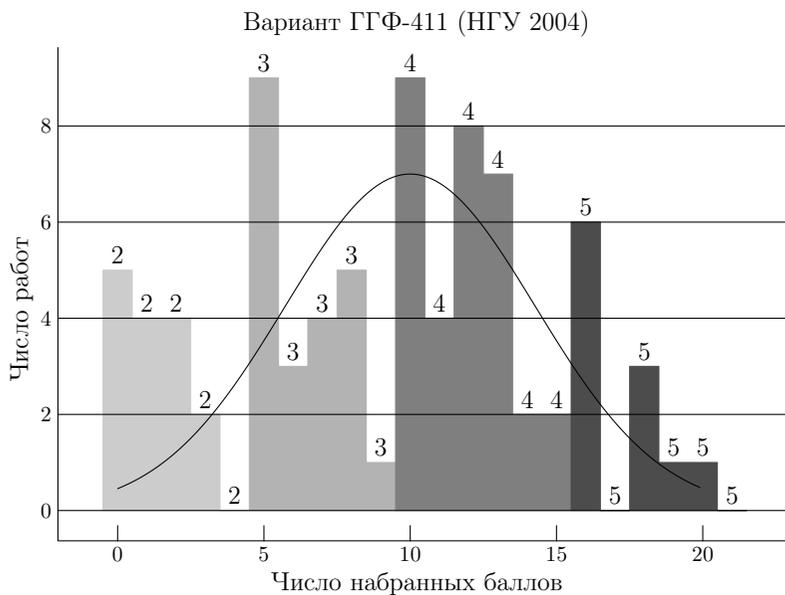


Рис. 46. Вариант ГГФ-411. Распределение баллов. Чем темнее заливка, тем выше оценка.

что самые неподготовленные абитуриенты выбывают до экзамена по физике¹⁵. Как следствие абсолютно «нулевые» работы фактически отсутствуют¹⁶, хотя полностью они не исчезают.

В зависимости от полноты решения за каждую задачу выставлялись баллы (таблицы 7 и 9). После полной проверки и подсчёта суммы составляется итоговая гистограмма (рис. 44–46 вверху). Опираясь на итоговую гистограмму выставляются границы для оценок, которые в 2004 году соответствуют приведённым в таблице 9. Все работы, которые оказываются на «границы» перепроверяются.

ФФ

Проходной балл в 2004 год на ФФ был равен 9¹⁷. Поэтому оценка хорошо или отлично по физике фактически являлась обязательным условием для поступления.

На рис. 44 (стр. 34) приведены результаты по варианту ФФ-421. Верхняя гистограмма является итоговой, по которой выставлялись границы оценок. Нижние рисунки иллюстрируют распределение баллов по задачам с учётом полученных оценок. По этим рисункам можно понять какая задача являлась определяющей в получении пятёрки, а какую задачу решали все независимо от степени подготовки.

Как видно из верхней гистограммы двоек почти нет. По-видимому в будущем следует отказаться от практики слишком простых «утешительных задач¹⁸.», так как они не способствуют разделению абитуриентов. Фактически все решили эту задачу и в то же время часть абитуриентов¹⁹, которые имели хорошие работы допустили ошибки по той причине, что задача казалась, да и была слишком лёгкой и она не перепроверялась после оформления работы.

Задача № 2 (стр. 16) по мнению многих преподавателей является оригинальной, нестандартной и «красивой» задачей. В то же время её техническая простота позволила решить эту задачу большинству абитуриентов.

Основным разделительным барьером между четвёркой и пятёркой явилась третья задача (стр. 17). Фактически те и только те, кто решил

¹⁵По моим оценкам это от 10 до 20 процентов.

¹⁶Можно сравнить результаты вступительных экзаменов и результаты «Открытой олимпиады» — стр.

¹⁷ На 16 оставшихся мест претендовали 29 человек с восемью баллами. В 2004 году удалось взять ещё троих положительно прошедших собеседование сверх квоты.

¹⁸В данном случае это роль играла задача № 1 — стр. 16.

¹⁹Мне известны два случая.

эту задачу и получили оценку пять. Эта чисто техническая задача на знания. Часто при нахождении силы, действующей на пластину абитуриенты забывали вычесть поле, создаваемое самой пластины.

Задача «объяснить явление» (стр. 17) в этом варианте была достаточно стандартной, что и позволило относительному большинству абитуриентов решить её. Для решения подобного класса задач требуется наличие здравого смысла и владение техникой решения экзаменационных задач не является определяющей.

Традиционно самой «сложной» задачей является задача «объяснить явление» (стр. 17) — в не зависимости явления, которое требуется объяснить. По всей видимости это вызвано двумя факторами:

- этот тип задач всегда по своей сути является нестандартным и к нему тяжело подготовиться,
- на пятую задачу не остаётся сил.

Примерно такая же ситуация была и в варианте ФФ-422, за исключением того, что «утешительная задача» была чуть-чуть посложнее и как следствие число доек было равно шести. В среднем варианты получились более-менее одинаковые по сложности. К сожалению исчерпывающую статистику по варианту ФФ-422 собрать не удалось, так как статистика не входит в число основных результатов деятельности предметной комиссии.

ФЕН

На рис. 45 (стр. 35) приведены результаты по варианту ФЕН-401. Текст варианта находится на стр. 19. Верхняя гистограмма является итоговой, по которой выставлялись границы оценок. В отличии от аналогичных гистограмм для ФФ и ГГФ здесь разная интенсивность соответствует разным отделениям ФЕН. Нижние рисунки иллюстрируют распределение баллов по задачам с учётом полученных оценок.

В последнее годы подготовленность абитуриентов ФЕН по физике не выдерживает никакой критики. Из данных предоставленных на стр. 35 видно что даже самая простая «утешительная» задача № 1 (стр. 19 у значительной части абитуриентов вызывает сложности. «Электрическая» задача № 2 «не далась» фактически никому. Ситуация с остальными задачами не такая катастрофическая, но и не блестящая. В то же время физика на ФЕН присутствует в достаточно большом количестве и абитуриенты должны осознавать что никуда от физики *не деться*.

По всей видимости уровень вариантов ФЕН придётся понижать, хотя не совсем понятна осмысленность этого шага. Исходя из специфики образования на ФЕН сделать идея о том чтобы экзамен по физики профилирующим вполне разумна.

ГГФ

На стр. 36 представлены результаты экзаменов по физике для ГГФ. Текст варианта можно найти на стр. 20.

Традиционно варианты для ГГФ являются более простыми²⁰, чем для ФЕН и уж тем более ФФ. Но в последнее время конкурс на факультет возрос и конкуренция среди абитуриентов, соответственно, увеличилась. Этот вывод подтверждают и результаты по Открытой олимпиаде (стр. 22). По всей видимости в дальнейшем сложность задач на ГГФ будет увеличиваться.

Даже не смотря на относительную простоту вариантов процент двоек достаточно велик. Это показывают, что часть абитуриентов ГГФ до экзаменов даже не пробовали решать вступительные варианты. Следует распространять варианты как можно шире, чтобы минимизировать эту проблему.

«Газовую» (задача № 1) и «механическую» (задача № 2) задачи решили около половины абитуриентов. Это задачи в одно действие, которые проверяют навыки абитуриента в умении правильно выбрать нужную формулу.

Основную сложность, как и ожидалось, представляла «оптическая» задача № 3. Довольно давно в вариантах вступительных экзаменов не было оптики и по всей видимости эта недоработка в будущем будет исправлена. Эта задача содержала элементы, которые обычно присущи вариантам для ФФ — требовалось нарисовать рисунок и выполнить несколько действий и по всей видимости абитуриенты ГГФ не были готовы к такому испытанию.

Самой же удивительной особенностью этого экзамена было то, что считавшаяся формальной задача № 4, для решения которой достаточно ответить на три стандартных вопроса, которые входят в школьную программу поделила абитуриентов лучше, чем первые две технические задачи. Вопросы на элементарную грамотность на текущий момент являются актуальными, даже для абитуриентов НГУ.

²⁰Ученики ФМШ, которые имеют честно заработанную итоговую тройку по физике сдают этот экзамен на отлично без особых проблем.

Разбор задач

В этом разделе произведён разбор задач. Прежде чем обратиться к этому разделу потратьте на решение варианта *как минимум* 2 часа. Чтобы научиться решать задачи необходимо эти задачи *решать*.

Если у вас есть интересующиеся друзья, то устройте совместное решение. Соревновательная компонента очень важна. Вступительные варианты не являются олимпиадными. Цель вступительных экзаменов отобрать тех, кто в освоил школьную программу в достаточном для обучения в НГУ объёме.

В этом разделе представлены решения задач в том виде, в каком это представляется наиболее понятным для преподавателя. Если необходимо, то я добавлял рисунки. Большинство формул пронумеровано, чтобы на них можно было сослаться в тексте решения. Все дополнительные величины описаны. Решения достаточно подробны и понятны. Обязательно в конце решения, если это возможно, приведены ответы.

Открытая Олимпиада 2004

Варианты открытой олимпиады приведены на стр. 4. Они состоят из трёх вариантов для ФФ и ФИТ, двух вариантов для ФЕН и Лечебное дело и двух вариантов для ГГФ.

Вариант ФФ-41р

Решение задачи №1 Мощность выделяемая на сопротивлении при постоянном напряжении U определяется формулой $N_i = U^2/R_i$, где i — номер сопротивления. Следовательно, величины сопротивлений подчиняются отношению: $R_1 : R_2 : R_3 = 1 : 2 : 3$, сопротивление цепи равно:

$$R_0 = R_3 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{11}{3} R_1 = \frac{11}{3} \times \frac{U^2}{N}, \quad (1)$$

откуда выделяющаяся в цепи мощность равна:

$$N_0 = \frac{U^2}{R_0} = \frac{3}{11} N. \quad (2)$$

Ответ: $N_0 = \frac{3}{11} N$.

Решение задачи №2 Из симметрии работа $A_{\text{тр}}$ силы трения на первой половине пути та же, что и на второй. Из закона сохранения энергии:

$$\begin{cases} \frac{mv^2}{2} + \frac{kq^2}{R} = \frac{mv_1^2}{2} + A_{\text{тр}} + \frac{kq^2}{h}, \\ \frac{mv^2}{2} = \frac{mv_2^2}{2} + 2A_{\text{тр}}. \end{cases} \quad (3)$$

Исключая $A_{\text{тр}}$ из этих уравнений, получим скорость бусинки:

$$v = \sqrt{2v_1^2 - v_2^2 + 4\frac{kq^2}{m} \left(\frac{1}{h} - \frac{1}{R} \right)}. \quad (4)$$

Ответ: $v = \sqrt{2v_1^2 - v_2^2 + 4\frac{kq^2}{m} \left(\frac{1}{h} - \frac{1}{R} \right)}$.

Решение задачи №3 Из закона сохранения энергии:

$$\frac{mv^2}{2} = mgh = mgR \cos \alpha \quad (5)$$

Для того, чтобы найти натяжение нити в конечном состоянии запишем второй закон Ньютона для проекции сил вдоль нити:

$$T = \frac{mv^2}{R} + mg \cos \alpha \quad (6)$$

Из (5) и (6) получаем, что $T = 3mg \cos \alpha$.

В момент, когда подставка сдвинется с места, проекция силы натяжения нити вдоль пола, равная $T \sin \alpha$, должна сравняться с величиной силы трения скольжения μN , где $N = Mg + T \cos \alpha$ — реакция опоры со стороны пола. Следовательно:

$$\mu = \frac{T \sin \alpha}{Mg + T \cos \alpha} = \frac{3m \sin \alpha \cos \alpha}{M + 3m \cos^2 \alpha}. \quad (7)$$

Ответ: $\mu = \frac{3m \sin \alpha \cos \alpha}{M + 3m \cos^2 \alpha}$.

Решение задачи №4 При большой горизонтальной скорости верхняя точка траектории незначительно превышает высоту автобуса $H \simeq 4$ м. Поэтому для вертикальной скорости вниз имеем $\frac{mv^2}{2} = mgH$.

Вертикальная скорость мотоциклиста гасится на пути равном деформации амортизаторов 0.3 м плюс $0.4 \div 0.5$ м за счёт приседания каскадёра, который в момент приземления стоит почти выпрямившись, то есть

тормозной путь примерно равен $h = 0.7 \div 0.8$ м. Тогда, если F — сила давления каскадёра на мотоцикл при приземлении, то

$$\frac{mv^2}{2} = Fh \Rightarrow F = \frac{mgH}{h} \simeq \frac{60 \text{ кг} \times 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \times 4 \text{ м}}{0.8 \text{ м}} = 3000 \text{ Н}. \quad (8)$$

Были попытки решить эту задачу путём введения в задачу времени торможения. Так как в этом случае не объяснялось откуда была взята величина торможения, то задача полностью не засчитывалась.

Ответ: $F = \frac{mgH}{h} \simeq 3000 \text{ Н}$.

Решение задачи №5 На поверхности соприкосновения подошв и пола имеется небольшая контактная разность потенциалов и заряды противоположного знака. Этот заряд возникает из-за того, что человек, когда ходит шаркает подошвами ботинок по полу.

При увеличении зазора напряжение многократно возрастает, соответственно возрастает и заряд электроскопа. Перетекание заряда на электроскоп можно объяснить и уменьшением ёмкости подошва-пол. При приземлении исходная ситуация восстанавливается.

Ещё один вариант объяснения: систему человек-пол и электроскоп-пол можно представить как два параллельных конденсатора. Ёмкость первого²¹ многократно превышает ёмкость второго²² и поэтому весь имеющийся заряд сконцентрирован на подошве. При уменьшении ёмкости конденсатора человек-пол (человек подпрыгивает) заряды в системе перераспределяются. При восстановлении начальной ситуации (человек приземляется) всё приходит в начальное состояние.

Вариант ФФ-42р

Решение задачи №1 Пусть I — ток источника, а R — неизвестное сопротивление, тогда

$$\begin{cases} V_0 = IR_0, \\ V = I \frac{R_0 R}{R_0 + R} \end{cases} \Rightarrow R = R_0 \frac{V}{V_0 - V}. \quad (9)$$

Ответ: $R = R_0 V / (V_0 - V)$.

²¹Плоский конденсатор с площадью пластин равных площади подошв и характерным расстоянием между пластин в толщину подошвы.

²²Обычный сферический конденсатор с бесконечной внешней оболочкой.

Решение задачи №2 В начале давление на поршень складывается из давления воздуха P и давления пара, которое равно P_0 . Пусть P_1 — конечное давление. Тогда уравнения состояния идеального газа имеем:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P(V + hS)}. \quad (10)$$

Из условия же равновесия в начальном и конечном состояниях имеем:

$$\begin{cases} P = \frac{k(x+h)}{S}, \\ P_1 - P_0 = \frac{kx}{S} \end{cases} \Rightarrow P = P_1 - P_0 + \frac{kh}{S}, \quad (11)$$

где x — конечное сжатие пружины.

Подставляем (11) в (10):

$$\begin{aligned} \frac{P_1 V_1}{T_1} &= \frac{(P_1 - P_0 + \frac{kh}{S})(V_1 + hS)}{T_0} \Rightarrow \\ &\Rightarrow P_1 = \frac{(P_0 - \frac{kh}{S})(V_1 + hS)T_1}{T_1(V_1 + hS) - V_1 T_0}. \end{aligned} \quad (12)$$

Ответ: $P_1 = \frac{(P_0 - \frac{kh}{S})(V_1 + hS)T_1}{T_1(V_1 + hS) - V_1 T_0}$.

Решение задачи №3 Из-за изменения потока магнитного поля через квадратную рамку со стороной r ЭДС электромагнитной индукции равна

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = Brv \sin \alpha = \frac{q}{C}, \quad (13)$$

где α — угол отклонения рамки от горизонтали (См. рис. 47), а q — заряд на конденсаторе. Как видно из рис. 47: $\sin \alpha = h/r$.

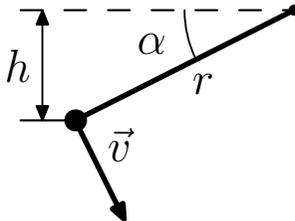


Рис. 47. К решению задачи № 3

Из закона сохранения энергии получаем, что:

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{q^2}{C} = mgh. \quad (14)$$

Подставляем величину заряда из (13) в (14) и получаем:

$$v = \sqrt{\frac{2mgh}{m + CB^2h^2}}. \quad (15)$$

Ответ: $v = \sqrt{\frac{2mgh}{m + CB^2h^2}}$.

Решение задачи №4 Перепад давления между центром и ободом для жидкости в центрифуге можно оценить как

$$\Delta P = \rho \left(\frac{\omega^2 x^2}{2} + gy \right) \quad (16)$$

где ρ — плотность жидкости, ω — частота вращения, x — характерный размер центрифуги, а ρgy — перепад из-за силы тяжести.

Так как $\rho gy \ll \Delta P$, следовательно этим членом можно пренебречь.

Скорость вращения центрифуги равна

$$v = \omega x \Rightarrow v^2 \simeq \frac{2\Delta P}{\rho} \Rightarrow v \simeq 300 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad (17)$$

Коэффициент 2 появляется по причине, что скорость жидкости от центра к краю возрастает линейно. Принимались ответы и без этого коэффициента.

Решение задачи №5 См. решение задачи №5 на стр. 42.

Вариант ФФ-43в

Решение задачи №1 Сила, которая прижимает груз к поверхности равна $F + mg \cos \alpha$, следовательно, по закону Ньютона:

$$mg \sin \alpha = \mu N = \mu (F + mg \cos \alpha) \Rightarrow F = mg \left(\frac{\sin \alpha}{\mu} - \cos \alpha \right), \quad (18)$$

где N — реакция опоры.

Ответ: $F = mg \left(\frac{\sin \alpha}{\mu} - \cos \alpha \right).$

Решение задачи №2 Пусть v' — скорость первого тела в момент, когда надо найти натяжение пружины, тогда по закону сохранения импульса

$$mv_0 = mv' + mv \Rightarrow v' = v_0 - v \quad (19)$$

Тогда из закона сохранения энергии

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{F^2}{2k} + \frac{mv^2}{2} + \frac{m(v_0 - v)^2}{2}, \quad (20)$$

где F — сила натяжения пружины, следовательно:

$$F = \sqrt{2kmv(v_0 - v)}. \quad (21)$$

Ответ: $F = \sqrt{2kmv(v_0 - v)}.$

Решение задачи №3 Внутренняя энергия гелия из уравнения состояния равна

$$U = \frac{3}{2}\nu RT = \frac{3}{2}PV, \quad (22)$$

где T , P и V — температура, давление и объём гелия, соответственно.

Сначала объём неизменен и тепло идёт на приращение внутренней энергии гелия

$$\Delta U = \frac{3}{2}\Delta PV = \frac{3}{2}mgH. \quad (23)$$

Затем давление $P = P_0 + \frac{mg}{S}$ постоянно и тепло идёт на работу $P\Delta V$ и приращение внутренней энергии гелия $\Delta U = \frac{3}{2}P\Delta V$, что даёт в общей сумме:

$$\delta Q = \frac{3}{2}\Delta PV + \frac{5}{2}P\Delta V. \quad (24)$$

После всех подстановок получаем подведённое тепло:

$$Q = \delta Q + \Delta U = 4mgH + \frac{5}{2}P_0SH. \quad (25)$$

Ответ: $Q = 4mgH + \frac{5}{2}P_0SH.$

Решение задачи №4 В электрическом поле заряды на проводнике распределяются так, что суммарное поле в нём становится нулевым.

Лежащего человека можно рассматривать как «закороченный» плоский конденсатор, так как оно проводит электрический ток. Тогда

$$\sigma/\varepsilon_0 = E \Rightarrow q = \sigma S = \varepsilon_0 E S \simeq 10^{-9} \text{ Кл}, \quad (26)$$

где σ — поверхностная плотность заряда, E — электрическое поле, а S — площадь кожи человека с одной стороны.

Возможно более грубое решение:

$$\frac{kq}{r^2} \simeq E \Rightarrow q \simeq \frac{Er^2}{k}, \quad (27)$$

с выбором характерного размера.

Решение задачи №5 При подъёме узкого конца вверх горячая вода частично стекает и быстро нагревает воздух, давление которого повышается. Плюс к этому добавляется давление паров самой воды. Избыточное над атмосферным давление и выбрасывает воду оставшуюся около узкого конца.

Вариант ФЕН-41р

Решение задачи №1 Движение по гладкому участку, это равномерное движение. В случае возникновения силы трения тело начинает тормозиться с ускорением μg , следовательно время движения равно:

$$t = \frac{L}{v} = \frac{v}{\mu g}, \quad (28)$$

где v — начальная скорость тела. Из (28) получаем, что:

$$v = \sqrt{\mu g L}. \quad (29)$$

Ответ: $v = \sqrt{\mu g L}$.

Решение задачи №2 Пусть T — температура, до которой нагрели воздух для открытия клапана, ν — число молей газа под поршнем, а V — объём цилиндра, тогда из уравнения состояния идеального газ имеем:

$$\begin{cases} P_0 \frac{V}{2} = \nu R T_0 \\ (P_0 + P_1) V = \nu R T \end{cases} \Rightarrow T = 2 T_0 \frac{P_0 + P_1}{P_0}. \quad (30)$$

Ответ: $T = 2T_0 \frac{P_0 + P_1}{P_0}$.

Решение задачи №3 Воспользуемся законом Ньютона для случая, когда тело соскальзывает вниз, тогда:

$$ma = mg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \quad (31)$$

А теперь воспользуемся тем же законом Ньютона для случая, когда тело едет вверх:

$$ma = F(\cos \alpha - \mu \sin \alpha) - mg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \quad (32)$$

Разрешив (31) и (32) получаем, что $\mu = 1/3$.

Ответ: $\mu = 1/3$.

Уточнение: В задании ФЕН, которое было выдано на Открытой Олимпиаде угол α равнялся 30° . Это приводило к бессмысленному ответу, где $\mu > 1$. В этом случае брусок не может соскальзывать с уклона. Как не странно, это никак не помешало решающим задачу. Формально её решило достаточное количество участников, но никто не заметил потенциальной проблемы²³.

Решение задачи №4

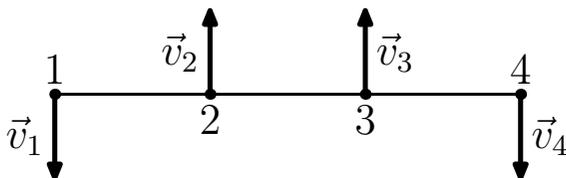


Рис. 48. К решению задачи №4.

Пронумеруем заряды, как это показано на рис. 48. Пусть \vec{v}_i — скорость i го заряда.

Из закона сохранения импульса

$$v_1 - v_2 - v_3 + v_4 = 0 \Rightarrow v_1 = v_2 = v_3 = v_4 = v. \quad (33)$$

²³Если бы кто-то заметил, то этому кому-то добавили бы баллов за эту задачу. Так что будьте внимательны.

Запишем закон сохранения энергии системы:

$$4\frac{kq^2}{L} + 2\frac{kq^2}{\sqrt{2}L} = 4\frac{mv^2}{2} + 3\frac{kq^2}{L} + 2\frac{kq^2}{2L} + \frac{kq^2}{3L} \quad (34)$$

Разрешая (34) получаем:

$$v = \sqrt{\left(\sqrt{2} - \frac{1}{3}\right) \frac{kq^2}{2mL}}. \quad (35)$$

Ответ: $v = \sqrt{\left(\sqrt{2} - \frac{1}{3}\right) \frac{kq^2}{2mL}}$.

Вариант ФЕН-42в

Решение задачи №1 Движение с ускорением g , следовательно, время полёта можно вычислить по формуле:

$$t = \sqrt{\frac{2H}{g}} - \sqrt{\frac{2(H-h)}{g}}. \quad (36)$$

Ответ: $t = \sqrt{2H/g} - \sqrt{2(H-h)/g}$.

Решение задачи №2 Пусть m_1 — масса газа в первом сосуде, а m_2 — масса газа во втором после изменения температуры, следовательно $m_1 + m_2 = m$. Из уравнения состояния с учётом равенства конечного давления получаем, что

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{1}{2}. \quad (37)$$

Отсюда $m_1 = \frac{m}{3}$. До изменения температуры масса газа в первом сосуде была равна $\frac{m}{2}$. Поэтому масса перешедшего воздуха равна $\frac{m}{2} - \frac{m}{3} = \frac{m}{6}$.

Ответ: $m/6$.

Решение задачи №3 Пусть μ — коэффициент трения между грузом и полом, а F — сила натяжения пружины, тогда, воспользовавшись законом Ньютона, для случая когда тело начинает приближаться к оси вращения и для случая, когда тело начинает удаляться:

$$\begin{cases} m\omega_1^2 L = F - \mu mg, \\ m\omega_2^2 L = F + \mu mg \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \mu = (\omega_2^2 - \omega_1^2) \frac{L}{2g}, \\ x = \frac{F}{k} = m(\omega_2^2 + \omega_1^2) \frac{L}{2k}, \end{cases} \quad (38)$$

где x — начальное удлинение пружины.

$$\text{Ответ: } \begin{cases} \mu = (\omega_2^2 - \omega_1^2) \frac{L}{2g}, \\ x = \frac{F}{k} = m (\omega_2^2 + \omega_1^2) \frac{L}{2k}. \end{cases}$$

Решение задачи №4 Воспользуемся законом Ньютона и получим натяжение нити

$$T = \frac{kqQ}{L^2}, \quad (39)$$

где q и Q — заряды тел m и $2m$, соответственно.

Из (39) начальная потенциальная энергия равна

$$U_0 = \frac{kqQ}{L} = TL, \quad (40)$$

соответственно, конечная потенциальная энергия равна

$$U_1 = \frac{kqQ}{2L} = \frac{TL}{2}. \quad (41)$$

Пусть v и u — скорости тел m и $2m$, соответственно, тогда из закона сохранения энергии получаем, что:

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{2mu^2}{2} = U_0 - U_1 = TL - \frac{TL}{2} = \frac{TL}{2}, \quad (42)$$

а из сохранения импульса

$$mv = 2mu. \quad (43)$$

Скомбинировав (42) и (43), получим что

$$\begin{cases} u = \sqrt{\frac{TL}{6m}}, \\ v = 2\sqrt{\frac{TL}{6m}}. \end{cases} \quad (44)$$

$$\text{Ответ: } \begin{cases} u = \sqrt{\frac{TL}{6m}}, \\ v = 2\sqrt{\frac{TL}{6m}}. \end{cases}$$

Вариант ГГФ-49в

Решение задачи №1 Из закона сохранения энергии работа силы трения равна работе силы тяжести:

$$mgL \sin \alpha = \mu_1 mgx \cos \alpha + \mu_2 mg(L - x) \cos \alpha, \quad (45)$$

x — расстояние до границы раздела, на котором отпущено тело, следовательно:

$$x = L \frac{\mu_2 - \operatorname{tg} \alpha}{\mu_2 - \mu_1}. \quad (46)$$

Ответ: $x = L \frac{\mu_2 - \operatorname{tg} \alpha}{\mu_2 - \mu_1}$.

Решение задачи №2 Пусть P — давление насыщенного пара, V — объём пара в начале, T — температура пара, а μ — молярная масса пара, следовательно, из уравнения состояния для идеального газа получаем, что:

$$\begin{cases} \frac{P}{2}V = \frac{m}{\mu}RT \\ P\frac{V}{3} = \frac{\mu(m-m_x)}{\mu}RT \end{cases} \Rightarrow m_x = \frac{m}{3}, \quad (47)$$

где m_x — масса сконденсировавшегося пара.

Ответ: $m/3$.

Решение задачи №3 Пусть v — скорость частицы в магнитном поле, а R — радиус кривизны траектории, тогда по закону Ньютона:

$$\frac{mv^2}{R} = qvB. \quad (48)$$

Так как постоянное магнитное поле не изменяет модуля скорости, то время поворота равно:

$$t = \frac{\pi R}{4v} = \frac{\pi m}{4qB}. \quad (49)$$

Ответ: $t = \pi m/4qB$.

Решение задачи №4 а) Ёмкость C — коэффициент, связывающий заряд с напряжением по формуле $C = q/U$.

б) Энергия конденсатора определяется по формуле $W = qU/2$.

Вариант ГГФ-410р

Решение задачи №1 Пусть x — искомое расстояние, тогда из закона сохранения энергии работа силы трения равна работе силы тяжести:

$$mgx \sin \alpha = \mu mg \cos \alpha (2L + x) \Rightarrow x = \frac{2L}{\operatorname{tg} \alpha - \mu} \quad (50)$$

Ответ: $x = 2L/(\operatorname{tg} \alpha - \mu)$.

Решение задачи №2 Пока жидкость полностью не испарится, плотность пара неизменна. При увеличении объёма вдвое испарится вся жидкость и тогда масса пара удвоится, с дальнейшим ростом объёма втрое плотность пара изменится обратно пропорционально изменению объёма:

$$\rho = \frac{2m}{3V} = \frac{2}{3}\rho_0. \quad (51)$$

Ответ: $\rho = 2\rho_0/3$.

Решение задачи №3 Пусть v — скорость частицы в магнитном поле, а R — радиус кривизны траектории, тогда по закону Ньютона:

$$\frac{mv^2}{R} = qvB. \quad (52)$$

Так как постоянное магнитное поле не изменяет модуля скорости, а только поворачивает частицу, то движение в магнитном поле является движением по окружности, следовательно, искомое расстояние равно:

$$L = \sqrt{2}R = \sqrt{2}\frac{mV}{qB}. \quad (53)$$

Ответ: $L = \sqrt{2}mV/qB$.

Решение задачи №4 а) При параллельном соединении поступивший на схему заряд равен сумме зарядов соединённых пластин конденсаторов, а напряжения на всех конденсаторах одинаково и равно поданному напряжению.

б) Так как энергия имеет вид $W = CU^2/2$, а напряжения на конденсаторах равны, то $C_1/C_2 = W_1/W_2$.

Выпускные экзамены ФМШ 2004

В отличие от обычных вступительных экзаменов выпускные экзамены в ФМШ кроме знаний разделов стандартной школьной физики требуют знаний специфичных для физматшколы. К дополнительным разделам относится момент инерции, вращение твёрдого тела, колебания и др. В вариантах могут встречаться задачи повышенной сложности и задачи имеющие олимпиадную направленность.

Вариант I

Решение задачи №1 Так как тело перед бруском катится, то на него со стороны пола действует сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$, как это показано на рис. 49. Пусть оба тела двигаются с ускорением \vec{a} , тогда по второму закону Ньютона получаем, что

$$F - F_{\text{тр}} = (M + m) \times a \quad (54)$$

Запишем сумму моментов сил для цилиндра относительно его центра:

$$F_{\text{тр}} \cdot R = I \frac{d\omega}{dt} = \left| \omega R = v \Rightarrow \frac{d\omega}{dt} R = \frac{dv}{dt} = a \right| = I \frac{a}{R}, \quad (55)$$

где I — момент инерции цилиндра. Так как цилиндр тонкостенный, то $I = \sum_i m_i r_i^2 = mR^2$. Подставив это значение в (67) и выразив $F_{\text{тр}}$ для подстановки в (65), получим:

$$a = \frac{F}{2m + M} \quad (56)$$

Ответ: $a = F/(2m + M)$.

Решение задачи №2 Пусть начальный объём отсеков равен V_0 , а конечный V_1 и V_2 для нижнего и верхнего отсеков соответственно. Пусть в нижнем отсеке будет давление P_1 , а в верхнем P_2 , как это показано на рис. 50.

Так как объём нижнего отсека уменьшился в более чем в два раза, то внизу частично сконденсировалась вода и давление паров равно давлению

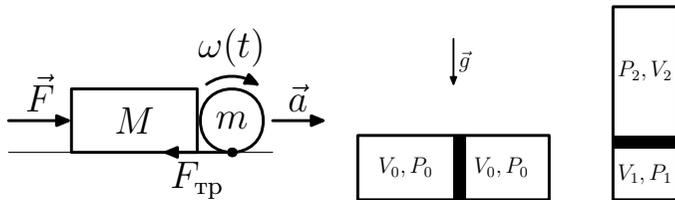


Рис. 49. К решению задачи №1. Рис. 50. К решению задачи №2.

нию паров насыщенного пара $P_1 = 2P_0$.

$$\begin{cases} V_1 = \frac{1}{3}V_0, \\ V_2 = \frac{5}{3}V_0, \\ P_2 = \frac{P_0 V_0}{V_2} = \frac{3}{5}P_0, \\ P_1 = 2P_0, \\ (P_1 - P_2)S = mg \end{cases} \Rightarrow m = \frac{7}{5} \frac{SP_0}{g}. \quad (57)$$

Ответ: $m = 7SP_0/5g$.

Решение задачи №3 Пусть v_1 — скорость шарика m_1 , на расстоянии b от m_2 , тогда из закона сохранения энергии можно записать:

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{kQ^2}{b} - \frac{kQ^2}{a}. \quad (58)$$

Подставив v_1 из (58) в закон сохранения импульса:

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2)u, \quad (59)$$

где u — скорость шариков после неупругого соударения, то получим

$$u = \sqrt{\frac{2kQ^2}{m_1} \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{a} \right)}. \quad (60)$$

Ответ: $u = \sqrt{\frac{2kQ^2}{m_1} \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{a} \right)}$.

Решение задачи №4 Рассмотрим общий случай — рис. 51. На рисунке изображён источник света S , линза AA' и зеркало BB' . Рассмотрим примерный ход лучей. Пусть S_2 — место где бы появилось изображение

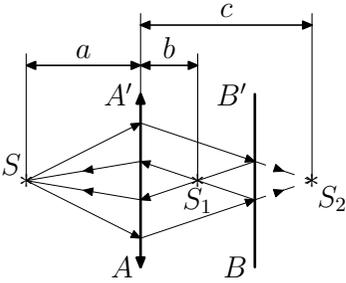


Рис. 51. К решению задачи №4.

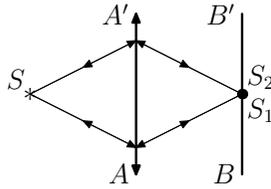


Рис. 52. К решению задачи №4.

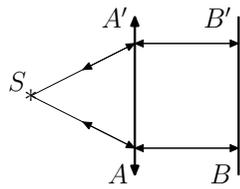


Рис. 53. К решению задачи №4.

источника, если бы не было зеркало, а S_1 — место, где появляется изображение источника при наличии зеркала. По условию задачи изображение от S_1 должно совпасть с S . Пусть a — расстояние от S до линзы, тогда расстояние до зеркала по условию задачи должно равняться $2a$. Пусть b — расстояние от S_1 до линзы, а c — от S_2 до линзы. Из рисунка видно, что $c = 2a - b$.

Используя формулу тонкой линзы получим систему из двух уравнений:

$$\begin{cases} \frac{1}{F} = \frac{1}{a} + \frac{1}{c} \\ \frac{1}{F} = \frac{1}{b} + \frac{1}{a} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{1}{F} - \frac{1}{a} = \frac{1}{c} \\ \frac{1}{F} - \frac{1}{a} = \frac{1}{b} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} c = b \text{ или } a = b \Rightarrow a = 2F \\ \frac{1}{b} = \frac{1}{c} = 0 \Rightarrow a = F \end{cases} \quad (61)$$

Первый вариант решения соответствует ходу лучей представленному на рис. 52 — лучи фокусируются прямо на поверхности зеркала, в этом случае расстояние между источником и светом и зеркалом равно четырём фокусным расстояниям.

Второй вариант решения соответствует ходу лучей, представленному на рис. 53 — лучи после линзы выходят параллельно (фокусируются на бесконечности $b = a = \infty$ или источник света S помещён в фокусе). В этом случае расстояние между источником и зеркалом равно двум фокусным расстояниям.

Ответ: $4F$.

Решение задачи №5 Пусть h — глубина аквариума, а P_0 — атмосферное давление, тогда давление воздуха в пузырьке на дне аквариума равно $P' = P_0 + \rho gh$. Пусть R — радиус пузырька на дне аквариума, а

R' — на поверхности при всплытии. Так как температура сильно не меняется в процессе всплывания, то:

$$PV = P'V' \Rightarrow (P_0 + \rho gh) \frac{4}{3}\pi R^3 = P_0 \frac{4}{3}\pi R'^3 \Rightarrow \frac{R'}{R} = \sqrt[3]{1 + \frac{\rho gh}{P_0}} \quad (62)$$

Глубина не большого аквариума порядка 30 см, а атмосферное давление эквивалентно давлению столба воды высотой $H \simeq 10$ м, следовательно $\rho gh/P_0 = h/H \ll 1$.

Используем формулу: $(1 + \alpha)^n = 1 + n\alpha + O(\alpha^2)$, где $O(\alpha^2)$ означает ряд, где множителем для каждого из членов обязательно входит как минимум α^2 . Если $\alpha \ll 1$, то $O(\alpha^2)$ можно упустить.

$$\frac{R'}{R} = \sqrt[3]{1 + \frac{\rho gh}{P_0}} = \sqrt[3]{1 + \frac{h}{H}} \simeq \left| \frac{h}{H} \ll 1 \right| \simeq 1 + \frac{h}{3H} \Rightarrow \frac{\Delta R}{R} \simeq \frac{h}{3H} \quad (63)$$

Подставим значение в формулу и получим численный ответ

$$\frac{\Delta R}{R} \simeq \frac{h}{3H} \simeq \frac{30 \text{ см}}{3 \times 10 \text{ м}} = 10^{-2} = 1\%. \quad (64)$$

Ответ: $\frac{h}{3H} \simeq 1\%$.

Дополнение: При решении этой задачи можно было рассмотреть влияние поверхностного натяжения (изменение давления из-за изменения радиуса кривизны) и сопротивление среды ($\Delta P \sim \rho v^2$), но если оценить эти добавки, то в случае аквариума они окажутся несущественными. Если экзаменуемый делал разумные оценки для этих случаев, то ему добавлялся балл.

Решение задачи №6 Так как брусок m в обоих случаях поднимают на одинаковую высоту h , то до момента торможения он приобретает одну и ту же скорость.

Оба случая отличаются друг от друга только тормозным путём δx . В случае пружины он значительно длиннее. Так как $mgh = T \times \delta x$, где T — сила натяжения нити, то чем короче тормозной путь, тем больше сила, следовательно в случае пружины сила натяжения уменьшается, что приводит к тому, что груз может не сдвинуться.

Вариант II

Решение задачи №1 Так как тело перед бруском катится, то на него со стороны пола действует сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$, как это показано на рис. 54.

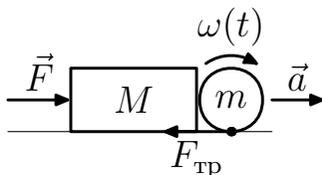


Рис. 54. К решению задачи №1.

Пусть на брусок действует сила \vec{F} , тогда по второму закону Ньютона получаем, что

$$F - F_{\text{тр}} = (M + m) \times a \quad (65)$$

Вспомним что:

$$\omega R = v \Rightarrow \frac{d\omega}{dt} R = \frac{dv}{dt} = a, \quad (66)$$

где v — скорость точки на ободу цилиндра, а ω — частота вращения цилиндра. Запишем сумму моментов сил для цилиндра относительно его центра:

$$F_{\text{тр}} \cdot R = I \frac{d\omega}{dt} = I \frac{a}{R}, \quad (67)$$

где I — момент инерции цилиндра. Так как цилиндр тонкостенный, то $I = \sum_i m_i r_i^2 = mR^2$. Подставив это значение в (67) и выразив $F_{\text{тр}}$ для подстановки в (65), получим:

$$F = (2m + M) \times a \quad (68)$$

Ответ: $F = (2m + M) \times a$.

Решение задачи №2 Учтём, что давление насыщенного пара не меняется. Пусть $P_{\text{п}}$ — давление насыщенных паров жидкости, P — давление

газа под поршнем в начале, а P' — давление газа под поршнем после его перемещения, тогда:

$$\begin{cases} PSh = P'S\frac{5}{2}h \Rightarrow P' = \frac{2}{5}P \\ P + P_{\text{п}} + \rho gh = P_0 \\ P' + P_{\text{п}} + \frac{3}{2}\rho gh \end{cases} \Rightarrow P_{\text{п}} = P_0 - \frac{11}{6}\rho gh. \quad (69)$$

Ответ: $P_{\text{п}} = P_0 - 11\rho gh/6$.

Решение задачи №3 Пусть u — скорость шарика m_1 , когда он находится на расстоянии b от m_2 . Запишем закон сохранения энергии и закон сохранения импульса:

$$\begin{cases} \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{kQ^2}{a} \Rightarrow a = \frac{2kQ^2}{m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2} \\ m_1 v_1 - m_2 v_2 = m_1 u \Rightarrow u = v_1 - \frac{m_2}{m_1} v_2 \\ \frac{m_1 u^2}{2} + \frac{kQ^2}{b} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} \Rightarrow b = \frac{2kQ^2}{m_2 \left(v_2^2 \left(1 - \frac{m_2}{m_1} \right) + 2v_1 v_2 \right)}. \end{cases} \quad (70)$$

Ответ:
$$\begin{cases} a = \frac{2kQ^2}{m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2}, \\ b = \frac{2kQ^2}{m_2 \left(v_2^2 \left(1 - \frac{m_2}{m_1} \right) + 2v_1 v_2 \right)}. \end{cases}$$

Решение задачи №4 См. решение задачи № 4 из Варианта I на стр. 53.

Ответ: 2F.

Решение задачи №5 См. решение задачи № 5 из Варианта I на стр. 54.

Решение задачи №6 См. решение задачи № 6 из Варианта I на стр. 55.

Вступительные экзамены в НГУ 2004

В 2004 году в качестве вступительных в НГУ по физике были предложены два варианта для ФФ (стр. 16 и 16), один вариант для ФЕН и Лечебного дела (стр. 19) и один для ГГФ (стр. 20). В этом разделе представлены варианты решений этих задач. Прежде чем заглядывать в этот раздел следует попробовать решить представленные задания самостоятельно. *Лучший способ научиться решать задачи — это решать задачи.*

Вариант ФФ-421

Решение задачи №1 Пусть μ — коэффициент трения между бруском и наклонной поверхностью, а α — угол наклона поверхности тогда:

$$\begin{cases} a_1 = g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha \\ a_2 = g \sin \alpha - \mu g \cos \alpha \end{cases} \Rightarrow \sin \alpha = \frac{a_1 + a_2}{2g}. \quad (71)$$

Ответ: $\sin \alpha = (a_1 + a_2)/2g$.

Решение задачи №2 Пусть P_2 — давление в нижнем отсеке, а P_1 — в верхнем, тогда из условия равновесия получаем:

$$P_2 - P_1 = mg/S. \quad (72)$$

Воспользуемся тем фактом, что полное число молекул газа в обоих отсеках сосуда сохраняется²⁴. Пусть в какой-то момент времени объёмы отсеков были равны V_1 и V_2 для верхнего и нижнего, соответственно. Пусть сдвинувшийся в результате процесса поршень увеличил/уменьшил верхний/нижний отсек на ΔV , тогда:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} + \frac{P_2 V_2}{T_2} = \text{const} = \frac{P_1(V_1 + \Delta V)}{T_1} + \frac{P_2(V_2 - \Delta V)}{T_2} \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}. \quad (73)$$

Из (72) и (73) получаем, что:

$$\begin{cases} P_1 = \frac{mg}{S} \frac{T_1}{T_2 - T_1} \\ P_2 = \frac{mg}{S} \frac{T_2}{T_2 - T_1} \end{cases} \quad (74)$$

Ответ: $P_1 = \frac{mg}{S} \frac{T_1}{T_2 - T_1}$, $P_2 = \frac{mg}{S} \frac{T_2}{T_2 - T_1}$.

Решение задачи №3 Перерисуем рис. 25 из условия задачи на стр. 16, как это показано на рис. 55. Получается два конденсатора ёмкости C_1 и C_2 с распределениями зарядов как показано на рисунке.

Ёмкость конденсаторов определяется по формуле плоского конденсатора $C_i = S/4\pi k d_i$, электрические поля, создаваемые в конденсаторах равны $E_i = U/d_i$, а заряды на пластинах $q_i = C_i U$, где $i = 1, 2$.

²⁴Достаточно не тривиальное для школьника умозаключение, но как показала практика (рис. 44) довольно многие с этой задачей справились.

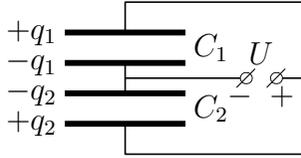


Рис. 55. К решению задачи № 3

Сила действующая на пластину конденсатора равна $F_i = \frac{1}{2}q_i E_i$, где $i = 1, 2$. Множитель $1/2$ взялся из того, что для определения силы требуется учесть только внешнее поле по отношению к пластине, которое равно половине от общего поля в конденсаторе²⁵.

Сила, действующая на среднюю пластину равна:

$$\begin{aligned}
 F &= F_1 - F_2 = \frac{q_1 E_1}{2} - \frac{q_2 E_2}{2} = \\
 &= \frac{C_1 U^2}{2d_1} - \frac{C_2 U^2}{2d_2} = \frac{SU^2}{8\pi k} \left(\frac{1}{d_1^2} - \frac{1}{d_2^2} \right). \quad (75)
 \end{aligned}$$

Ответ: $F = \left| \frac{SU^2}{8\pi k} \left(\frac{1}{d_1^2} - \frac{1}{d_2^2} \right) \right|$.

Решение задачи №4 Для начала вспомним, какие величины нам известны. Известно, что масса пули примерно $m = 10$ г, скорость вылета пули из ствола ружья примерно $v = 1 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ (точнее $800 \frac{\text{м}}{\text{с}}$), а длина ствола порядка $\ell = 1$ м. Получившаяся мощность должна зависеть от этих величин.

Можно попытаться скомбинировать получившиеся величины, чтобы в результате получилось выражение с размерностью равной размерности мощности. Это не является решением и полный бал за такие действия не дадут, но это хорошо проделывать для проверки нормального решения. Запишем возможную формулу для мощности в общем виде:

$$N = \left[\frac{\text{кг М}^2}{\text{с}^3} \right] = K m^a v^b \ell^c = \left[\text{кг}^a \left(\frac{\text{М}}{\text{с}} \right)^b \text{М}^c \right] = \left[\text{кг}^a \text{М}^{b+c} \text{с}^{-b} \right], \quad (76)$$

где a, b и c целые числа, а K — некий безразмерный коэффициент²⁶.

²⁵Эта ошибка была основной для этой задачи.

²⁶Обычно он порядка единицы, к сожалению это не всегда так.

Из (76) получаем систему линейных уравнений:

$$\begin{cases} a = 1 \\ b + c = 2 \\ -b = -3 \end{cases} \Rightarrow N = K \times \frac{mv^3}{\ell}. \quad (77)$$

Для полного решения «задачи-оценки» необходимо предложить модель явления. Мы точно не знаем как ведёт себя пуля при выстреле в стволе, но не сильно ошибёмся в случае определения средних величин, если предположим, что движение равноускоренное, в этом случае мощность постоянна. Тогда время, которая пуля разгоняется в стволе равно $t = 2\ell/v$, а из определения мощности и закона сохранения энергии можно получить:

$$N = \frac{mv^2}{2t} = \frac{mv^3}{4t} = \frac{1}{4} \times \frac{mv^3}{\ell}, \quad (78)$$

что по форме полностью соответствует формуле (78), полученной из размерности. Теперь подставим известные нам величины, переведя их в стандартные единицы СИ, то есть в кг, м и с:

$$N = \frac{1}{4} \times \frac{mv^3}{\ell} \simeq \frac{10^{-2} \text{ кг} \times (10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}})^3}{4 \times 1 \text{ м}} = 2.5 \cdot 10^6 \text{ Вт}. \quad (79)$$

Если вместо $v = 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ подставить $v = 800 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, то результат будет уменьшен примерно в два раза.

Ответ: $mv^3/4\ell \simeq 1 \text{ МВт}$.

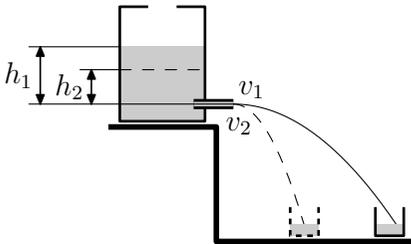


Рис. 56. К решению задачи №5.

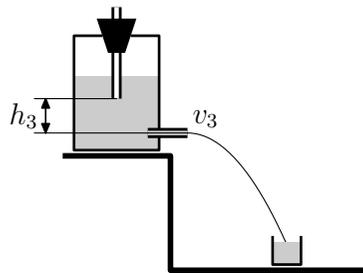


Рис. 57. К решению задачи №5.

Решение задачи №5 Немного модифицируем рисунки, которые шли с условием задачи (см. рис. 56 и 57).

Чем больше перепад давления на входе трубочки и на выход — тем больше скорость воды в струе. Чем больше скорость воды в струе, тем дальше она «бьёт».

Из Рис. 56 скорость струи понижения уровня v_2 меньше начальной скорости v_1 , так как $h_2 < h_1$. В данном случае перепад давления соответствует высоте столба жидкости равен: ρgh_i , где ρ — плотность воды, а $i = 1, 2$. Следствием это является, что струя со временем из-за понижения уровня перестаёт попадать в ёмкость.

Во втором случае (см. рис. 57) чтобы сформировать струю необходимо, чтобы воздух заполнил верхнюю трубочку и «пробулькивался» через неё, так как вода не сжимаема. Следовательно, в самом нижнем конце трубки устанавливается атмосферное давление и воду «разгоняет» столб жидкости равный ρgh_3 , который не меняется до тех пор пока уровень жидкости выше нижнего конца трубки, а, следовательно, не меняется скорость на выходе v_3 и струя воды всё время попадает в ёмкость, наполняя её полностью.

Вариант ФФ-422

Решение задачи №1 Пусть T — температура газа, h — расстояние от дна до поршня в начале, а Δh — изменение высоты после того, как шарик лопнул, тогда число молей газа равно:

$$\nu = \frac{P_0(hS - V)}{RT} + \frac{PV}{RT} = \frac{P_0S(h + \Delta h)}{RT} \Rightarrow \Delta h = \frac{V}{S} \left(\frac{P}{P_0} - 1 \right). \quad (80)$$

Ответ: $\Delta h = \frac{V}{S} \left(\frac{P}{P_0} - 1 \right)$.

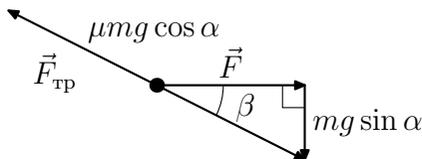


Рис. 58. К решению задачи №2.

Решение задачи №2 На рис. 58 изображены силы, которые действуют на тело. Сила трения направлена против движения. Так как тело

движется с постоянной скоростью, то сумма всех сил, действующих на него, должна быть равна нулю. Пусть m — масса тела, тогда получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} \operatorname{tg} \beta = \frac{mg \sin \alpha}{F} \Rightarrow F = \frac{mg \sin \alpha}{\operatorname{tg} \beta} \\ \mu mg \cos \alpha = \sqrt{F^2 + m^2 g^2 \sin^2 \alpha} \end{cases} \Rightarrow \mu = \operatorname{tg} \alpha \sqrt{\frac{1}{\operatorname{tg}^2 \beta} + 1} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sin \beta}. \quad (81)$$

Ответ: $\mu = \operatorname{tg} \alpha / \sin \beta$.

Решение задачи №3 Пусть v — скорость пластин после неупругого удара, а v' — скорость верхней пластины, в момент когда отпустили вторую. Пусть C' — ёмкость конденсатора в момент, когда отпустили вторую пластину. Из такого определения получается, что $C/C' = d/D$.

Пусть q — заряд, который находится на пластине, то есть $q = CU$, тогда запишем закон сохранения энергии и импульса:

$$\begin{cases} \frac{q^2}{2C} = \frac{mv'^2}{2} + \frac{q^2}{2C'} \\ mv' = 2mv \end{cases} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{CU^2}{4m} \left(1 - \frac{d}{D}\right)}. \quad (82)$$

Ответ: $v = (CU^2(1 - d/D)/4m)^{1/2}$.

Решение задачи №4 Пусть спортсмен подпрыгивает на высоту h , тогда длительность прыжка равна $t = 2\sqrt{2h/g}$. Следовательно, средняя скорость центра скакалки равна $v = 2 \times 2\pi(\ell/2)/t$, где ℓ — длина скакалки.

Высота прыжков составляет около 20 см, а длина скакалки около 2 м, следовательно:

$$v = \pi \ell \times \sqrt{\frac{g}{2h}} \simeq \pi \times 2 \text{ м} \times \sqrt{\frac{10 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{2 \times 0.2 \text{ м}}} \simeq \pi \times 2 \times 1.6 \simeq 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad (83)$$

Ответ: $\pi \ell \times \sqrt{\frac{g}{2h}} \simeq 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Решение задачи №5 См. решение задачи № 5 из ФФ-421 на стр. 60.

Вариант ФЕН-401

Решение задачи №1 Так как удар абсолютно упругий, то скорость шарика после удара находится из закона сохранения энергии:

$$mgh = \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v^2 = 2gh. \quad (84)$$

Движение в поле тяжести равноускоренное, следовательно, расстояние, на которое отскочил шарик по горизонтали равно:

$$L = 2v_{\parallel} \times t = 2v_{\parallel} \times (v_{\perp}/g) = 2v \cos \alpha \times (v \sin \alpha/g) = v^2 \sin 2\alpha/g, \quad (85)$$

а так как нам требуется максимальное расстояние для отскока, то это произойдёт, когда $\sin 2\alpha = 1$, то есть, подставив (84) в (85) получим: $L = v^2/g = 2gh/g = 2h$.

Ответ: . 2h.

Решение задачи №2 Пусть C — искомая ёмкость, q_1 — заряд, который возникнет на конденсаторе C_0 после замыкания, а q_2 — заряд на C так же после замыкания. Тогда до замыкания заряд на искомом конденсаторе равнялся $q_0 = q_1 + q_2$. Из этих определений следует, что:

$$\begin{cases} \frac{q_1}{C_0} = \frac{q_2}{C} = V \\ \frac{q_1 + q_2}{C} = V_0 \end{cases} \Rightarrow V \frac{C + C_0}{C} = V_0 \Rightarrow C = \frac{VC_0}{V_0 - V}. \quad (86)$$

Ответ: $C = C_0V/(V_0 - V)$.

Решение задачи №3 Пусть P — искомое давление, S — площадь сечения цилиндра, H — полная высота цилиндра, а h_0 — начальная высота верхнего отсека. Так как температура везде и всегда в цилиндре постоянна и газ из цилиндра не утекает, то можно записать уравнение состояния в следующем виде:

$$\begin{aligned} P_0Sh_0 + \left(P_0 + \frac{mg}{S}\right)S(H - h_0) &= \\ = PS(h_0 + h) + \left(P + \frac{mg}{S}\right)S(H - h_0 - h) &\Rightarrow \\ \Rightarrow P_0H = PH - mgh/S \Rightarrow |V \equiv SH| &\Rightarrow P = P_0 + \frac{mgh}{V}. \end{aligned} \quad (87)$$

Ответ: $P = P_0 + mgh/V$.

Решение задачи №4 Пусть μ — искомый коэффициент трения, a_1 — ускорение, которое испытывает тело при движении вверх, а a_2 — при движении вниз, тогда

$$\begin{cases} a_1 = g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha \\ a_2 = g \sin \alpha - \mu g \cos \alpha \end{cases} \quad (88)$$

При своём перемещении тело проехало вверх и вниз одно и то же расстояние, и это расстояние равно:

$$S = \frac{a_1 t^2}{2} = \frac{a_2 (2 \times t)^2}{2} \Rightarrow a_1 = 4a_2. \quad (89)$$

Подставим (88) в (89) и получим:

$$g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha = 4g \sin \alpha - 4\mu g \cos \alpha \Rightarrow \mu = \frac{3}{5} \operatorname{tg} \alpha, \quad (90)$$

а

$$S = \frac{4}{5} g t^2 \sin \alpha. \quad (91)$$

Выделившееся в исследуемом процессе тепло есть разница начальной и конечной кинетических энергий:

$$Q = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2} = \frac{ma_1^2 t^2}{2} - \frac{ma_2^2 (2t)^2}{2} = \frac{24}{25} mg^2 t^2 \sin^2 \alpha. \quad (92)$$

Ответ: $\mu = \frac{3}{5} \operatorname{tg} \alpha$, $Q = \frac{24}{25} mg^2 t^2 \sin^2 \alpha$.

Вариант ГГФ-411

Решение задачи №1 Пусть V — объём баллона. Так как температура константа, то сохранение количества вещества можно записать в виде:

$$P_0 V = P_2 V + P_1 V_1 \Rightarrow V = V_1 \frac{P_1}{P_0 - P_2}. \quad (93)$$

Ответ: $V = V_1 P_1 / (P_0 - P_2)$.

Решение задачи №2 Пусть T — натяжение нити, а α — угол наклона, тогда для каждого из тел можно записать закон Ньютона:

$$\begin{cases} m_1 g \sin \alpha - \mu_1 m_1 \cos \alpha - T = 0 \\ T + m_2 g \sin \alpha - \mu_2 m_2 \cos \alpha = 0 \end{cases} \Rightarrow \operatorname{tg} \alpha = \frac{\mu_1 m_1 + \mu_2 m_2}{m_1 + m_2}. \quad (94)$$

Ответ: $\operatorname{tg} \alpha = (\mu_1 m_1 + \mu_2 m_2)/(m_1 + m_2)$.

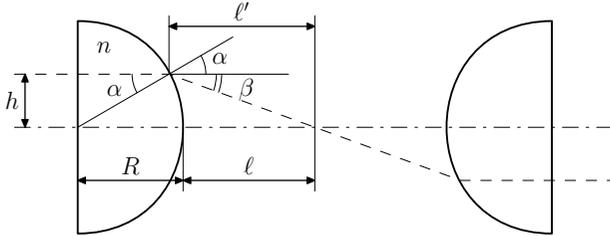


Рис. 59. К решению задачи №3.

Решение задачи №3 Проследим путь луча, который падает на полусферу на расстоянии h от главной оптической оси (см. рис. 59). Чтобы луч вошёл и вышел параллельно главной оптической оси он должен следовать пунктирной линии на рисунке, пересекая главную оптическую ось точно между полушариями.

По закону преломления с учётом того, что все углы малы, получаем:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} = \frac{1}{n} \Rightarrow \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \simeq \frac{1}{n} \Rightarrow \beta \simeq (n - 1)\alpha \quad (95)$$

В свою очередь:

$$\alpha \simeq \sin \alpha = h/R. \quad (96)$$

Так как пучок света тонкий, т. е. оптика геометрическая, то

$$\ell \simeq \ell' \simeq \frac{h}{\sin \beta} \simeq \frac{h}{(n - 1)\alpha} \simeq \frac{R}{n - 1}, \quad (97)$$

т. е. искомое расстояние равно:

$$L = 2(R + \ell) \simeq 2R \frac{n}{n - 1}. \quad (98)$$

Ответ: $2Rn/(n - 1)$.

Решение задачи №4 а) Фотоэффект — вылет электронов из металла при освещении его светом²⁷.

б) $\frac{mv^2}{2} = \hbar\omega - A$, где m — масса фотоэлектрона, v — максимальная скорость вылета, \hbar — постоянная планка, ω — частота падающего света, а A — работа выхода.

в) Красная граница фотоэффекта — наименьшая частота света, при которой фотоэффект прекращается.

²⁷Достаточно и такой формулировки