В равнобедренных треугольниках AKC и BKD углы при вершинах равны, следовательно, и углы при основаниях равны, значит, $\angle KAP = \angle KDP$, и точки A, D, P, K лежат на одной окружности, откуда $\angle(KP, AP) = \angle(KD, AD)$. (Через $\angle(a, b)$ обозначен угол от прямой a до прямой b, отсчитываемый против часовой стрелки.)

Предыдущие рассуждения останутся без изменений, если точки A, C, P заменить на F, E, Q соответственно. Отсюда вытекает, что точки F, D, Q, K лежат на одной окружности и $\angle(KQ, FQ) = \angle(KD, FD)$. Получаем, что $\angle(KP, RP) = \angle(KP, AP) = \angle(KD, AD) = \angle(KD, FD) = \angle(KQ, FQ) = \angle(KQ, RQ)$, поэтому точки K, P, R, Q лежат на одной окружности. Итак, K – общая точка всевозможных окружностей, проходящих через точки P, Q, R.

Замечание 1. Из решения вытекает следующее описание искомой точки: точка K – центр поворота, переводящего точки A, F, D в точки C, E, B соответственно.

Замечание 2. Известно следующее утверждение. Пусть имеется четверка попарно непараллельных прямых. Тогда четыре окружности, описанные около треугольников, образованных тройками этих прямых, имеют общую точку. Эта точка называется точкой Микеля четверки прямых. Из решения следует, что K является точкой Микеля пяти прямых AD, BC, AC, BD, EF, т.е. лежит на описанной окружности треугольника, образованного любой тройкой из этих прямых.

6 (П.Козлов). Занумеруем всех участников олимпиады числами от 1 до n и представим результаты олимпиады в виде таблицы с n строками и шестью столбцами, в которой на пересечении i-й строки и j-го столбца стоит плюс, если i-й участник решил задачу номер j. По условию, нет строки с шестью плюсами. Для каждой из пар (j, k) столбцов, $1 \le j < k \le 6$, определим параметр $b_{j,k}$, равный количеству строк, на пересечении которых с j-м и k-м столбцами стоят плюсы. По условию, $b_{j,k} > \frac{2}{5}n$, поэтому $b_{j,k} = \frac{2}{5}n + 1 - \left\{\frac{2}{5}n\right\} + a_{j,k}$, где $a_{j,k}$ – целое неотрицательное ($\{x\}$ обозначает дробную долю числа x). Предположим, утверждение задачи неверно, т.е. строк с пятью плюсами не более одной. Добавим, если возможно, в каждой строке плюсов так, чтобы в одной строке стало 5 плюсов (пусть, скажем, в этой строке нет плюса только в столбце номер q), а в остальных $n-1$ строках – по 4 плюса. При этом условие задачи не нарушится.

Сосчитаем теперь количество P пар плюсов, находящихся в каждой строке. Суммируя по строкам, получаем $P = 6(n-1) + 10 = 6n + 4$, так как в строке с четырьмя плюсами 6 пар плюсов, а в строке с пятью плюсами – 10 пар. Суммируя по всем парам столбцов, получаем, что

$$P = b_{1,2} + b_{1,3} + \ldots + b_{5,6} =$$

$$= 15\left(\frac{2}{5}n + 1 - \left\{\frac{2}{5}n\right\}\right) + a_{1,2} + a_{1,3} + \ldots + a_{5,6} =$$

$$= 6n + 15 - 15\left\{\frac{2}{5}n\right\} + a_{1,2} + a_{1,3} + \ldots + a_{5,6}.$$

Дробная доля $\left\{\frac{2}{5}n\right\}$ может принимать значения $0, \frac{1}{5}, \frac{2}{5}, \frac{3}{5}, \frac{4}{5}$.

Если $\left\{\frac{2}{5}n\right\} \le \frac{3}{5}$, то $P \ge 6n + 15 - 15 \cdot \frac{3}{5} = 6n + 6 > 6n + 4 = P$ – противоречие. Если же $\left\{\frac{2}{5}n\right\} = \frac{4}{5}$, то n дает остаток 2 при делении на 5. Положим $n = 5l + 2$, тогда

$$P = 6n + 15 - 15 \cdot \frac{4}{5} + a_{1,2} + a_{1,3} + \ldots + a_{5,6} =$$

$$= 6n + 3 + a_{1,2} + a_{1,3} + \ldots + a_{5,6} = 6n + 4.$$

Значит, ровно одно из 15 чисел $a_{1,2}, a_{1,3}, \ldots, a_{5,6}$ равно 1, а остальные равны 0. Пусть для определенности $a_{1,2} = 1$, тогда $b_{1,2} = \frac{2}{5}n + 1 - \frac{4}{5} + 1 = 2l + 2$, а $b_{1,3} = b_{1,4} = \ldots = b_{5,6} = 2l + 1$. Пусть в i-м столбце s_i плюсов. Обозначим t_i количество пар плюсов, находящихся в одной строке, для которых один из плюсов содержится в i-м столбце. С одной стороны, t_i есть сумма тех пяти чисел $b_{j,k}$, для которых $i = j$ или $i = k$, т.е. $t_i = 5(2l+1) = 10l + 5$ при $i \ne 1, 2$ и $t_1 = t_2 = 10l + 6$. С другой стороны, суммируем t_i по строкам: каждая из s_i строк, имеющих плюс в i-м столбце, содержит 3 нужные пары, если всего в этой строке 4 плюса, и содержит 4 нужные пары, если всего в этой строке 5 плюсов. Таким образом, $t_q = 3s_q$ и $t_i = 3s_i + 1$ при $i \ne q$.

Итак, с одной стороны, среди чисел $t_1, t_2, \ldots, t_6$ два числа равны, а оставшиеся четыре числа на 1 меньше. С другой стороны, ровно одно из этих чисел делится на 3. Противоречие.

Публикацию подготовили
Н.Агаханов, П.Кожевников, Д.Терешин

XXXVI Международная физическая олимпиада

В первой половине июля 2005 года в Испании, в городе Саламанка, расположенном в 200 км от Мадрида, прошла очередная международная физическая олимпиада школьников. Саламанка была выбрана не случайно – здесь расположен один из старейших университетов Европы, основанный в 1218 году. В нем ежегодно десятки тысяч студентов обучаются разным наукам и проходят стажировки. Саламанка – один из центров образования, науки и культуры Испании.

На олимпиаду прибыли команды школьников из 73 стран. Общее число участников олимпиады составило 352 школьника.

В сборную России, по результатам выступления на двух последних всероссийских олимпиадах и рейтинга, полученного на трех сборах, были включены:

Гущин Иван – Ярославль, школа 33 (школьный учитель физики – Э.Е.Федосеева, преподаватель Регионального научно-образовательного центра «Логос» – С.В.Турунтаев), *Ахунзянов Руслан* – Набережные Челны, гимназия 57 (учитель физики – Р.Х.Ахунзянов),

Мозгунов Евгений – Сергиев Посад, ФМЛ (учителя – А.В.Русаков, В.В.Дмитриева),

Федотов Юрий – Тамбов, лицей 14 (учитель – Ю.Н.Комаров),

Ерофеев Иван – Новосибирск, лицей 130 (учителя – Ю.В.Трибунская, М.П.Вышенкова).

Команду России возглавили профессор МФТИ С.М. Козел и доцент МФТИ В.П. Слободянин. В качестве наблюдателей от России (прибывших на олимпиаду за свой счет) присутствовали доцент МФТИ Д.А.Александров и директор ФМЛ города Сергиев Посад, учитель физики В.Г.Сухов.

Как и в предыдущие годы, подготовка сборной команды школьников России проводилась на базе Московского физико-технического института.

На олимпиаде состязающимся были предложены три теоретических задания, каждое из которых оценивалось в 10 баллов, и одно экспериментальное задание – 20 баллов. Таким образом, максимальное число баллов, которое мог набрать каждый из участников олимпиады, составляло 50. Как теоретические, так и экспериментальное задания были достаточно трудными и громоздкими.

Наши ребята хорошо справились с заданиями обоих туров. По теории они набрали в сумме 138,4 балла (более 92% от максимально возможного), по эксперименту – 89,9 балла (около 90%). Несмотря на столь высокие результаты, наша команда в неофициальном командном зачете по сумме баллов заняла только 3-е место.

Вот результаты выступления на олимпиаде двенадцати лучших команд:

№	Страна	Золотая медаль	Серебряная медаль	Бронзовая медаль	Сумма баллов
1.	Тайвань	5			238,7
2.	Китай	5			234,2
3.	Россия	4	1		228,3
4.	Румыния	3	2		223,6
5.	Таиланд	2	2	1	220,4
6.	Иран	2	1	2	215,8
7.	Венгрия	3	2		215,6
8.	Индия	2	2	1	215,3
9.	Сингапур	3	2		212,6
10.	США	1	3	1	209,4
11.	Корея	2	3		204,2
12.	Индонезия	2	3		201,8

Как видно из таблицы, из европейских стран в группе лидеров остались только Россия, Румыния и Венгрия, ежегодно показывающие высокие результаты, а 8 стран из указанных 12 – это страны юго-восточного региона. Команды большинства из этих стран устойчиво добиваются высоких результатов в международных олимпиадах и по другим предметам. Это может означать лишь одно: в этих странах уделяется значительное внимание образованию и, в частности, работе с одаренными детьми – интеллектуальному потенциалу нации.

Заметим, что конкуренция между командами лидирующей группы была исключительно острой. В этих условиях решающим фактором в борьбе за более высокое место часто становится аккуратная запись результатов, указание размерностей физических величин, правильно выбранный масштаб графиков, четко выполненный рисунок или схема, грамотно оцененная ошибка измерений и так далее. Наблюдения за многолетний период показывают, что в нашей средней школе исчез процесс приобретения такой «образовательной культуры».

Члены сборной команды России показали следующие результаты:

	Теория (30 баллов)	Эксперимент (20 баллов)	Сумма баллов	Медаль
Ахунзянов Руслан	29,8	19,0	48,8	золотая
Мозгунов Евгений	29,3	18,6	47,9	золотая
Гущин Иван	26,0	19,1	45,1	золотая
Ерофеев Иван	30,0	15,0	45,0	золотая
Федотов Юрий	23,3	18,2	41,5	серебряная

Участник нашей команды Иван Ерофеев выполнил теоретические задания на 100% и получил специальный приз жюри за абсолютно лучший результат по теории.

Условия теоретических задач приведены ниже. Здесь же кратко расскажем об экспериментальном задании, в котором участникам предлагалось выполнить серию экспериментов и определить важнейшую физическую константу – постоянную Планка. На выполнение эксперимента отводилось 5 часов. Каждому участнику был предоставлен прибор оригинальной конструкции, включающий источник света, фотоприемник, систему оптических фильтров, электроизмерительные приборы для измерения температуры, напряжения и силы тока, регулируемый блок питания. К заданию прилагались краткие инструкции к пользованию всеми элементами установки и подробное описание всех разделов экспериментальной работы. Таким образом, ребята с самого начала знали логическую схему работы, и в этом смысле в предложенном эксперименте отсутствовал какой-либо творческий элемент. Успех выполнения задания зависел от аккуратности проведения длинной серии нескольких экспериментов, тщательной обработки экспериментальных результатов, аккуратной записи результатов и построения графиков в правильно выбранных координатах, определения из этих графиков нужных параметров и оценки точности различных этапов эксперимента. Если принять во внимание, что многие из кандидатов в сборную России на начальном этапе подготовки вообще не имели никаких экспериментальных навыков и знакомились с методикой проведения физического эксперимента и с целым рядом современных приборов только на краткосрочных сборах, то результаты наших ребят в экспериментальном туре можно признать вполне успешными.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ТУР

Задача 1. Спутник с печальной судьбой

Наиболее частыми маневрами, выполняемыми космическими кораблями на орбите, являются изменения скорости вдоль направления полета с целью перехода на более высокие орбиты или торможения при входе в атмосферу. В данной задаче мы будем изучать изменения орбит, когда тяга двигателя действует в радиальном направлении. Для проведения численных расчетов используйте следующие данные: радиус Земли $R = 6,37 \cdot 10^6$ м, ускорение свободного падения у земной поверхности $g = 9,81$ м/с^2, продолжительность астрономических суток $T_0 = 24,0$ ч.

Мы рассматриваем геостационарный спутник связи (его период обращения равен T_0) массой m, выведенный на круговую экваториальную орбиту радиусом r_0. Такие спутники оснащены маневровым двигателем, с помощью которого им сообщаются импульсы, необходимые для выхода на конечную орбиту.

Задание 1

1) Найдите численное значение r_0. (0,3 балла)

2) Получите аналитическое выражение для скорости v_0 спутника как функцию g, R и r_0, а также найдите численное

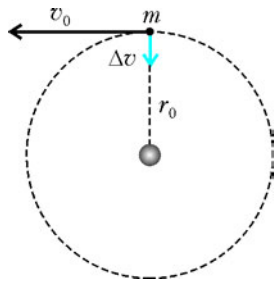

Рис. 1

значение скорости. (0,3 + 0,1 б.)

3) Выразите момент импульса L_0 и полную механическую энергию E_0 спутника как функцию v_0, m, g и R. (0,4 + 0,4 б.)

После того как спутник уже достиг геостационарной круговой орбиты и был застабилизирован в нужном положении, готовясь к выполнению своей работы, из-за ошибки наземных операторов вновь включился маневровый двигатель (рис.1). В результате спутник получил толчок, направленный к Земле, и, несмотря на быстрые действия наземной команды по остановке двигателя, нежелательное изменение скорости спутника Δv все-таки произошло. Мы охарактеризуем этот толчок параметром $\beta = \Delta v / v_0$. Время работы двигателя обычно пренебрежимо мало по сравнению со всеми другими орбитальными временами, поэтому мы можем рассматривать его как бесконечно малое.

Задание 2

Рассмотрим случай $\beta < 1$.

1) Выразите фокальный параметр (см. Подсказку) новой орбиты l и ее эксцентриситет ε через r_0 и β. (0,4 + 0,5 б.)

2) Вычислите угол α между большой осью новой орбиты и радиусом-вектором спутника в месте толчка. (1 б.)

3) Получите аналитические выражения для минимального $r_{\min}$ (перигей) и максимального $r_{\max}$ (апогей) расстояний спутника от центра Земли как функции r_0 и β и вычислите их численные значения для $\beta = 1/4$. (1,0+0,2 б.)

4) Выразите период обращения по новой орбите T как функцию T_0 и β и найдите его численное значение для $\beta = 1/4$. (0,5+0,2 б.)

Задание 3

1) Вычислите $\beta_{\min}$ – минимальное значение параметра β, необходимое для преодоления спутником земной гравитации. (0,5 б.)

2) Определите в этом случае наименьшее расстояние $r'_{\min}$ между центром Земли и спутником при его движении по новой траектории как функцию r_0. (1 б.)

Задание 4

Рассмотрим случай $\beta > \beta_{\min}$.

1) Определите скорость спутника на бесконечности v_∞ как функцию v_0 и β. (1 б.)

2) Выразите прицельный параметр b (рис.2) в асимптотическом пределе через r_0 и β. (1 б.)

3) Определите угол φ асимптотического направления ухода как функцию β. Найдите его численное значение для $\beta = 3\beta_{\min}/2$. (1 + 0,2 б.)

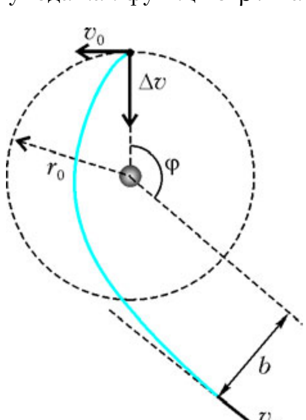

Рис. 2

Подсказка

Под действием центральных сил, подчиняющихся закону обратных квадратов, тела движутся по траекториям, которые являются эллипсами, параболами или гиперболами. В приближении $m \ll M$ притягивающая масса M находится в одном из фокусов. При выборе начала координат в этом фокусе (рис.3) общее уравнение этих кривых в полярных координатах записывается в виде

$$r(\theta) = \frac{l}{1 - \varepsilon \cos\theta},$$

где l – положительная постоянная, называемая фокальным параметром, а ε – эксцентриситет кривой. Используя константы движения, можно записать

$$l = \frac{L^2}{GMm^2} \text{ и } \varepsilon = \sqrt{1 + \frac{2EL^2}{G^2M^2m^3}},$$

где G – гравитационная постоянная, L – модуль момента импульса относительно начала координат тела, движущегося по орбите, а E – его механическая энергия, причем потенциальная энергия на бесконечности принимается равной нулю.

Возможны следующие случаи: если $0 \le \varepsilon < 1$, то кривая является эллипсом (при $\varepsilon = 0$ – окружностью); если $\varepsilon = 1$, то кривая является параболой; если $\varepsilon > 1$, то кривая является гиперболой.

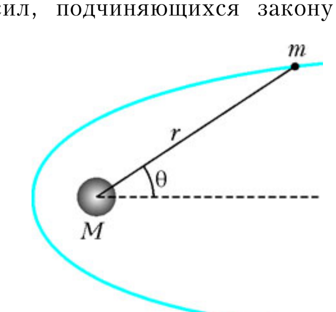

Рис. 3

Задача 2. Абсолютные измерения электрических величин

Преобразования в науке и технике, произошедшие в XIX столетии, привели к острой потребности во всемирно признанных стандартах электрических величин. Считалось, что новые абсолютные единицы должны основываться только на эталонах длины, массы и времени. С 1861 по 1912 год была проведена интенсивная экспериментальная работа по нахождению значений этих единиц. Мы предлагаем здесь три исследования этой проблемы.

Определение ома по Кельвину

Круговая короткозамкнутая плоская катушка из N витков радиусом a и общим сопротивлением R вращается с постоянной угловой скоростью ω вокруг вертикального диаметра в горизонтальном магнитном поле $\vec{B}_0 = B_0\vec{i}$.

1) Подсчитайте электродвижущую силу $\mathscr{E}$, индуцированную в катушке, а также среднюю мощность $\langle P \rangle$, необходимую для поддержания движения катушки. Самоиндукцией катушки пренебречь. (0,5 + 1 б.)

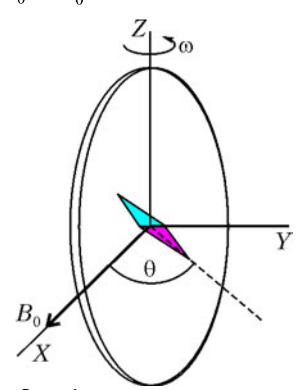

Рис. 4

Маленькая магнитная стрелка помещена в центр катушки, как показано на рисунке 4. Она может медленно вращаться в горизонтальной плоскости вокруг оси Z, но не может поспевать за быстрым вращением катушки. Как только будет достигнут стационарный режим, стрелка установится в положении, составляющем малый угол θ с $\vec{B}_0$.

2) Выразите сопротивление R катушки через угол θ и другие заданные параметры системы. (2 б.)

Лорд Кельвин применил этот метод в 1860-х годах для установления абсолютного стандарта для ома. Чтобы избавиться от вращающейся катушки, Лоренц применил использованный ранее лордом Рэлеем и мисс Зидгвик альтернативный метод, который исследуется в следующей части задачи.

Определение ома по Рэлею и Зидгвик

Экспериментальная установка, изображенная на рисунке 5, состоит из двух одинаковых металлических дисков D и D'

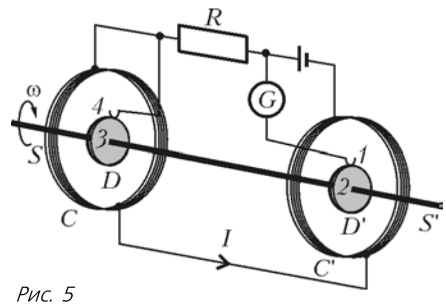

Рис. 5

радиусом b, насаженных на (проводящий) вал SS'. Мотор вращает вал с угловой скоростью ω, которая может изменяться. Две одинаковые катушки C и C' (радиусом a и с N витками каждая) окружают диски. Они соединены таким образом, что электрический ток I течет через них в противоположных направлениях. Прибор служит для измерения сопротивления R.

1) Допустим, что ток I, протекающий через катушки C и C', создает однородное магнитное поле вокруг D и D', величину которого можно принять равной полю в центре катушек. Найдите электродвижущую силу $\mathcal{E}$, индуцированную между краями дисков *1* и *4*, предполагая, что расстояние между катушками значительно превышает радиус катушек и что $a \geq b$. (2 б.)

Пусть теперь диски подсоединены к электрической цепи щеточными контактами, касающимися краев дисков *1* и *4*. Гальванометр G регистрирует силу тока, протекающего по цепи *1–2–3–4*. Сопротивление R измеряется, когда гальванометр G показывает ноль.

2) Выразите сопротивление R через физические параметры системы. (0,5 б.)

Определение ампера

Пропускание тока по двум проводникам и измерение силы, действующей между ними, позволяет получить абсолютное определение силы тока. Принцип действия «токовых весов», изобретенных лордом Кельвином в 1882 году, основан на этом методе. Весы состоят из шести одинаковых одиночных витков радиусом a, соединенных последовательно. Как показано на рисунке 6, неподвижные витки C_1, C_3, C_4 и C_6 расположены в двух горизонтальных плоскостях, которые разделены малым расстоянием $2h$. Катушки C_2 и C_5 подвешены к плечам весов длиной d и в состоянии равновесия находятся на одинаковых расстояниях от обеих плоскостей.

Ток I течет через различные катушки в таких направлениях, что сила со стороны магнитного поля, действующая на C_2, направлена вверх, в то время как сила, действующая на C_5, направлена вниз. Чтобы восстановить равновесие весов при протекании тока через цепь, требуется расположить массу m на расстоянии x от точки опоры O.

1) Найдите силу F, действующую на C_2 благодаря магнитному взаимодействию с C_1. Для простоты считайте, что сила на единицу длины такая же, как при взаимодействии двух длинных линейных проводников, по которым текут параллельные токи. (1 б.)

2) Сила тока измеряется, когда весы находятся в равновесии. Выразите ее значение I через физические параметры системы, предполагая, что размеры установки таковы, что можно пренебречь действием левых катушек на правые и наоборот. (1 б.)

Пусть M – масса всей подвешенной системы (за исключением m), G – ее центр масс, а l – расстояние OG.

3) Равновесие весов оказывается устойчивым по отношению к малым отклонениям δz и $-\delta z$ витков C_2 и C_5 по высоте. Найдите максимальное значение $\delta z_{\max}$, при котором весы все еще возвращаются в положение равновесия, когда их отпускают. (2 б.)

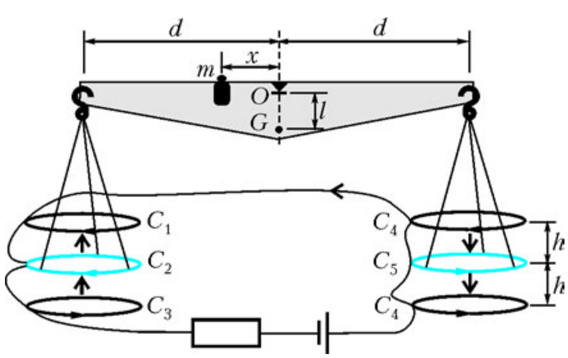

Рис. 6

Задача 3. Нейтроны в гравитационном поле

В знакомом нам мире классической физики идеально упругий мячик, прыгающий на поверхности земли, представляет собой пример системы, бесконечно совершающей периодическое движение. Мячик находится в ловушке: он не может опускаться ниже поверхности земли и подниматься выше некоторой максимальной высоты. Движение мячика в этом состоянии будет вечно оставаться ограниченным: он будет то падать вниз, то снова подпрыгивать вверх. Только сопротивление воздуха или неупругие отражения могли бы изменить характер этого процесса, но в дальнейшем мы ими будем пренебрегать.

Группа физиков из Института Лауэ – Ланжевена в Гренобле в 2002 году сообщила об одном эксперименте, касающемся поведения нейтронов в гравитационном поле Земли. В этом эксперименте нейтроны, движущиеся горизонтально, могли падать на горизонтальную кристаллическую поверхность, служащую нейтронным зеркалом, от которой они могли снова и снова упруго отскакивать и подниматься на первоначальную высоту.

Экспериментальная установка, изображенная на рисунке 7, содержит щель *Щ*, нейтронное зеркало *З* на высоте $z = 0$, поглотитель нейтронов *П* длиной L на высоте $z = H$ и детектор нейтронов *Д*. Пучок нейтронов летит с постоянной горизонтальной составляющей скорости v_x от *Щ* к *Д* сквозь зазор между поверхностями *П* и *З*. Все нейтроны, которые достигают поверхности *П*, поглощаются ею и выбывают из эксперимента. Нейтроны, достигающие поверхности *З*, упруго отражаются. Детектор *Д* определяет коэффициент про-

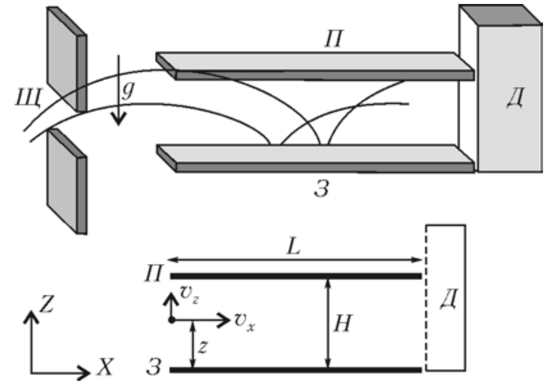

Рис. 7

хождения $N(H)$, т.е. общее число нейтронов, достигших $Д$ за единицу времени.

Нейтроны попадают в зазор, имея широкий спектр положительных и отрицательных значений вертикальной составляющей скорости v_z. Оказавшись в зазоре, они летят между зеркалом и поглотителем, которые ограничивают их движение снизу и сверху соответственно.

1) В рамках классической модели определите диапазон вертикальных составляющих скорости $v_z(z)$ нейтронов, которые, влетая в зазор на высоте z, могут достичь детектора $Д$. Предполагается, что L намного больше любой другой характерной длины в задаче. (1,5 б.)

2) В рамках классической модели определите минимальную величину $L_{\min}$, обеспечивающую поглощение поверхностью $П$ всех нейтронов, у которых вертикальные составляющие скорости для каждого значения z лежат вне указанного выше диапазона. Положите $v_x = 10$ м/с и $H = 50$ мкм. (1,5 б.)

Коэффициент прохождения нейтронов $N(H)$ измеряют детектором $Д$. Следует ожидать, что $N(H)$ монотонно возрастает с увеличением H.

3) В рамках классической модели определите коэффициент прохождения $N_{\text{кл}}(H)$, полагая, что нейтроны попадают в зазор с вертикальной составляющей скорости v_z на высоте z, причем все значения v_z и z равновероятны. Ответ запишите в предположении, что число нейтронов, влетающих в зазор за единицу времени в единичном интервале вертикальной скорости v_z и в единичном интервале значений z, остается постоянным и равным ρ. (2,5 б.)

Экспериментальные результаты, полученные Гренобльской группой, расходятся с рассмотренными выше классическими предсказаниями. Они показывают, что значение $N(H)$ испытывает резкие скачки, когда H проходит некоторые критические высоты H_1, H_2 … (рис.8). Другими словами, эксперимент показывает, что вертикальное движение нейтронов, многократно отражающихся от зеркала, квантуется. На языке, который Бор и Зоммерфельд использовали для расчета энергетических уровней атома водорода, это звучит примерно так: действие S этих нейтронов вдоль вертикального направления является величиной, кратной постоянной Планка h. Здесь S задается правилом квантования Бора – Зоммерфельда:

$$S = \int p_z dz = nh,$$

$$n = 1,\ 2,\ 3,\ \ldots,$$

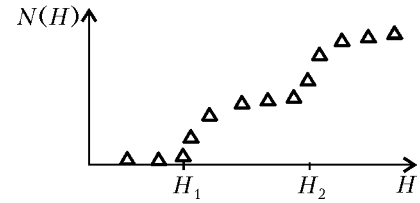

Рис. 8

где p_z – вертикальная составляющая импульса, а интеграл охватывает движение между двумя отражениями. Нейтроны только с такими значениями S могут находиться в зазоре.

4) Используя правило квантования Бора – Зоммерфельда, определите максимальные высоты подъема H_n и соответствующие им энергетические уровни E_n, связанные с вертикальным движением. Представьте численный результат для H_1 в мкм, а для E_1 – в эВ. (2 б.)

Изначально однородное на входе распределение нейтронов ρ изменяется во время полета сквозь длинный зазор, превращаясь в ступенчатое распределение, регистрируемое в $Д$ (см. рис.8). С этого момента для простоты рассматривается случай длинного зазора с $H < H_2$. В рамках классической модели все нейтроны с энергиями в интервале, рассмотренном в пункте 1, могли пройти сквозь такой зазор. В рамках квантово-механической модели это могут сделать только нейтроны с энергией E_1. Согласно принципу неопределенности Гейзенберга для энергии и времени, это перераспределение требует некоторого минимального времени полета. Неопределенность энергии вертикального движения будет существенной, если длина полости мала. Это явление приводит к уширению энергетических уровней.

5) Оцените минимальное время полета $t_{\min}$ и минимальную длину $L_{\min}$ полости, необходимые для наблюдения первого скачка числа регистрируемых детектором нейтронов. Положите $v_x = 10$ м/с. (2 б.)

Публикацию подготовили
С.Козел, В.Слободянин

Московская городская олимпиада студентов по физике

25 мая 2005 года в Московском государственном техническом университете (МГТУ) им. Н.Э.Баумана прошел московский региональный тур Всероссийской олимпиады по физике среди студентов технических вузов. К участию в олимпиаде были приглашены все ведущие технические вузы Москвы. Состав каждой команды – 10 студентов до 3 курса включительно. Командный зачет проводился по 5 лучшим результатам членов команды.

Участникам олимпиады был предложен вариант из 9 задач (в зависимости от сложности, задачи оценивались от 5 до 10 баллов) и разрешалось пользоваться любой литературой.

По результатам олимпиады в командном зачете первое место заняла команда МГТУ им. Н.Э.Баумана (89 баллов), второе место – команда Московского государственного института стали и сплавов (МИСиС) (73 б.), третье место – команда Московского авиационного института (МАИ) (44 б.).

В личном зачете первое место завоевал А.Майстров (МГТУ им. Н.Э.Баумана, 25 б.), второе место – А.Бурцев (МГТУ им. Н.Э.Баумана, 23 б.), третье место – Т.Галимзянов (МИСиС, 22 б.).

ЗАДАЧИ ОЛИМПИАДЫ

1. Точка движется прямолинейно с постоянной скоростью v. Другая точка, скорость которой постоянна по модулю и равна $u > v$, догоняет первую таким образом, что в любой момент времени угол между вектором скорости второй точки и линией, соединяющей обе точки, равен φ и направлен на опережение движения первой точки. В начальный момент времени вторая точка находится на перпендикуляре к траектории первой точки на расстоянии L от нее. Определите отрезок времени τ, через который точки встретятся.