

*Герман Хэртел,
Сюзанна Джескова,
Мариан Кайрез,
Жан Дегро,
Сениченков Юрий Борисович,
Джозе-Мигель Замарро*

СУМЕЕТ ЛИ КОГДА-НИБУДЬ НЬЮТОН ПОБЕДИТЬ АРИСТОТЕЛЯ?

**Отчет об апробации новой компьютерной технологии обучения
понятиям инертности и гравитации**

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ

Результаты многочисленных исследований показывают [1–4], что знания большинства студентов основных концепций механики оставляют желать лучшего, даже если студенты прослушали специальные курсы лекций.

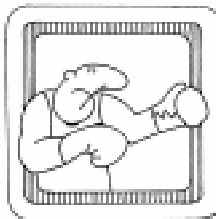
Приведем два характерных примера:

1. Как известно, для движения тела с постоянной скоростью необходимо, чтобы сумма приложенных к нему сил была равна нулю. В нашей повседневной жизни, глядя на поведение объектов, мы часто забываем учесть силы трения и делаем вывод, что для движения с постоянной скоростью необходимо прикладывать постоянную силу.

2. Свободное падение тел всегда происходит с одним и тем же ускорением свободного падения независимо от массы тел. Однако в повседневной жизни мы замечаем, что более легкие тела, такие как снежинки или опавшие листья, падают медлен-

нее, а на соревнованиях по скоростному спуску с ледяной горки обычно побеждают более массивные спортсмены. Отсюда большинство людей делают вывод, что более легкие тела падают медленнее, чем более тяжелые.

Для того чтобы убедиться, что результат обучения не зависит от особенностей преподавания, было проведено тестирование знаний в пяти европейских странах.¹ Результаты, приведенные на рисунке 1, показывают, насколько широко распространены среди учащихся рассмотренные выше заблуждения²:



Во всех группах (за исключением одной) точка зрения Аристотеля, согласно которой движение с постоянной скоростью обусловлено постоянно действующей силой, преобладает. Большинство или около 80% студентов, прослушавших полный курс механики, не способны правильно применить законы Ньютона для анализа простейших ситуаций, в которых тела двигаются с постоянной скоростью или постоянным ускорением.

¹ Нами был использован тест, приведенный в [5].

² Полные результаты тестирования можно найти на сайте : www.astrophysik.uni-kiel.de/pershome/haertel/EVA_e

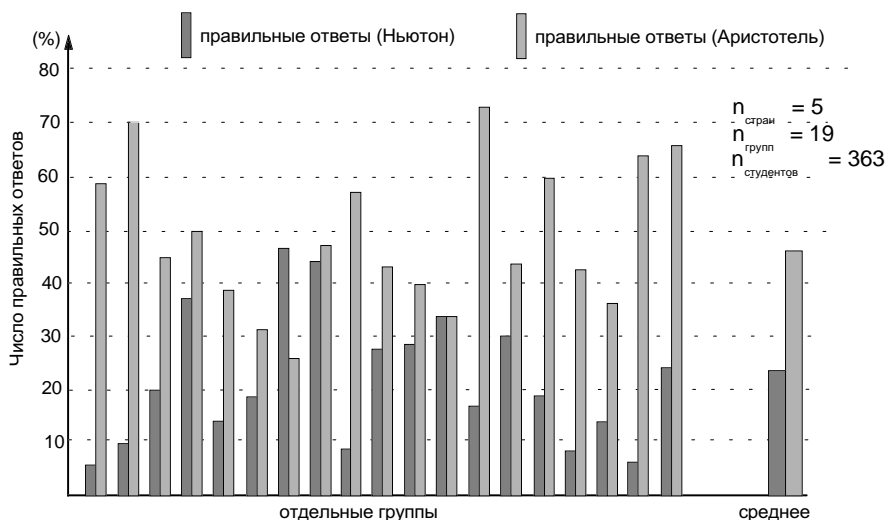


Рисунок 1. Результаты опроса о соотношении скорости, ускорения и приложенных сил. Число правильных ответов до обучения по новой методике с научной точки зрения (Ньютон) и точки зрения здравого смысла (Аристотель).

Результаты ответов на второй вопрос (свободное падение тел) аналогичны. Более того, часть студентов даже не сумела понять суть вопросов или их ответы представляли собой тавтологию.

Ясно, что такие результаты не могут быть оставлены без внимания, так как они касаются основ механики и классической физики. В сравнительном изучении, представленном в этой статье, мы попытались выяснить, как влияет новый подход и применение новых компьютерных технологий на результаты обучения.

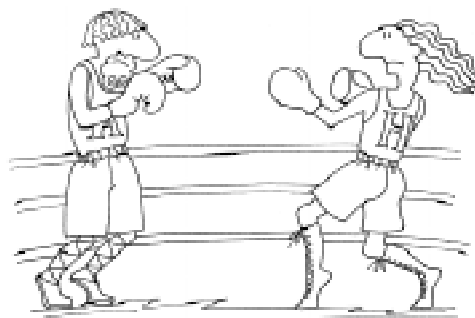
ИЗУЧЕНИЕ ТЕМЫ «ПОСТОЯННАЯ СКОРОСТЬ И ПОСТОЯННАЯ СИЛА (ИНЕРТНАЯ МАССА)»

В повседневной жизни, пытаясь сдвинуть покоящееся тело с места и забывая о силах трения, мы вновь и вновь убеждаемся, что движение с постоянной скоростью требует постоянно приложенной силы. Это глубоко укоренившееся и постоянно подтверждаемое повседневной жизнью заблуждение требует серьезного и всестороннего обсуждения на уроках физики.

Предметом обсуждения могут быть специально разработанные компьютерные

мультфильмы, показывающие движение различных тел. На изображения движущихся реальных объектов были дополнительно наложены векторы всех приложенных к объекту сил, сумма которых при движении тела с постоянной скоростью оказывается равной нулю. Эти мультфильмы, а также компьютерные модели, в которых учащиеся могут менять значения прилагаемых к телу сил и сразу же видеть результаты, сопровождаются вопросами об увиденном и проделанном. Цель вопросов и экспериментов – сделать как можно более острым противоречие между точкой зрения Аристотеля и Ньютона, с тем чтобы стимулировать ученика разрешить его экспериментально.

На рисунке 2 приведены сцены из некоторых мультфильмов.





а) движение воздушных пузырьков б) движение автомобиля в) планирование самолета

Рисунок 2.

**ИЗУЧЕНИЕ ТЕМЫ
«СВОБОДНОЕ ПАДЕНИЕ
(ГРАВИТАЦИОННАЯ МАССА)»**

Для того чтобы подчеркнуть различия между инертной и гравитационной массами, были разработаны несколько компьютерных моделей, в которых гравитационное поле заменялось силами притяжения Кулона, и гравитационная масса – электрическим зарядом, соответственно (рисунок 3).

В этом случае свободное падение под действием гравитации становится подобным движению заряженных частиц, на которые действуют только силы Кулона. Однако изучая движение заряженных частиц, можно независимо варьировать приложенную силу и инерционную массу, вместо того чтобы акцентировать внимание на важности значения отношения f/m .

При моделировании движения спутника вокруг Земли может быть использована та же идея. По аналогии с моделью атома Бора спутник может рассматриваться как заряженная частица, двигающаяся в поле заряженного тела в условиях отсутствия гравитации (рисунок 4).

И в этом случае влияние центростремительной силы может изучаться независимо от инерционной массы. Как и в предыдущем случае, студенты могут убедиться, что движение по орбите определяется отношением f/m .

Разработанные модели, вместе с мультфильмами, дополненные вопросами и заданиями, составили новый учебный материал.

Предполагается, что этот материал изучается группами из двух или трех сту-

дентов практически самостоятельно непосредственно за компьютером.

Все текстовые файлы представлены в виде .html и .pdf форматов, и их можно либо читать с экрана, либо распечатать. Необходимость иметь два формата объясняет-

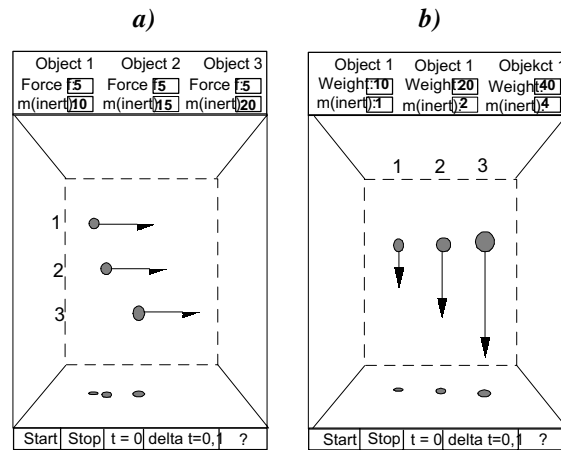


Рисунок 3.

а) ускорение в горизонтальном электрическом поле
б) ускорение в вертикальном гравитационном поле

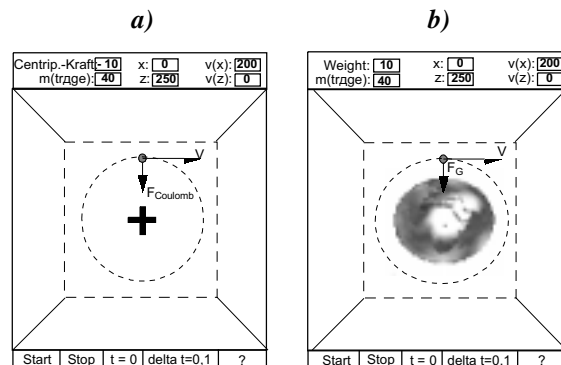
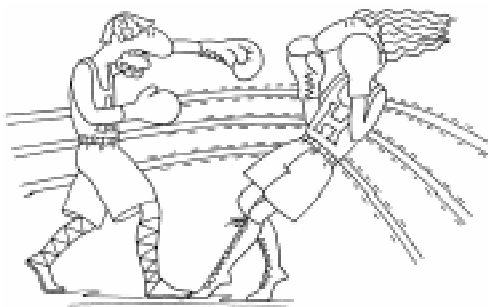


Рисунок 4. Движение заряженной частицы (а) и спутника (б).



ся тем, что большинство студентов осознают прочитанное, только если имеют дело с обычным документом, а экранный текст, как правило, они только поверхностно просматривают.

Все представленные модели разработаны в виде java-апплетов.

ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Эксперимент проводился в городах Киль (Германия), Косица (Словакия), Мурсия (Испания) и Санкт-Петербург (Россия). В каждом городе были отобраны школы, зарекомендовавшие себя только с хорошей стороны, и из их учеников были сформированы либо учебные группы полностью, либо смешанные группы, составленные из учеников различных школ. Все учебные материалы были переведены на языки стран, где проводился эксперимент, а само проведение эксперимента было регламентировано едиными для всех правилами.

Первая часть предварительного теста касалась вопросов выясняющих соотношение между характером движения и приложенными силами. Проверялись знания, полученные учащимися до начала эксперимента. Так как темы, которых касались проверочные работы, не выходили за рамки стан-



дартных, обсуждаемых в школьных курсах механики тем, то можно сказать, что данный тест проверял качество традиционного обучения.

Вопросы второй части предварительного теста были направлены на то, чтобы выяснить, как меняется характер движения, если одни и те же силы прикладываются к телам с различной массой. В частности учащихся просили объяснить, почему свободное падение тел осуществляется с одинаковым ускорением, вне зависимости от массы тел.

При проведении эксперимента важно постараться уменьшить влияние на его результаты личности и способностей учителя. Именно поэтому предполагалось, что ученики будут работать самостоятельно, небольшими группами, по два-три человека, непосредственно за компьютером. Учитель в этом случае играет роль консультанта – помогает понять задания и справиться с техническими трудностями.

Заключительный тест проводился не ранее, чем через две недели после окончания эксперимента, и без предварительного уведомления о нем студентов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

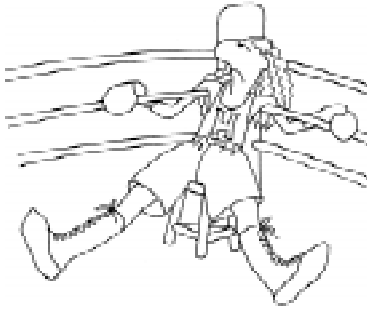
После эксперимента были изучены результаты предварительных и заключительных тестов 103-х студентов из 9-ти групп 4-х европейских стран. Правильность ответов первой части теста представлена с двух точек зрения – с точки зрения Ньютона и точки зрения Аристотеля, поэтому мы видим два графика (рисунок 5). Левый рисунок показывает число правильных ответов с точки зрения Ньютона, правый – с точки зрения Аристотеля.

Обработанные результаты второй части теста о соотношении сил и масс представлены на следующем рисунке 6.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Часть I – постоянное и ускоренное движение и необходимые для этого силы

Число правильных ответов по первой части теста (рисунок 5, а) колеблется от



3% до 50% , а среднее значение равно 18%.

Число «правильных» ответов с точки зрения Аристотеля преобладает во всех группах (рисунок 5, *b*). Число этих «правильных» ответов колеблется от 17% до 63% со средним значением 45%.

Учитывая, что все группы перед проведением эксперимента прослушали курс механики, могут быть сделаны два вывода:

1. Традиционное изучение ньютоновских законов (если $v = const$, то сумма сил должна быть равной нулю $\Sigma F = 0$; если $a = const$ то и сумма сил $\Sigma F = const$ постоянна) в различных школах дает совершенно различные результаты.

2. Даже в лучшей группе только каждый второй студент настолько хорошо осознал ньютоновские законы, что был способен устойчиво правильно отвечать на различные вопросы. Относительно большинства студентов можно утверждать, что их знания физики базируются на повседневном опыте, и уроки физики на это опыт не повлияли. Они как думали, так и продолжают думать, что:

1) постоянно приложенная сила необходима для поддержания движения с постоянной скоростью,

2) движение с переменной скоростью требует соответствующего изменения прилагаемой силы.

Как уже было сказано, заключительный тест проводился не раньше, чем через две недели после окончания обучения, и без предварительного уведомления учащихся. В среднем во всех группах наблюдалось увеличение правильных ответов с точки зрения

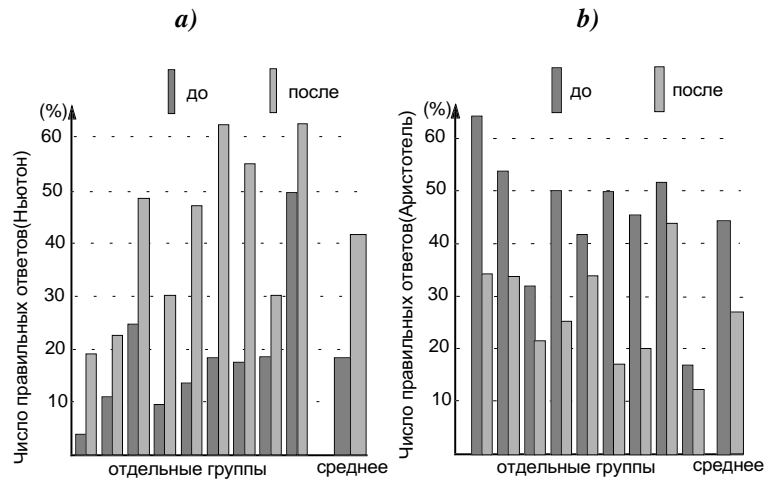


Рисунок 5. Результаты проверки знаний о соотношении скорости, ускорения и приложенных сил до и после обучения по новой методике.

Ньютона до 25% с разбросом от 11% до 45% (рисунок 5, *a*). Число правильных ответов с точки зрения Аристотеля снизилось во всех группах. Среднее значение таких ответов упало до 18% с разбросом от 4% до 32% (рисунок 5, *b*).

Увеличение правильных ответов во всех группах соответствует уменьшению числа неправильных. Период смены мировоззрения студентов, как мы ожидаем, будет непродолжительным, и это говорит о том, что победить повседневный опыт не так-то просто, причем для этого недостаточно про-

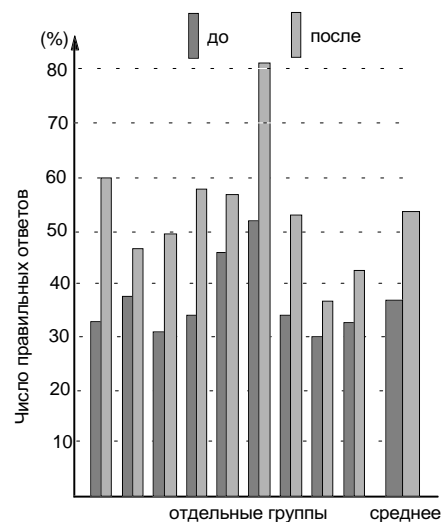
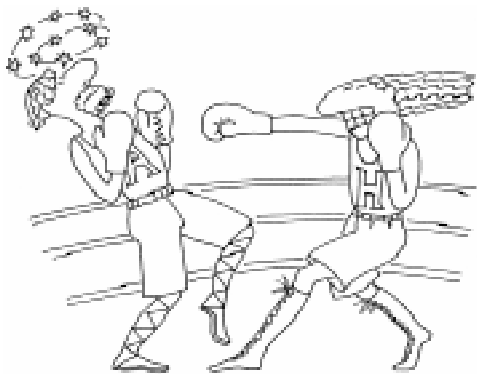


Рисунок 6. Результаты тестирования знаний о соотношении инертной массы и силы до и после обучения.



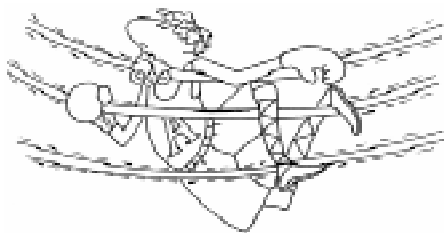
сто прослушать курс лекций. Повседневный опыт, говорящий о том, что для поддержания постоянной скорости нужна постоянная сила, настолько убедителен, что чрезвычайно сильно влияет на формирование у студентов научных концепций механики.

Возможный выход из создавшегося положения также подсказал повседневный опыт – основные положения механики периодически повторялись в течение дальнейшего обучения. Проведенный еще раз заключительный тест показал, что число правильных ответов возросло до 50%.

Часть II – гравитация, инертная масса, гравитационная масса

Как видно из рисунка 6, число правильных ответов увеличилось в среднем после обучения до 20% с разбросом от 5% до 30%.

Этот увеличение меньше, чем мы ожидали, глядя, как нам казалось, на неподдельный интерес к теме и горячие дискуссии во время уроков между студентами. Это говорит о том, что мы сталкиваемся с серьезными, глубинными проблемами обучения фундаментальным законам, таким как основные положения механики, касающиеся инертной и гравитационной масс. Очевидно, что большинство студентов не способно правильно понять материал с перво-



го раза во время небольшого курса лекций.

Тезис о том, что необходимо постоянное повторение сложного материала во время всего периода обучения, требует более серьезного подтверждения.

Сравнивая результаты нового подхода и традиционного, надо отметить, что новый подход был реализован в более сложных условиях. Учитель только контролировал процесс самостоятельного обучения, и студенты не готовились специально к итоговому тесту.

Если снять эти ограничения и дать возможность учителю преподавать, а не контролировать, разрешить студентам готовиться к тестированию, то результаты, скорее всего, будут лучше.

ПЛАНЫ НА БУДУЩЕЕ

Материал для изучения представляет собой ряд вопросов, на которые следует отвечать с помощью экспериментирования с моделями, просмотра мультфильмов и чтения текста. Во время обучения рабочие группы студентов обсуждают увиденное и прочитанное в произвольной форме. В то же время такое обсуждение можно организовать для всего класса, и тогда учитель сможет руководить им, направляя дискуссию в нужное русло и акцентируя внимание на ключевых положениях.

Проведенный эксперимент по чисто техническим причинам был ограничен во времени – в нашем распоряжении было 2 занятия по 90 минут каждое. Конечно же, если пользоваться этим подходом в обычных школьных условиях, это время можно увеличить. Это особенно важно, если, как уже отмечалось выше, планируется периодически повторять пройденный материал. Это согласуется с точкой зрения, что обучение – это активный, целенаправленный процесс [6, 7], требующий достаточно много времени и постоянного повторения. Для повторения пройденного весьма полезными могут оказаться разработанные мультфильмы. Повседневный опыт постоянно подтверждает правоту Аристотеля и мешает осознать правильность научного подхода Нью-

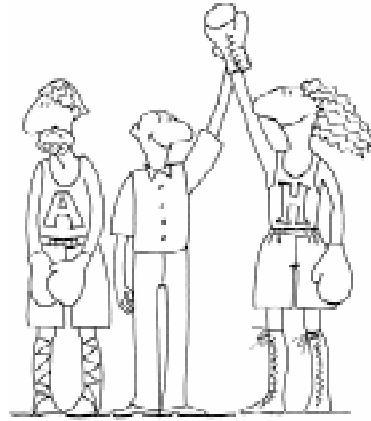
тона. Постоянный просмотр мультфильмов позволяет нам многократно возвращаться к повседневному опыту и лишний раз обсудить существующие заблуждения.

Помимо тех мультфильмов, что приведены в статье, имеются еще следующие:

- Причаливание корабля к пирсу.
- Движение моторной лодки по реке.
- Движение воздушного шара под воздействием ветра.
- Спуск спортсмена на парашюте.

Этот список планируется дополнить мультфильмами, показывающими движение с постоянной скоростью человека и животных.

Мы предполагаем использовать мультфильмы во время коротких занятий для по-



вторения материала, проводимых на протяжении всего периода обучения, и это будет способствовать уменьшению числа приверженцев позициям Аристотеля. Результаты эксперимента показывают, что данный подход можно использовать для обучения всех студентов, и это поможет им лучше осознавать основные научные концепции механики, по сравнению с традиционным способом обучения.

Этот же подход можно распространить и на изучение тем «свободное падение», «горизонтальное и вертикальное движение», «движение спутников», «движение планет» и другие. Необходимо постоянно возвращаться к изученному материалу, чтобы достичь у студентов твердых знаний основных законов механики и, в частности, различий между инертной и гравитационной массами.

Литература

1. G. Jung, H. Wiesner, Engelhard: Vorstellungen von Schulern über Begriffe der Newtonschen Mechanik. Didaktischer Dienst Franzbecker, Bad Salzdetfurth, 1981
2. J. Clement (1982): Students preconceptions in introductory mechanics. Am. J. Phys. 50. 66–71.
3. B. White (1983). Sources of difficulty in understanding Newtonian dynamics. Cognitive Science, 7(1), 41–65.
4. Schecker H. Das Schulervorverständnis zur Mechanik. Dissertation, Bremen 1985
5. D. Heuer and T. Wilhelm (1997) Aristoteles siegt immer noch über Newton. MNU 50/5 S 280-285.
6. Vygotsky L. S. Thought and Language. Cambridge, MA: The M.I.T. Press, 1985.
7. Piaget J. Die Aquilibration der kognitiven Strukturen, Klett, Stuttgart. 1976

Члены международной ассоциации CoLoS:

Герман Хэртел,
Институт теоретической физики и
астрофизики, университет г. Киля,
Германия

Сюзанна Джескова,
Мариан Кайрез,
Жан Дегро,
Университет им. Сафарика,
г. Косица, Словакия,

Сениченков Юрий Борисович,
Политехнический университет,
Санкт-Петербург, Россия,

Джозе-Мигель Замарро,
Университет г. Мурсия, Испания.



Наши авторы, 2004.
Our authors, 2004.