

В конечном:

$$W_{\text{кон}} = \frac{1}{2} \left[2q \left(\frac{kq}{l} + \frac{kq}{2l} \right) + q \left(\frac{kq}{l} + \frac{kq}{l} \right) \right] = \frac{5kq^2}{2l}$$

Закон сохранения энергии дает

$$2 \frac{mv_1^2}{2} + \frac{m(2v_1)^2}{2} + W_{\text{кон}} = W_{\text{нач}}, \text{ откуда } mv_1^2 = \frac{kq^2}{6l}$$

В лабораторной ИСО средний шарик 2 движется прямолинейно, но траектории крайних шариков – сложные кривые, для которых даже нет специального названия. Потому использования второго закона Ньютона в лабораторной инерциальной системе отсчета для определения силы натяжения невозможно, т.к. неизвестен радиус траектории. В СО, связанной со средним шариком траектории крайних шариков окружности радиуса l с центром, совпадающим со средним шариком. Однако, система отсчета, связанная со средним шариком, вообще говоря, неинерциальная, поэтому при записи второго закона Ньютона в этой СО, нужно учитывать силы

УДК 378.146+378.147(07)

Чопчиц Н.И., Гладышук А.А.

АНАЛИЗ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ ДЛЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ПО ФИЗИКЕ В 2003 ГОДУ

Использование тестирования для оценки знаний с последующим использованием оценки как итоговой школьной и как конкурсной при поступлении в ВУЗы требует разработки как формальных, так и содержательных аспектов тестирования. К формальным аспектам можно отнести выбор варианта (открытого или закрытого) системы предпочтений, т.е., во-первых, указание оценок за соответствующие задания в баллах прямо в тексте тестов или формирования системы баллов *post hoc*, и, во-вторых, предъявление системы перевода числа баллов в оценку или с самого начала, или формирования системы после анализа выполнения тестовых заданий. Кафедра физики БГТУ последовательно отстает (а пока безуспешно) вариант открытости системы предпочтений, а для перевода числа баллов в оценку уже более 10 лет пропагандирует использование функции желательности Харрингтона, для чего имеются весьма глубокие психологические, онтологические и математические основания. К формальным аспектам с оговорками можно отнести также определение числа заданий, их сложности и времени, отводимого на их выполнение. Представляется, что следует либо уменьшить число заданий при сохранении длительности теста, либо при сохранении числа заданий числа заданий увеличить время на их выполнение до 4 часов. Далее речь будет идти о содержательных аспектах, однако мы полагаем, что система оценок, используемая в последующие годы, должна быть соотнесена с замечаниями, изложенными ниже. Поскольку задания, предлагавшиеся в 2004 году, до сих пор не стали достоянием научной и педагогической общественности, и поскольку есть все основания полагать, что имела место преемственность при их составлении, представляется целесообразным рассмотреть задания 2003 года.

Общие замечания.

При формировании тестовых заданий следует определиться, какой из Программ нужно следовать: или Программе для поступающих или базовой школьной Программе. В любом случае при имеющем место несовпадении этих Программ могут возникать проблемы. В рассматриваемых тестах фигурируют вопросы, не входящие в Программу для поступающих

инерции. Как нетрудно видеть, в момент, показанный на втором рисунке, ускорение среднего шарика равно нулю, и, следовательно, система отсчета, с ним связанная, становится мгновенно инерциальной. В этой СО скорость крайних шариков равна $3v_1$, поэтому второй закон Ньютона в этой системе отсчета имеет вид:

$$\frac{m(3v_1)^2}{l} = -\frac{kq^2}{l^2} - \frac{kq^2}{4l^2} + T_{\text{max}},$$

$$\text{откуда } T_{\text{max}} = \frac{9mv^2}{l} + \frac{5kq^2}{4l^2} = \frac{11kq^2}{4l^2} = \frac{11q^2}{16\pi\epsilon_0 l^2}$$

Итак, задачи пятого уровня сложности – задачи, требующие углубленного понимания физических явлений, творческого мышления, комплексного использования заданий по различным разделам физики, позволяющего путем логических рассуждений связать происходящие явления или процессы.

(ПП): это вопросы, связанные с поверхностным натяжением, тепловым расширением и волнами де Бройля. Разумно ожидать, что при формировании оценки, предъявляемой при поступлении в ВУЗ, неверный ответ на такой вопрос не должен влиять на оценку, а на итоговую школьную оценку влиять должен – совместить эти два требования в любой системе оценок для некоторых пограничных ситуаций невозможно. Далее, во многих задачах приводятся избыточные данные, которые не нужны для ответа на поставленный вопрос (А3, тест 1, например). Сама по себе идея введения избыточных данных имеет ряд преимуществ, однако для их реализации необходимо было анонсировать идею в инструкции для учащихся, ибо для учащихся, воспитанных в традиционной школьной манере, лишние данные – это повод для большей частью бесплодных размышлений, особенно нежелательных при тотальном дефиците времени. Общим для многих тестовых заданий является весьма произвольное обращение со стандартными правилами округления и правилами задания численных значений. В качестве примера укажем на значение постоянной Планка в «Инструкции для учащихся»: $h=6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с вместо $h=6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с $\approx 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, а также на задании А10 теста №1, в котором масса груза равна 400 г (относительная погрешность задания примерно 0,1%), амплитуда равна 4 см (относительная погрешность 12,5%) и циклическая частота – 4 с^{-1} (12,5%). В соответствии со стандартными правилами значение потенциальной энергии должно быть записано в виде 5 мДж. Если вычислять без учета погрешностей, то получается 5,12 мДж, но это при некритичном округлении есть 5,1 мДж, а не 5,0 мДж, т.е. правильного ответа в задании нет. Укажем еще на некоторую фантастичность задаваемых численных значений. Например, в задании А12 теста №1 указана средняя квадратичная скорость молекул газа, равная 100 м/с. Полагая $T=300 \text{ К}$, получим $M=0,75 \text{ кг/моль}$, что характерно, скорее, для некоторых органических молекул (но не газов!). Далее рассматриваются замечания по каждому тесту в отдельности.

Тест №1

А4. Пропущено слово «минимальном».

A7. Опечатка: либо лодка, либо плот.

A10. См. «Общие замечания».

A12. См. «Общие замечания».

A13. Формулировка задания физически неверна: в изо-хорном процессе экспериментатор реально изменяет температуру, и ее изменение является причиной изменения давления, а не наоборот, как сформулировано в задании.

A16. В традиционных курсах термодинамики понятие КПД отдельного процесса не вводится, поскольку, например, для адиабатного расширения-сжатия он получается в соответствии с интуитивным представлением равным $\pm\infty$; это понятие в общем случае для отдельного процесса не отражает ситуации, которую можно характеризовать словами «полезный» и «затраченный».

A17. Тема не входит в Программу для поступающих (ПП).

A20. Пропущено слово «удаленных», иначе задача решена быть не может.

B1. Многие ли школьники РБ знают, что такое гигантские шаги? Для тех же, кто их видел, камнем преткновения может стать вопрос о возможности применения модели материальной точки для движения человека, длина которого с вытянутыми руками всего лишь раз в 5 меньше длины подвеса, и для которого следует различать углы наклона к вертикали нити подвеса и продольной оси тела. Думается, следовало говорить о классическом коническом маятнике.

B5. Представление об оптической разности хода волн возникает в случае, когда две когерентные волны (для определенности будем говорить о двухлучевой интерференции), испущенные двумя когерентными источниками (роль которых могут играть действительные или мнимые изображения одного источника, получаемые либо на основе деления волнового фронта, либо на основе деления амплитуды), встречаются в точке наблюдения и интерферируют. Пока встреча не произошла, разговор об оптической разности хода не имеет смысла. Лучевое представление является вторичным по отношению к волновому и без дополнительных разъяснений однозначно истолковано быть не может. Скажем, на рисунке лучи 1 и 2 могут соответствовать одной плоской волне, падающей на плоскопараллельную пластинку, и тогда вопрос о разности хода лучей 1 и 2 в воздухе до падения на пластину лишен смысла. В другом случае лучи 1 и 2 соответствуют двум плоским волнам (скажем, двум лучам), но и в этом случае вопрос о разности хода в воздухе или где бы то ни было, лишен смысла до тех пор, пока речь не идет о конкретной точке наблюдения, где происходит встреча волн. В ситуации с призмой корректным в таком случае был бы вопрос просто о разности хода, но она, как нетрудно убедиться, всегда равна нулю:

$$\Delta = n \cdot MN - LP = nhtgA - \frac{h}{\cos A} \cdot \sin \beta = \\ = nhtgA - \frac{nh \sin A}{\cos A} = 0,$$

где учтено, что $n \sin A = \sin \beta$, A – преломляющий угол призмы.

Итак, задание сформулировано некорректно и не имеет смысла.

Тест №2

A1. Не приведен правильный ответ. Правильный ответ – 69 км/ч.

A2. Задание сформулировано неточно: не существует понятия пути, пройденного колесом, ибо различные его точки проходят различные пути.

A7. Если тело бросают под углом 30° к горизонту со скоростью 10 м/с с лодки, это предполагает, если не указано другое, что указаны величины в системе отсчета, связанной с

лодкой. В силу грубости данных, ответ не изменится, если указанные величины заданы относительно земли, но в первом случае решение получается не столь простым и потребует больше времени. Думается, в условиях дефицита времени подобные неоднозначности толкования нужно исключить.

A9. Вызывают недоумения последние два варианта ответов: обычное понимание процедуры, описанной в задаче, состоит в том, что пробирку вынимают, пластилин достают из пробирки, приклеивают ко дну и пробирку с ним осторожно погружают в воду – тогда глубина погружения пробирки меньше, чем в первом случае. Разговор о колебаниях заставляет думать о другом сценарии: пластилин из плавающей пробирки вынимают (начинаются колебания), ухитряются приклеить ко дну и ждут затухания колебаний – тогда после затухания колебаний уровень погружения уменьшится и, следовательно, верного ответа среди приведенных нет.

A13. См. тест №1.

A17. Тема не входит в ПП.

A19. Ответ на школьном уровне может быть получен только при равномерном распределении заряда.

A23. Задача сформулирована неверно. Если внешнее поле очень слабое, то поскольку отдельные элементы витка с током отталкиваются, виток будет иметь форму близкую к окружности. В случае сильного внешнего поля форма витка – два соприкасающихся тонких цилиндра. Разумеется, возможны и промежуточные случаи, когда фигура будет напоминать эллипс.

A34. Задача сформулирована крайне плохо. Во-первых, учащийся сбивает с толку неизвестно для чего приведенное значение массы нуклида $^{16}_8\text{O}$. Во-вторых, если дана масса атома ^2_1H , а судя по численным значениям это именно так, то нужно было бы задать не m_p , а массу изотопа ^1_1H , иначе требуется абсолютно не относящийся к делу пересчет а.е.м. в кг и обратно, и потом в МэВ (поскольку масса электрона в МэВ не приведена в качестве стандартного значения).

Тест №3

A7. Если под словами «...один из осколков падает вертикально вниз, ...» понимать лишь тот факт, что после разрыва скорость этого осколка направлена вертикально вниз, то задача не решается: если z – искомая часть, то для нее имеет место уравнение $9V_B(1-z)^2 = V_e + 6V_1z$, где V_e – вертикальная составляющая скорости снаряда при выстреле, V_1 – модуль скорости движущегося по вертикали осколка сразу после выстрела. И только если $V_1 = 0$, получаем $z=2/3$. Должны ли школьники об этом догадываться сами? Думается, что в силу достаточной громоздкости выкладок в общем случае с $V_1 \neq 0$, нужно было сформулировать условие точнее.

A9. Исходя из стандартного школьного определения веса, задача сформулирована неверно: для свободно плавающего тела вес равен нулю. Если $\rho_m > \rho_e$, то вес тела равен $(\rho_m - \rho_e)Vg$, где V – объем тела целиком покрытого водой; если $\rho_m < \rho_e$, то тело целиком погружено в воду и удерживается нитью, привязанной к дну, то вес равен $(\rho_e - \rho_m)Vg$.

A17. Тема не входит в ПП.

B4. Задача сформулирована неверно и не имеет решения. Уравнение $N\Phi_{\text{собств}} = LI$, где N – число витков в катушке, $\Phi_{\text{собств}}$ – собственный магнитный поток через площадь, ограниченную одним витком (он предполагается одним и тем же для всех витков), определяющее индуктивность, не может быть

применимо для расчета магнитного потока через катушку, находящуюся во внешнем магнитном поле. В этом уравнении учитывается неоднородность собственного магнитного поля, порожденного током I в катушке, отсюда и известные трудности с выбором контура интегрирования для вычисления L , а в случае с внешним полем ситуация кардинально иная.

В5. Задача сформулирована неверно. Условие хорошего отражения имеет вид $2dn = \kappa\lambda$, откуда $\lambda = \frac{2dn}{\kappa} = \frac{240}{\kappa}$ нм, где $\kappa=1, 2, \dots$. Таким образом, значение λ_{\min} не существует. При $\lambda=480$ нм имеет минимум интенсивности света, а при $\lambda > 480$ нм интенсивность отраженного света монотонно возрастает с λ .

Тест №4

A2. См. задание теста №2.

A9. Правильный ответ – повысится, к сожалению, содержится в очень немногих источниках, и это заставляет усомниться в том, что авторы тестов ввели в компьютер правильный ответ, особенно в связи с последними двумя вариантами ответов, в которых фигурирует невесть откуда взявшаяся пробка.

A17. Не входит в ПП.

B5. Задача неверна (см. тест №1).

Тест №5

A7. См. тест №2.

A11. Скорость распространения может зависеть и от частоты, и от параметров среды и от амплитуды (например, для волн на воде), но может, например, и не зависеть от частоты (отсутствие дисперсии) и амплитуды. Поэтому вопрос сформулирован некорректно и на него не существует однозначного ответа.

A27. Частота импульсов может быть сколь угодно малой, поэтому вопрос неверен. Максимальная частота, конечно, равна 1500 Гц.

A33. Нет правильного ответа. Правильный ответ (-7,9 эВ).

A34. Зачем задана масса атома $^{16}_8\text{O}$? (не ядра!). Почему задана масса атома $^{12}_6\text{C}$, если приведено значение m_p , а не масса m_{H} ? Как авторы предлагают учитывать массу электронов? Если задуман перекрестный счет (частично в МэВ, частично в кг), то это чистая казуистика.

B2. Задача физически некорректна: работа насоса, поднимающего объем воды V по трубе с площадью поперечного сечения S на высоту h в пренебрежении всеми диссипативными силами равна $\left(\rho Vgh + \frac{\rho V^3}{2S^2 t^2}\right)$, где t – время работы насоса. Судить о том, можно ли пренебречь вторым слагаемым без значения S нельзя.

Тест №6

A7. Искомая сила равна $2\rho V^2 S \cos\alpha = 67,5$ Н. Правильного ответа в задаче нет. Вероятно, авторы не учли, что функция $\cos\alpha$ появляется дважды: один раз, когда учитывается изменение нормальной составляющей импульса отдельной частицы, и второй – когда подсчитывается число соударений частицы потока со стенкой.

A9. Задачи такого типа в школе вообще лучше не давать, ибо правильное их решение предполагает учет движения воды (присоединенной массы). Для справки: попытки предла-

гать варианты задач такого типа предпринимались неоднократно на Всесоюзных олимпиадах школьников (до 1991 г) и на Республиканских олимпиадах. Правильных решений не было никогда.

A10. Нет правильного ответа:

$$\omega = \sqrt{\frac{\kappa}{m}} = 10 \text{ с}^{-1}, a_x = -\omega^2 x = -2 \text{ м/с}^2 \text{ (если } x = -0,02 \text{ м, то } a_x = 2 \text{ м/с}^2).$$

A15. Лед при температуре 20 °С!? Должен ли школьник догадываться, что это на самом деле -20 °С?

A17. Не входит в ПП.

A24. Электрон будет двигаться не по окружности, а по спирали.

A26. Задача сформулирована неверно: численные значения противоречат друг другу – найденное из закона сохранения энергии значение $L=2$ мГн противоречит значению $\omega=100\pi$, указанному в уравнении колебаний. При $L=2$ мГн получается $\omega=10^5 \text{ с}^{-1}$.

Тест №7

A7. Формулировка задачи основана на недоразумении: если ствол откатывается вместе с орудием, то сила торможения действует на систему ствол+орудие, и тогда нужно знать массу орудия. Реалии таковы, что откат ствола значительно превышает откат орудия, так что заданный в условии откат, равный 50 см, – это откат ствола относительно земли.

A16. См. A16 теста №1.

A30. Задача неверна. Понятие потенциальной энергии в теории относительности отсутствует. Предполагаемый авто-

рамы ответ $\frac{mgh}{c^2}$ не имеет смысла.

Тест №8

A11. Формулировка задачи физически некорректна, ибо нарушена логика причинно-следственных связей: длина волны определяется скоростью и частотой, а не наоборот.

A17. Отсутствует в ПП.

A24. Электрон вылетит из поля всегда. Даже при подразаумевавшемся авторами ответе $v=1,76 \cdot 10^8$ м/с, когда радиус равен 10,0 см, в случае, когда граница поля $\perp \vec{v}$, он опишет половину окружности и вылетит назад. Поэтому задача сформулирована некорректно. Что означают загадочные слова «по центру»?

B4. Закон изменения энергии имеет по условию вид

$$W = W_0 \left(1 - \frac{40}{9}t\right), \text{ где } W_0 - \text{энергия при } t=0$$

Поскольку $W = \frac{LI^2}{2}$, то закон изменения силы тока имеет вид

$$I = I_0 \sqrt{1 - \frac{40}{9}t} = 12 \sqrt{1 - \frac{40}{9}t}. \text{ Тогда}$$

$$\epsilon = -L \frac{dI}{dt} = \frac{16}{\sqrt{1 - \frac{40}{9}t}} - \text{это ответ.}$$

Разве задачу можно считать школьной? Думается, что ответ у авторов другой и, следовательно, неверный.

B5. См. тест №1.

Тест №9

A19. Нет правильного ответа (правильный ответ –

$$\sqrt{\frac{3kq}{4E}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3kq}{E}}$$

A20. Написано: «По проводнику со скоростью 20 см/с течет ток...». На самом деле проводник движется со скоростью 20 см/с.

A30. См. тест №7.

A34. Опять неразбериха с массами! (см. тест №5).

B1. Несмотря на то, что эта задача имеется во всех учебниках, для правильного и полного, без недомолвок, решения необходимо либо знание уравнений динамики движения твердого тела, либо переход в систему отсчета, в которой велосипедист покоится (она, конечно, неинерциальна). Стандартное выражение, написанное во всех учебниках, что сила $(\vec{N} + \vec{F}_{\text{тр пок}})$ должна проходить через центр масс на самом деле на школьном уровне недоказуемо. В системе покоя велосипедиста, разумеется, можно писать условие равенства нулю суммы моментов всех действующих сил с учетом центробежной силы инерции, и тогда смысл сформулированного выше условия становится ясным. Допускается однако, что это не входит в школьную программу.

B2. Правильный ответ 2 Дж, но в связи с рассмотренными выше тестами возможно введен другой ответ, например, 1,5 Дж.

Тест №10

A7. После выстрела скорость ствола равна 2 м/с (относительно земли?!) и в системе отсчета, связанной с орудием, направлена вдоль самого ствола (вопросительный знак поставлен потому, что, как обычно, не указано, относительно чего скорость равна 100 м/с; то ли снаряд вылетает по углом 60°, то ли ствол пушки наклонен под углом 60°? Противоположное устройство – это диссипативный элемент, действующий и на ствол и на пушку, но в системе отсчета пушки сила торможения действует вдоль ствола. Если пренебречь в этой системе отсчета силами инерции (масса пушки намного больше массы снаряда), то модуль ускорения ствола $2,5 \text{ м/с}^2$ – откат равен 80 см. Такого ответа в задаче нет. Вероятно, авторы ошибочно предполагали, что после выстрела важна лишь горизонтальная составляющая скорости, но аналогия с ситуацией, когда пушка не имеет противооткатного устройства и после выстрела вместе со стволом движется по горизонтали.

УДК 53.035

Яромская Л.Н., Чопчиц Н.И., Янусик И.С.

КОМПЛЕКСНАЯ ЗАДАЧА «ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА»

Данная задача характеризуется большим числом физических величин и поставленных задач, в которых анализируются основные соотношения, которые могут быть записаны на основе физических законов. Рассмотрение комплексной задачи может быть предложено как на уроках физики, так и на факультативных занятиях, а также при подготовке к поступлению в высшее учебное заведение, позволит учащимся наиболее полно разобраться в данной физической ситуации.

Дана электрическая схема, в которой имеются источник с электродвижущей силой $\mathcal{E} = 20 \text{ В}$ и внутренним сопротивлением $r = 2 \text{ Ом}$, амперметр с сопротивлением $R_A = 1 \text{ Ом}$, вольтметр с сопротивлением $R_V = 20 \text{ Ом}$ и резистор с сопротивлением $R = 5 \text{ Ом}$.

A13. В формулировке отсутствует понимание причинно-следственных связей в изобарном процессе: причиной изменения объема является изменение температуры, а не наоборот, как сформулировано в тексте.

A15. Нужно указать, что доска не изменяет состояния движения и что нагревается только пуля.

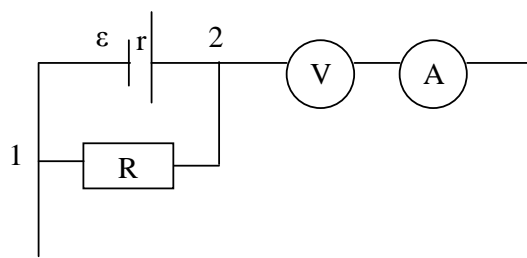
A17. Не входит в ПП.

B1. См. B1 теста №9.

B2. Эта задача школьными методами не решается вообще. Первое. Вопреки широко распространенному мнению в задаче не выполняется закон сохранения механической энергии. Проще всего в этом можно убедиться, если вначале использовать дискретную аппроксимацию веревки в виде набора точечных масс, соединенных невесомыми пружинками. Поскольку ускорение частиц со временем изменяются, изменяются и длины пружинок, т.е. скорости частиц при такой аппроксимации различны. Однако в исходной ситуации веревка считается нерастяжимой, т.е. идет непрерывное выравнивание скоростей частиц по типу неупругого удара, только, так сказать, растянутого во времени, и механическая энергия уменьшается. Второе. В момент отрыва от блока веревка не будет вертикальной, ибо, начиная с момента, когда соскальзывающий конец веревки окажется выше центра блока, у суммарной силы, действующей со стороны блока на еще находящуюся на нем веревку, появляется горизонтальная составляющая, откидывающая верхний конец веревки по горизонтали. Анализ возможности пренебрежения этим эффектом (и другими также!) совсем не прост.

Полный анализ рассматриваемых ситуаций был проведен с участием одного из авторов на семинаре в МИФИ под руководством И.Е. Иродова в 1979 г.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что неверно или неточно сформулированные задания могли, в принципе, изменить оценку на два балла в ту или иную сторону, что представляется совершенно недопустимым. Представляется, что впредь авторы тестов при составлении заданий должны значительно шире использовать mutatis mutandum опыт российского тестирования, исправляя, естественно, неверно сформулированные задания, число которых в российских тестах значительно ниже (примерно 5% в тестах 2002 г.).



1) **Найти показания вольтметра и амперметра.**

Нарисуем эквивалентную схему:

Сопротивление внешней части электрической цепи равно R' : (вольтметр и амперметр соединены последовательно, а параллельно к ним подсоединён резистор R):

Яромская Людмила Николаевна, ассистент каф. физики Брестского государственного технического университета.
Янусик Ирина Семеновна, ст. преподаватель каф. физики Брестского государственного технического университета.
 Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.