

Компьютерное обучение физике: кинематика и динамика материальной точки, законы сохранения импульса и механической энергии

В. Ю. Иванов^{1,*}, И. Б. Иванова^{1,†}, М. А. Терентьев^{2,‡}

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
физический факультет, кафедра общей физики
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, физический факультет, кафедра математики
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2
(Статья поступила 30.06.2019; Подписана в печать 01.07.2019)

Рассмотрен пример обучающего интерактивного теста. В качестве исследуемых задач выбраны классические задачи общей физики из раздела механики. Предложена структура обучающего теста. Приведены примеры обучающих подсказок.

PACS: 01.50.H-, 01.50.KW

УДК: 371.388.6, 374.1

Ключевые слова: компьютерное тестирование, компьютерное обучение, классические задачи механики.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время все большее развитие приобретает так называемое дистанционное обучение, когда человек учится с помощью Интернета. Этот вид обучения имеет свои преимущества и недостатки по сравнению с классическим аудиторным обучением. Прежде всего, отсутствует общение с преподавателем, которое заменяется на общение с компьютером. Здесь мы имеем в виду не дистанционные курсы, проводимые в реальном времени, а обучающие компьютерные программы и тесты. Именно о таком виде обучения и пойдет речь.

1. ОТ ПРОВЕРЯЮЩИХ ТЕСТОВ К ОБУЧАЮЩИМ

На кафедре общей физики физического факультета МГУ уже много лет используется система компьютерного тестирования по физике для студентов младших курсов, реализованная в Центре контроля качества образования физического факультета. Компьютерные тесты хорошо зарекомендовали себя в качестве инструмента, позволяющего преподавателю быстро и довольно объективно проверить текущие знания студентов, а студентам — оценить степень своей подготовки по изучаемому предмету. Мы занимались разработкой компьютерных тестов по механике для студентов первого курса [1–3]. В настоящее время компьютерный тест по механике состоит из трех частей. Это вступительное тестирование, которое студенты проходят в начале первого семестра обучения на физическом факультете и которое фактически направлено на определение начальной подготовки студентов по механике, промежуточное тестирование, которое проходит

в середине семестра и направлено на проверку текущих знаний студентов и определение степени усвоения ими нового материала, и, наконец, итоговое тестирование, проводимое в конце семестра накануне сессии, которое позволяет преподавателю определить степень подготовки студента к зачету, а студенту — проверить свои знания. Все тесты проводятся в дисплейном классе, куда студенты приходят в отведенное для них время. Студенты решают задачи теста и дают ответы, выбирая их из предложенных вариантов. Очевидно, что в таком виде тест — это способ контроля знаний и умений, но не способ обучения. Что же надо сделать, для того чтобы тест стал обучающим?

Мы считаем, что для того, чтобы человек, первый раз знакомящийся с новой физической задачей, смог бы ее изучить самостоятельно, необходимо следующее. Сначала надо привести основные теоретические положения и определения всех физических величин, используемых в задаче. То есть обучающий тест должен иметь теоретическое введение, прочитав которое можно составить представление о поставленной задаче и получить основные сведения о способах ее решения. Необходимо четко представлять себе, что любая физическая задача решается в рамках принятых абстрактных моделей. Такими моделями в механике являются: материальная точка, абсолютно твердое тело, невесомые и нерастяжимые нити, невесомые блоки, гладкие поверхности и т.д. Определения этих величин и должны быть в теоретическом введении. Можно также предусмотреть и определения некоторых физических законов, используемых при решении задачи, как то: закон сохранения импульса, закон сохранения энергии и т.д. Потом должна идти основная часть теста, в которой формулируется постановка задачи и вопросы, требующие решения. Учащийся решает поставленную задачу и получает ответ. Затем следует ввести ответ в компьютер. Мы считаем, что ответы лучше вводить в компьютер в численном виде. Для этого в итоговую формулу необходимо подставить числовые значения, заданные в условии задачи. Эти значения должны быть разными при каждом обращении к задаче. Если

*E-mail: vu.ivanov@physics.msu.ru

†E-mail: ib.polyakova@physics.msu.ru

‡E-mail: m.terentyev@physics.msu.ru

ответ верный, то можно переходить к следующему вопросу или более сложной задаче. Если ответ неверный, то учащийся должен самостоятельно найти ошибку, чтобы понять, что он сделал неправильно. Компьютер может помочь ему в этом, задавая наводящие вопросы или показывая определенные подсказки. Мы считаем, что можно предусмотреть два вида подсказок: совет и прямое указание. Сначала компьютер советует обратить внимание на определенные факты, которые надо иметь в виду при решении задачи. Например, ещё раз прочитать теорию и обратить внимание на физические законы, лежащие в основе решения задачи, или вспомнить определение той физической величины, которую требуется вычислить в задаче. В зависимости от поставленной задачи таких подсказок может быть несколько. Конкретные примеры подсказок, используемых в нашем обучающем тесте, будут приведены ниже. После этого учащийся может снова попробовать решить поставленную задачу. Если во второй попытке опять получен неверный ответ, то компьютер продолжит подсказывать путь решения задачи. Учащийся после каждой подсказки предпринимает новую попытку решения, пока либо не будет получен правильный ответ, либо компьютеру придется дать прямое указание о том, что следует сделать, для того чтобы решить задачу, и привести соответствующие итоговые формулы. Есть надежда, что такой, с позволения сказать, итерационный подход к решению задачи позволит усвоить изучаемый материал и научиться решать поставленную задачу. Для лучшего усвоения материала в каждом разделе обучающего теста можно предусмотреть несколько однотипных задач.

Если в результате проведенной работы учащийся сможет получить правильный ответ без подсказок, то можно считать, что он усвоил изучаемую тему. Еще раз отметим, что в нашем обучающем тесте ответы вводятся в компьютер, а не выбираются из предложенных вариантов. Это, на наш взгляд, позволяет исключить случайность выбора правильного ответа, а также усложняет нахождение самого ответа, что заставляет учащегося думать и лучше усваивать изучаемый материал. Обучающий тест можно дополнить и исследовательскими задачами, к которым учащийся при желании может перейти после усвоения основного материала. Демонстрационный вариант обучающего теста можно посмотреть на сайте <http://distant.msu.ru> дистанционного образования МГУ [4].

2. СТРУКТУРА ЗАДАНИЙ ОБУЧАЮЩЕГО ТЕСТА

Изучение курса общей физики традиционно начинается с механики. Саму же механику обычно начинают изучать с таких ее разделов как кинематика и динамика материальной точки. Далее идет раздел — законы сохранения импульса и механической энергии. Помочь учащимся в изучении основных разделов механики (а в дальнейшем и других областей физики)

должна программа дистанционного изучения физике, разрабатываемая авторами доклада. На данный момент в ней представлены указанные выше первые три раздела механики. Поскольку физика является прикладной наукой, то помимо освоения теории, человек, изучающий физику, должен научиться хорошо решать задачи. Для этого, по мнению авторов, надо прежде всего освоить типовые алгоритмы решения, которые используются в соответствующих разделах физики. Понять их проще на примере так называемых классических задач физики. В разделах кинематика и динамика материальной точки такими задачами являются: задача о движении тела, брошенного под углом к горизонту (кинематика) и задача о движении двух тел, связанных невесомой, нерастяжимой нитью, перекинутой через невесомый блок, которая известна в механике как задача о машине Атвуда (динамика). Именно эти две задачи авторы взяли в качестве основных при разработке дистанционной обучающей программы по физике [5]. В разделе законы сохранения импульса и механической энергии классической задачей, на наш взгляд, является задача о взаимодействии точечного тела и незакрепленной горки. Точные формулировки указанных задач будут приведены ниже.

Еще раз скажем, что обучающая программа представляет из себя интерактивную среду, в которую погружается учащийся. После краткого знакомства с теорией можно выбрать интересующий раздел. После выбора раздела учащийся получает практическую задачу, которую ему необходимо решить. В каждом разделе предусмотрено несколько вариантов задач с постепенно повышающейся степенью сложности. Учащийся, зная исходные формулы, решает поставленную задачу и вводит полученный в результате решения числовой ответ в компьютер. Если ответ верный, то можно переходить к следующей задаче раздела для освоения нового аспекта изучаемой проблемы. Если ответ неверный, то учащийся с помощью компьютера ищет ошибку, чтобы понять, что он сделал неправильно, и здесь собственно и начинается сам процесс обучения. Как мы уже писали, программа просит вернуться к началу решения задачи и начинает выдавать подсказки, начиная с простых наводящих советов, и кончая фактической выдачей всех формул, из которых складывается алгоритм решения задачи. В результате планируется, что учащийся освоит алгоритм и сможет самостоятельно решить поставленную задачу.

Исследуемой задачей в разделе **кинематика материальной точки** является классическая задача о движении тела, брошенного под углом к горизонту. Задача формулируется следующим образом:

Из артиллерийского орудия произведен выстрел под углом ϕ к горизонту. Величина начальной скорости снаряда равна V_0 . Сопротивлением воздуха можно пренебречь. Требуется определить основные характеристики движения снаряда, а именно:

- Модуль вектора скорости снаряда через время t ;

- Модуль вектора перемещения снаряда через время t ;
- Модуль тангенциального ускорения снаряда через время t ;
- Модуль нормального ускорения снаряда через время t ;
- Радиус кривизны траектории снаряда через время t ;
- Угол между векторами скорости и ускорения снаряда через время t .

Выберем декартову систему отсчета, связанную с поверхностью Земли. Ось X системы координат направим горизонтально вдоль поверхности Земли, ось Y — вертикально вверх. Будем считать снаряд материальной точкой. Движение снаряда у поверхности Земли происходит с постоянным ускорением свободного падения g , которое направлено противоположно оси Y . Далее следуем общей схеме решения задач кинематики материальной точки, записывая закон движения материальной точки в проекциях на оси выбранной системы координат и последовательно определяя указанные в условии задачи характеристики.

Определение указанных характеристик позволит полностью описать движение снаряда и вычислить такие его более простые характеристики, как дальность полета, максимальная высота подъема, время полета, которые обычно приводятся в литературе по данному вопросу. Как уже было сказано, если получен неверный ответ задачи, то программа с помощью наводящих вопросов и определенных подсказок должна помочь учащемуся найти ошибку, чтобы он смог самостоятельно решить поставленную задачу. Ниже приведен пример подсказок в задаче о нахождении модуля нормального ускорения снаряда через время t :

Подсказка 1. Запишите закон движения снаряда в виде: $x(t) = V_0 t \cos \phi$, $y(t) = V_0 t \sin \phi - \frac{gt^2}{2}$, продифференцируйте его по времени и найдите модуль вектора скорости снаряда по формуле: $V = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}$.

Подсказка 2. Найдите модуль тангенциального ускорения снаряда по формуле: $a_\tau = \frac{dV}{dt}$ и модуль нормального ускорения по формуле: $a_n = \sqrt{g^2 - a_\tau^2}$.

После проработки поставленной задачи учащийся сможет легко определять любые характеристики криволинейного движения с постоянным ускорением: закон движения, закон изменения скорости, уравнение траектории, время полета, максимальную высоту подъема, дальность полета, закон изменения радиуса кривизны траектории, тангенциальное и нормальное ускорения, угол между скоростью и ускорением и т.д. Что

касается исследовательских задач, то можно предложить следующие: при каких условиях дальность полета тела будет максимальной, в какой точке траектории тело имеет максимальное тангенциальное или нормальное ускорение, радиус кривизны, под каким углом или с какой начальной скоростью надо бросить тело, чтобы оно попало в мишень, координаты которой известны. Таким образом, работа с тестом позволит учащемуся самостоятельно изучить широкий круг вопросов, связанных с задачей о движении тела, брошенного под углом к горизонту.

Исследуемой задачей в разделе **динамика материальной точки** является классическая задача о машине Атвуда. Задача формулируется так:

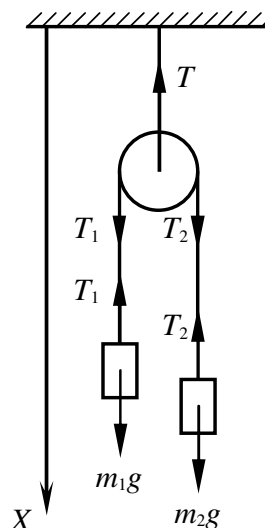


Рис. 1: Иллюстрация к задаче о машине Атвуда

Простейшую машину Атвуда можно схематически представить следующим образом: через блок, подвешенный к потолку, перекинута нить. К концам нити прикреплены два груза массами m_1 и m_2 . Требуется найти:

- Модуль ускорения грузов a ;
- Модуль силы натяжения нити $T_1 = T_2$;
- Модуль силы T , действующей на ось блока;
- Модуль ускорения центра масс системы;

При следующих модельных предположениях:

1. нить невесома,
2. нить нерастяжима,
3. блок невесом,
4. трение в оси блока отсутствует,
5. сопротивление воздуха отсутствует.

Решение данной задачи проводится в соответствии с общей схемой решения задач динамики. Выбираются модели тел и их движений. Помимо указанных выше пяти модельных предположений, будем считать грузы материальными точками, а цилиндрический блок — абсолютно твердым телом. Грузы движутся вертикально, нить не проскальзывает относительно блока. Выберем инерциальную систему отсчета, жестко связанную с потолком, как показано на рисунке 1, и изобразим на нем действующие на тела системы силы. Поскольку нить по условию задачи невесома и нет силы сопротивления воздуха, то модуль силы натяжения нити постоянен вдоль прямолинейного участка нити, и, следовательно, сила, приложенная к грузу со стороны нити, и сила натяжения нити в верхней части прямолинейного участка равны по модулю. Поскольку блок и нить невесома, нет трения в оси блока и силы сопротивления воздуха, то модули сил натяжения нити слева и справа от блока равны. Следовательно равны и силы натяжения нити, приложенные к грузам: $T_1 = T_2$.

После нахождения указанных в условии задачи характеристик можно решать более общие задачи о динамике движения тел системы, например, такую: пусть массы грузов одинаковы и равны m . На один из грузов кладут дополнительную массу (перегрузок) Δm . Найти силу давления перегрузка на основной груз во время движения. Можно предложить задачи с тремя и более грузами.

Как и ранее при неверном решении задачи выдаются подсказки. Так, например, в задаче о нахождении ускорения масс предусмотрены следующие подсказки:

Подсказка 1. Вследствие невесомости нити и отсутствия трения в оси блока силы натяжения нити, приложенные к массам m_1 и m_2 , одинаковы по модулю и равны друг другу (см. выше).

Подсказка 2. Вследствие нерастяжимости нити ускорения масс m_1 и m_2 одинаковы по модулю и противоположны по направлению.

Подсказка 3. Запишите второй закон Ньютона для масс системы в виде: $m_1 a_1 = m_1 g - T_1$, $m_2 a_2 = m_2 g - T_2$ и уравнение кинематической связи в виде: $a_1 + a_2 = 0$. Решите полученную систему уравнений относительно a_1 или a_2 .

Первые две подсказки заставляют учащегося задуматься о той абстрактной модели изучаемого явления, в рамках которой решается поставленная задача. Может быть, для этого придется обратиться к теоретическому введению. Третья же подсказка дает учащемуся готовый алгоритм решения задачи. Если в результате проведенной работы он сможет получить правильный ответ без подсказок, то можно считать, что изучаемая тема усвоена.

На примере машины Атвуда удобно разобрать особенности оценки правильности ответа в задачах ди-

намики. Следует обратить внимание на размерность полученного ответа и рассмотреть предельные случаи. Если к нити подвешены грузы одинаковой массы, то полученные формулы для проекций ускорений дают значение, равное нулю. Если один из грузов имеет существенно большую массу, чем второй, то он падает с ускорением свободного падения. Ускорение второго груза в силу нерастяжимости нити равно по величине ускорению первого груза и противоположно ему по направлению.

Исследуемой задачей в разделе **законы сохранения импульса и механической энергии** является классическая задача о взаимодействии тела и незакрепленной горки. Задача формулируется так:

Тело скользит по гладкой горизонтальной плоскости и въезжает на гладкую подвижную покоящуюся горку. Определить конечные скорости тела и горки после окончания их взаимодействия. Масса тела m , масса горки M , начальная скорость тела V_0 , высота горки H .

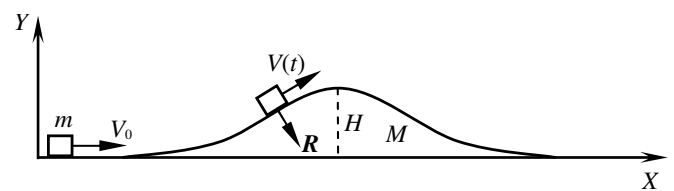


Рис. 2: Иллюстрация к задаче о взаимодействии тела и незакрепленной горки

Дополнительными задачами в данном разделе служат следующие:

1. Какую максимальную высоту должна иметь горка массой M , чтобы тело массой m , начиная двигаться со скоростью V_0 , смогло её преодолеть?
2. Какую минимальную скорость должно иметь тело массой m , чтобы, начиная двигаться с этой скоростью, оно смогло преодолеть горку высотой H и массой M ?
3. Какую минимальную массу должна иметь горка высотой H , чтобы тело массой m , начиная двигаться со скоростью V_0 , смогло её преодолеть?
4. Какую максимальную массу должно иметь тело, чтобы начиная двигаться со скоростью V_0 , оно смогло преодолеть горку высотой H и массой M ?

Выберем инерциальную систему отсчета, связанную с горизонтальной поверхностью, ось X декартовой системы координат которой направим вдоль горизонтальной поверхности по направлению скорости тела V_0 (рис. 2). Поскольку по условию задачи силы трения отсутствуют, то система «тело + горка» является замкнутой в горизонтальном направлении.

Когда тело въезжает на горку, она начинает двигаться вдоль оси X за счет силы реакции R , действующей

на горку со стороны тела, проекция которой на ось X направлена в положительном направлении этой оси. При этом по мере движения тела вверх по горке, ее скорость будет расти, а скорость тела уменьшаться. В данной задаче возможны два случая: тело преодолеет горку или тело соскользнет назад. Выберем конечный момент времени, когда в любом случае взаимодействие тела и горки прекратится. Обозначим через V_1 и V_2 проекции на ось X скоростей тела и горки в этот момент времени.

Как и раньше при неверном решении задачи выдаются подсказки. Ниже приведен пример подсказок при решении основной задачи о взаимодействии тела и горки.

Подсказка 1. Решите одну из задач 1, 2, 3 или 4, чтобы выяснить, сможет ли тело преодолеть горку.

Подсказка 2. Если тело преодолевает горку, то его скорость после взаимодействия будет $V_1 = V_0$, а скорость горки $V_2 = 0$.

Подсказка 3. Если тело не преодолевает горку, то запишите закон сохранения импульса в проекции на ось X для системы «тело + горка» для двух моментов времени: до взаимодействия и после взаимодействия: $mV_0 = mV_1 + MV_2$.

Подсказка 4. Запишите закон сохранения механической энергии для системы «тело + горка» для двух моментов времени: до взаимодействия и после взаимодействия:

$$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{mV_1^2}{2} + \frac{MV_2^2}{2}.$$

Подсказка 5. Решите полученную систему относительно скоростей тел V_1 и V_2 и получите правильный ответ:

$$V_1 = \frac{m - M}{m + M}V_0, \quad V_2 = \frac{2m}{m + M}V_0.$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Решение физических задач — это творческий процесс, и знания готовых алгоритмов иногда недостаточно, чтобы получить ответ. Тем не менее, без знания классических алгоритмов и основных формул решить физическую задачу невозможно. Умение решать задачи приходит с практикой. Создаваемая авторами программа дистанционного обучения физике поможет студентам и всем желающим в практическом освоении алгоритмов решения классических задач общей физики

В заключение отметим, что обучающие тесты являются весьма действенным инструментом в процессе обучения при условии, что человек сам заинтересован в усвоении материала. Работа в этом направлении идет полным ходом, однако надо решить еще много проблем, чтобы сделать тест, с помощью которого действительно можно учиться. Мы считаем, что эта работа весьма перспективна, и обучающие тесты скоро прочно войдут в программы обучения, став своеобразным интерактивным учебником, который позволит нашим студентам лучше усваивать университетские курсы физики, тем более, что для этого требуется лишь желание учиться и доступ в Интернет.

- [1] Иванов В. Ю., Полякова И. Б. Анализ результатов компьютерных тестов по механике: новые данные. // Сборник тезисов докладов научной конференции «Ломоносовские чтения», Москва, 14–18 апреля 2014 года, секция физики, с. 96.
- [2] Иванов В. Ю., Полякова И. Б. Сравнительный анализ результатов тестирования студентов 1-го курса по механике. // Сборник тезисов докладов научной конференции «Ломоносовские чтения», Москва, 15–24 апреля 2013 года, секция физики, с.172.
- [3] Терентьев М. А. О динамике успеваемости студентов физического факультета МГУ в осеннем семестре 2017/2018 г. с точки зрения тестирований. //

- Ученые записки физ. ф-та Моск. ун-та. 2018. №5. 1851002.
- [4] Иванов В. Ю., Иванова (Полякова) И. Б. От компьютерного тестирования к компьютерному обучению. // Ученые записки физического факультета МГУ. 2016. №3. 163001.
- [5] Иванов В. Ю., Иванова И. Б. Компьютерное обучение физике: кинематика и динамика материальной точки. // Сборник тезисов докладов научной конференции «Ломоносовские чтения», Москва, 16–25 апреля 2018 года, секция физики, с.199.

Computer teaching of physics: kinematics and dynamics of material point, the laws of conservation of momentum and mechanical energy

V. Yu. Ivanov^{1,a}, I. B. Ivanova^{1,b}, M. A. Terentyev^{2,c}

¹Department of general physics, Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University. Moscow 119991, Russia

²Department of mathematics, Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University. Moscow 119991, Russia

E-mail: ^avu.ivanov@physics.msu.ru, ^bib.polyakova@physics.msu.ru, ^cm.terentyev@physics.msu.ru

An example of the interactive teaching test is presented. As tasks in investigation we consider the classical tasks of general physics from mechanics. The structure of the teaching test is suggested. Some examples of teaching tips are given.

PACS: 01.50.H-, 01.50.KW

Keywords: computer testing, computer teaching, classical tasks of mechanics.

Received 30 June 2019.

Сведения об авторах

1. Иванов Владимир Юрьевич — канд. физ.-мат. наук, доцент, тел.: (495) 939-14-89, e-mail: vu.ivanov@physics.msu.ru.
 2. Иванова Инна Борисовна — канд. физ.-мат. наук, ст. преподаватель, тел.: (495) 939-14-89, e-mail: ib.polyakova@physics.msu.ru.
 3. Терентьев Михаил Анатольевич — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник; тел.: (495) 939-41-37, e-mail: m.terentyev@physics.msu.ru.
-