

**Рабочая программа
научно-исследовательской деятельности учащихся**

**по общей тематике
« Опыты и приборы с постоянными магнитами и устройства
для измерения массы тел в невесомости»**

***«Эксперименты и задачи о движения шарика по наклонной
плоскости в поле силы тяжести и дискретном магнитном
поле»***

(34 часа)

**Пополитова И.В.
Перелыгин Б.П.**

Аннотация

Данная рабочая программа отвечает одной из общих тематик учебно-исследовательской деятельности учащихся Лицея - «Опыты и приборы с постоянными магнитами и устройства для измерения масс в невесомости»

В соответствии данной тематике авторами представлена также рабочая программа по комплексной теме «Экспериментальное определение сил кольцевых магнитов и анализ динамических характеристик одномерного движения при их взаимодействии».

В течение последних 3-х лет учащимися Лицея проводились опыты с постоянными магнитами, разрабатывались и представлялись на школьные конференции оригинальные проекты использования сил магнитного взаимодействия.

Высокие оценки жюри ряда конференций и конкурсов получила работа учащегося /3/ «Измерение масс тел на борту орбитальной станции». Автор работы на международной конференции Intel ISEF 2009 представил свой макет прибора измерения масс с использованием сил магнитного взаимодействия и предложения по конструкции прибора для использования в условиях невесомости. В дальнейшем при консультационной поддержке НПО им. С.А. Лавочкина была подана заявка на изобретение (приоритет от 17.06.2009). В настоящее время получено положительное решение о выдаче патента с равными долями патентообладания НПО и Лицея 13.

Выполнение работ по данной программе является продолжением и развитием указанной общей тематики научно-исследовательской и проектной деятельности учащихся Лицея.

Авторы отмечают, что при существующем наличии таких элементов, как набор постоянных магнитов, возможно выполнение основной экспериментальной части работы. В Приложении (2), как пояснение к ресурсному обеспечению, приводятся оценки диапазонов измерений и допустимых погрешностей, а также отмечается необходимость дополнительных технических средств для повышения точности измерений при экспериментах

Необходимые теоретические положения по данной работе прилагаются в «Справочных и методических материалах...» /1/, но возможно также представление учащимся-исполнителям материалов Приложения к данной рабочей программе.

Целевая группа.

Экспериментальная часть работы может выполняться учащимися 8-9-10 классов. Учитывая возможное разнообразие рассматриваемых режимов движения шарика, - качение, скольжение, движение в магнитном поле, - работа может выполняться группой исследователей.

Теоретическая часть, при наличии в программном обеспечении и изучении некоторых элементов этого специального программного обеспечения (указывается ниже), может выполняться учащимися 9-10-11 классов.

Предметная область: физика, математика, информатика.

По основному содержанию предлагаемая тема исследования относится к разделам базового курса физики «Механика» и «Электромагнетизм».

В школьных базовых (не профильных) учебниках и задачниках физики по разделу «Механика» часто не приводится иллюстрация закона сохранения механической энергии на примере скатывания шарика (цилиндра, обруча и т. д.) с наклонной плоскости. При выполнении данной работы, при условии определённой точности измерений, учащиеся получают экспериментальное подтверждение этого закона.

В учебниках и задачах по базовому школьному курсу физики раздела «Электромагнетизм» рассматривается движение заряженных тел, как правило, точек, в однородных полях магнитных сил с определённой угловой направленностью относительно скорости (сила Лоренца). Определяются закономерности силового взаимодействия проводников и контуров с током также в однородных магнитных полях /1.4/.

В экспериментальной части данной работы с постоянными магнитами косвенно определяются некоторые закономерности силового взаимодействия тела (шарика) с магнитным полем. В теоретической части предполагается проверка принятой модели силового взаимодействия шарика и магнитного поля.

Проблема исследования

Как отмечается во введении монографии /1.5/ «задача о движении твёрдых тел в электрических и магнитных полях лежит на стыке классических дисциплин - теоретической механики и электродинамики, - и в общей постановке является чрезвычайно сложной для аналитического исследования».

Но возможные эффекты механического взаимодействия магнитов различных форм и сочетаний полюсов в этих формах настолько неочевидны, что часто лежат в основе современных заявок на изобретения и оформленных патентов. Примеры приводятся в рабочей программе по комплексной теме «Экспериментальное определение сил кольцевых магнитов и анализ динамических характеристик одномерного движения при их взаимодействии».

Планируемый в данной работе эксперимент по движению шарика в дискретном магнитном поле на наклонной плоскости представляется более сложным случаем силового взаимодействия. Достаточно точные замеры (см. Приложение (2)) только конечного времени движения могут косвенно подтверждать адекватность принятой модели силового взаимодействия.

Задача исследования.

Формулируя задачу исследования применительно к рассматриваемому физическому процессу, который далее может использоваться в технических приложениях, отметим кратко следующее:

на основании проведенных экспериментов, теоретического анализа и сравнительной оценки результатов получить достоверные соотношения для расчёта

параметров движения рассматриваемой динамической системы с силами магнитного взаимодействия.

Методы исследования:

- изучение литературы по общей тематике /1/;
- изучение материалов по разделам «Энциклопедии магнетизма» /2/;
- подготовка материальной части экспериментов (приборов);
- проведение экспериментов 1 и 2 и обработка результатов;
- анализ принятой модели силового взаимодействия;
- проведение расчета динамики движения в системе Maple и сравнение с результатами эксперимента.

Этапы исследования:

Изучение литературы по теме исследования (/1,3/, указанные разделы из /2,4/) - (4 часов).

Подготовка прибора, проведение эксперимента 1 и обработка результатов – (4 часа).

Изучение начальных сведений по системе Maple и освоение на уровне использования в расчётах фрагмента готовой программы (представляется руководителем) - (6 часа).

Проведение расчётов по анализу динамических характеристик движения и выдача исходных данных для эксперимента 2 – (4 часа).

Подготовка прибора, проведение эксперимента 2 и обработка результатов – (4 часов).

Сравнительный анализ экспериментальных и расчётных результатов (включая повторение некоторых экспериментов) – (3 часа)

Анализ результатов, подготовка отчётных материалов, работа над докладом и презентацией - (5 часов).

Обсуждение дальнейшего направления исследований – (2 часа).

Апробация доклада на собрании МАН, руководителя и преподавателей Лицея – (2 часа).

34 часа

Ожидаемые результаты.

Комплексный характер темы предполагает в ожидаемом результате получить согласование экспериментальной и теоретической части.

В результате проведения и обработки данных экспериментов 1 и 2 проводится сравнение с результатами расчётов по принятым моделям движения.

Мы отмечаем ограниченность наших технических возможностей, поэтому численную оценку результатов «достаточно точного совпадения» руководители могут определять в процессе и по окончании работы.

Оптимистическим следует считать следующий результат:

на основании проведенных экспериментов, теоретического анализа и сравнительной оценки получить достоверные соотношения для расчёта параметров движения рассматриваемой шарика в поле силы тяжести и в дискретном магнитном поле.

Предполагаемые формы отчёта:

Участие в региональных конференциях и конкурсах: «Эксперимент в космосе» - октябрь-декабрь; «Космический патруль» - январь- март.

Участие в конференциях предприятий и ВУЗов (С.А. Лавочкина, МГУ, МАИ и др.), юбилейных чтениях по космонавтике (в секциях для студентов или школьников).

Предполагаемые направления развития темы

В аннотации отмечалось, что течение последних 3-х лет учащимися Лицея проводились опыты с постоянными магнитами, разрабатывались и представлялись на школьные конференции оригинальные проекты использования сил магнитного взаимодействия. Данная тема выполняется в рамках общей тематики Лицея «Опыты и приборы с постоянными магнитами и устройства для измерения массы тел в невесомости».

Можно прогнозировать развитие данной темы в техническом приложении. В частности, возможна конструкция прибора для измерения массы на базе линейного магнитного маятника.

Ожидаемый педагогический эффект.

По содержанию предлагаемая тема исследования относится к разделам базового курса физики «Механика» и «Электромагнетизм».

Выше отмечалось, что в базовых (не профильных) учебниках и задачниках физики по разделу «Механика» часто не приводится иллюстрация закона сохранения механической энергии на примере скатывания шарика (цилиндра, обруча и т. д.) с наклонной плоскости. Это можно объяснять техническими трудностями фиксации с достаточной точностью конечной скорости или времени движения. При выполнении данной работы (эксперимент 1), при условии определённой точности измерений (бытовые видеокамеры, цифровые фотоаппараты), учащиеся получают экспериментальное подтверждение этого закона.

При выполнении эксперимента 2 с магнитами учащийся не измеряет непосредственно величину силы магнитного взаимодействия с шариком. Измерение только одной величины конечного времени движения и сравнение с результатами численного расчёта косвенно показывает (или не показывает) адекватность принятой модели силового взаимодействия. Последнее является для учащегося новым познавательным фактом научного анализа - связь теории и эксперимента.

В процессе выполнения данного исследования учащийся учится постановке и планированию экспериментов, поисковым навыкам получения информации в интернете в достаточно узком диапазоне нужных технических данных, навыкам работы в современной математической компьютерной системе Maple в объёме начального раздела «быстрый старт». Учащийся готовит компьютерную презентацию, стендовый доклад, выступает с докладом, оппонирует и ведёт дискуссию.

Выполнение учебно-исследовательской работы должно повышать мотивацию учащихся к изучению предметов естественно-научного цикла, развивать творческие задатки исполнителя и формировать его научное мышление.

Ресурсное обеспечение:

-по экспериментальной части:

- на рис. 1,2 Приложения (2) показаны фрагменты экспериментов по определению времени движения шарика по наклонному желобу. Оцениваемые нами характерные линейные размеры прибора (длина желоба) составляет 0.7...1.5 м;

- на рисунках показаны также основные элементы прибора, за исключением измерительной части;

-на рис.3 представлена типичная расчётная зависимость изменения скорости движения шарика при наличии 2-х гипотетических магнитов;

- указаны возможные диапазоны времени движения;

- указаны требуемые точности фиксации этих временных диапазонов;

- мы не определяем сейчас состав и характеристики измерительных средств, но допустимые ошибки измерений оцениваются величинами порядка единиц сотых долей секунды по времени.

-по теоретической части:

- «Справочные и методические материалы...», лицей 13, 2010 /1/;

- доступ в интернет с оперативными средствами дистанционного общения (эл. почта, Skype);

- наличие апробированных версий 7-й и выше системы Maple в прикладном программном обеспечении компьютера.

Литература для учащихся:

1. Справочные и методические материалы по тематике конкурсных работ «Опыты и приборы с постоянными магнитами и устройства для измерения масс в невесомости», Лицей 13, 2010.
2. Энциклопедия магнетизма, предприятие «Валтар», <http://www.valtar.ru/encyclop.htm>
- 3 Измерение массы тел на борту орбитальной станции, доклад Чурикова М., 2009
4. Магнитное поле. Электромагнитная индукция – (пособие для подготовки к ЕГЭ), Рожкова Г.И., Зыков К.Б., 2007.

Литература для учителя:

- 1.1 . Механика твёрдого тела (лекции по университетскому курсу общей физики), МГУ, В.А. Алешкевич и др.
- 1.2. . Мак-Миллан В.Д., Динамика твёрдого тела, М., ИЛ, 1971
- 1.3. Энциклопедия магнетизма, предприятие «Валтар», <http://www.valtar.ru/encyclop.htm>
- 1.4. Магнитное поле. Электромагнитная индукция – (пособие для подготовки к ЕГЭ), Рожкова Г.И., Зыков К.Б., 2007.
- 1.5. Мартыненко Ю.Г. Движение твердого тела в электрических и магнитных полях,- Наука, М., 1998.
- 1.6. Физика: Учебник для 10 класса с углубленным изучением физики (под ред. Пинского А.А., Кабардина О.Ф.) Изд. 8-е, перераб., доп
- 1.7. Задачник по физике, под ред. Пинского А.А.
- 1.8. Научно практическая работа, г. Шумерля, Чувашия, 2005.
http://www.cap.ru/home/76/gorono/2005/scool3_nominacia/telo.html
- 1.9. Программа **Multilab** цифровой лаборатории "Архимед", <http://project-cabinet.narod.ru/effect/arhimed/Fyzik/videoan/videoan.html>.

Приложение

1. Задача о движении шарика в школьных курсах и задачниках физики

В школьных базовых (не профильных) учебниках и задачниках физики по разделу «Механика» часто не приводится иллюстрация закона сохранения механической энергии на примере скатывания шарика (цилиндра, обруча и т. д.) с наклонной плоскости. В некоторых задачах используется термин «шарик», но при этом не даются его размеры, что естественно предполагает движение точки. В этом случае рассматривается движение скольжения без трения или при его наличии. Можно указать многочисленные примеры таких задач - (<http://www.afportal.ru/physics/together/256>), (<http://fizportal.ru/fluctuation-3>), (<http://festival.1september.ru/articles/529059/>).

Иногда делаются просто непонятные выводы при сравнении конечных результатов движения при скольжении и чистом качении тел (Касаткина И.Л., Репетитор по физике, Феникс, 2010). Здесь записывается и комментируется понятие полной кинетической энергии - суммы поступательного и вращательного движений $E_k = \frac{1}{2} m V^2 + \frac{1}{2} J_0 \omega^2$. Тогда при качении обруча $\omega = \frac{V}{R}$, $J_0 = m R^2$ и $E_k = m V^2$.

Далее делается вывод (цитата): «кинетическая энергия скатывающегося обруча вдвое больше кинетической энергии обруча, скользящего без вращения»

При правильном решении задачи учащийся должен получить ответ, что конечная скорость V_k центра масс скатывающегося обруча в $\sqrt{2}$ раз меньше скорости скользящего, тогда будет выполняться равенство $m g h_0 = \frac{1}{2} m V_k^2 + \frac{1}{2} J_0 \omega_k^2$ и формальное равенство из указанного источника $m g h_0 = m V_k^2$.

Приведём численный пример с данными из раздела 2 Приложения, который иллюстрирует теоретические положения методических материалов для исполнителей /1/:

-при качении шарика: - время движения $tk := .6027130$; - конечная скорость $V_{xk} := 2.422383$; - кинетическая энергия поступательного движения $E_{k1} = .06988215$; - кинетическая энергия вращательного движения $E_{k2} = .02795286$; - сумма энергий $E_{\Sigma} = .09783501$ и $m g h_0 = E_{\Sigma}$.

-при скольжении шарика без трения: - время движения $tk := .5093853$; - конечная скорость $V_{xk} := 2.866202$; - кинетическая энергия поступательного движения $E_{k1} = .09783500$; - кинетическая энергия вращательного движения $E_{k2} = 0$; - сумма энергий $E_{\Sigma} = .9783501e-1$ и $m g h_0 = E_{\Sigma}$.

-при качении тонкого обруча: - время движения $tk := .7203795$; - конечная скорость $V_{xk} := 2.026711$; - кинетическая энергия поступательного движения $E_{k1} = .04891751$; - кинетическая энергия вращательного движения $E_{k2} = .04891750$; - сумма энергий $E_{\Sigma} = .9783501e-1$ и $m g h_0 = E_{\Sigma}$.

Обруч является той формой тела, для которой кинетические энергии поступательного и вращательного движений являются равными. Для всех остальных однородных по плотности тел с осевой симметрией кинетическая энергия поступательного движения больше кинетической энергии вращательного. Отметим, что при выполнении данной работы, приводимые в методических материалах /1/ зависимости по движению шарика, используют материалы из списка литературы /1.1, 1.2/.

В учебниках и задачниках для профильных школ рассматриваются закономерности движения при качении /1.6, 1.7/. Ниже приводится задача по определению только конечной скорости, но не времени, при качении цилиндра с учётом силы сопротивления качению (задачник /1.7/).

14.13. На вершине наклонной плоскости длиной l с углом наклона α находится сплошной цилиндр с радиусом основания r (рис. 14.13). Цилиндр скатывается, не проскальзывая.

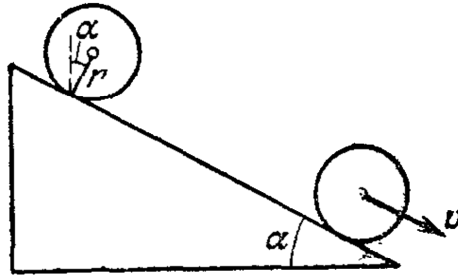


Рис. 14.13.

Найти скорость центра масс цилиндра внизу, если коэффициент трения качения равен k .

14.13. По закону сохранения энергии

$$U - A_{\text{тр}} = K, \text{ или } mg(l \sin \alpha + r \cos \alpha) - T_{\text{кач}} l = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}.$$

Сила трения качения $T_{\text{кач}} = kmg \cos \alpha / r$; момент инерции сплошного цилиндра $I = \frac{1}{2}mr^2$ и угловая скорость $\omega = v/r$. Имеем:

$$mg(l \sin \alpha + r \cos \alpha) - \frac{l k m g \cos \alpha}{r} = \frac{mv^2}{2} + \frac{mv^2}{4},$$

откуда

$$v = \sqrt{\frac{4g}{3} \left(l \sin \alpha + r \cos \alpha - \frac{l k \cos \alpha}{r} \right)}.$$

2. Схема и состав основных элементов эксперимента, диапазоны измеряемых величин, оценки точности измерений

На рис. 1, 2 показаны схемы и основные элементы двух экспериментов данной работы (за исключением измерительной части). В качестве основного устройства измерительной части предполагается использование цифровой видеокамеры (цифрового фотоаппарата). Способ фиксации и оценки получаемой точности измерения временных интервалов будут обрабатываться в процессе подготовки и проведения экспериментов.

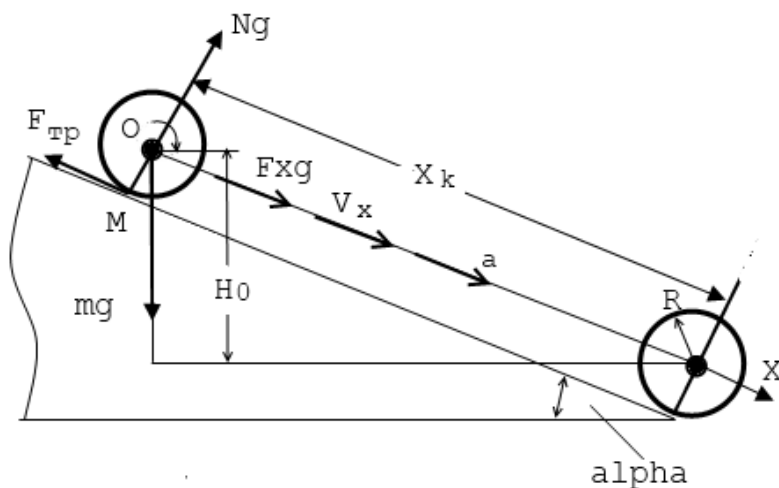


Рис.1. Схема движения (качение) шарика в поле силы тяжести /1/.

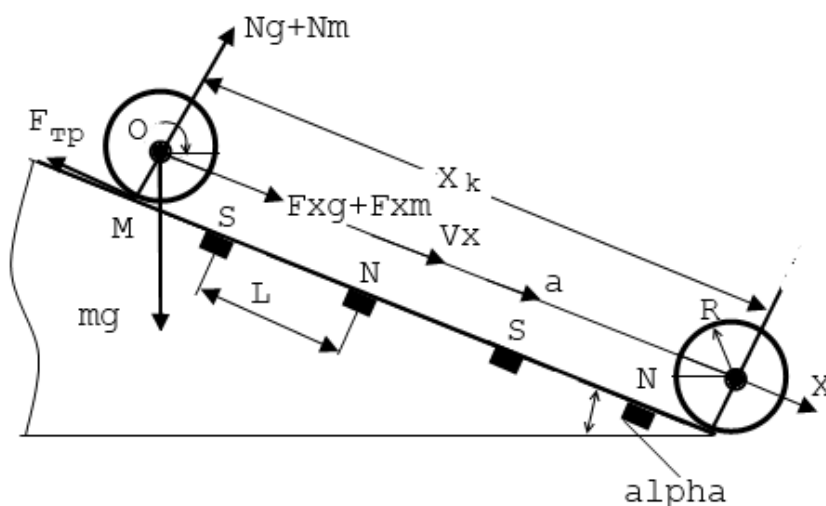


Рис.2 Схема движения (качение) шарика в поле силы тяжести и переменном магнитном поле /1/.

Оценим диапазоны измеряемых интервалов времени и допустимых погрешностей измерений на примере предварительного эксперимента, который проводился в Лицее (Чепурная Т., Изучение движения стального шарика в магнитном поле, - конкурс Интел-Авангард, декабрь, 2009).

Основные размеры (рис.1.2): длина жёлоба -0.73м, угол наклона -35град, диаметр шарика-0.009м.

Расчётное (чистое качение) и время движения из эксперимента соответствуют величинам 0.60271 сек (расчёт) и 0.58 сек (эксперимент). Разница может объясняться ошибками измерений (систематика), ошибками расчётных исходных данных, а также и эффектами начального скольжения шарика для принятого угла наклона.

Расчёты показывают, что при чистом скольжении с нулевым коэффициентом трения время движения составляет 0.5094 сек, разница от расчётного при качении ~ 0.1 сек. Понятно, что для фиксации таких эффектов, время должно измеряться с ошибками порядка 0.01..0.02 сек, что соответствует работе видекамеры с частотой 50 кадров/сек. Этому соответствует характеристики программы **Multilab** цифровой лаборатории "**Архимед**", которая используется в практической работе одной из школ /1.9/.

В практической работе одной из школ по экспериментам с наклонной плоскостью исполнители (учащиеся) отмечают, что результаты измерений соответствовали режиму качения шарика /1.8/. Использование измерителя времени типа метронома и отсутствие численных величин измерений ставят под сомнение результаты этой работы.

Отметим также следующее. При конечной скорости порядка 3м/сек интервал времени 0.02 сек соответствует изменению положения шарика порядка 6см, что можно фиксировать видеокамерой при частоте кадров порядка 25...50 кадров/сек.

На рис.3 представлена типичная расчётная зависимость изменения скорости движения шарика при наличии на наклонной плоскости 2-х гипотетических магнитов. Эта зависимость соответствует определённой расчётной модели сил магнитного взаимодействия (пояснения в материалах /1/).

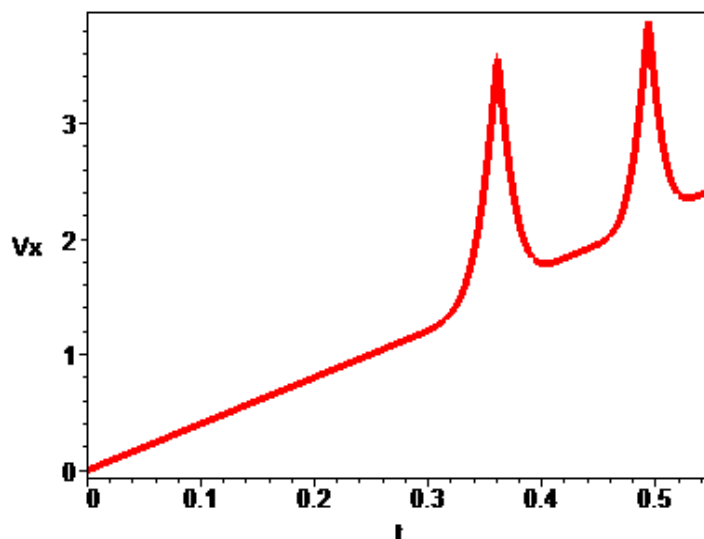


Рис.3. Зависимость скорости $V_x(t)$ от времени

Из графика видно, что фиксировать характеристики (интервал, высота и т.д.) этих «всплесков» возможно только при наличии специальной аппаратуры – указана в /1.9/.

Конечное расчётное время по сравнению с вариантом качения без магнитов в данном случае уменьшается на 0.053 сек. Пусть мы измеряем это время с ошибками порядка 0.01...0.02 сек. Если мы получаем измеряемую величину в пределах этих ошибок, то можем говорить о работоспособности принятой модели.

Автор: Перелыгин Б.П.