

А  
1149

ТБИЛИССКИЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
им. А. С. ПУШКИНА

---

С. С. ТОТИБАДЗЕ

На правах рукописи

# МЕТОДИКА

преподавания кинематики и динамики  
вращательного движения в курсе физики  
средней школы

## АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата педагогических наук по методике  
физики

Тбилиси  
1961 г.

ТБИЛИССКИЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
им. А. С. ПУШКИНА

---

С. С. ТОТИБАДЗЕ

На правах рукописи

# М Е Т О Д И К А

преподавания кинематики и динамики  
вращательного движения в курсе физики  
средней школы

## А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата педагогических наук по методике  
физики

Т б и л и с и  
1961 г.

Защита диссертации состоится в Тбилиском  
государственном пединституте им. А. С. Пушкина  
в феврале 1962 года.

Автореферат разослан \_\_\_\_\_ 1961 года.

*Ученый секретарь:*

В методической литературе, посвященной вопросам преподавания физики в средней школе, в последнее время большое внимание уделено изложению в учебниках средней школы равномерного движения по окружности.

Результаты многократных обследований знаний учащихся на уроках и экзаменах во многих школах, продолжительное наблюдение преподавателей, принимающих экзамены при поступлении в высшие учебные заведения, приведенные на страницах периодической печати, подтверждают низкий уровень в понимании темы и особенно неумение четко ориентироваться в силах, связанных с точкой, равномерно движущейся по окружности.

Было бы неправильно эту трудность усвоения темы объяснять сложностью самого изучаемого физического явления. Научная постановка вопроса не оставляет сомнения в том, что все виды равномерно переменных движений, изучаемых в средней школе (прямолинейно равномерно-ускоренное движение с начальной и без начальной скорости, прямолинейно-равномерно замедленное движение, движение тела, брошенного под углом к горизонту, и равномерное движение тела по окружности), которые можно получить действием на тело одной и той же постоянной силы, представляют собой прямолинейно ускоренное «падение» тела по направлению силы, измененное от наличия так или иначе направленной начальной скорости, сохраняемой телом по инерции.

Отсюда ясно, что обстоятельная проработка прямолинейно-равномерно-ускоренного движения (которое создается постоянной силой независимо от того, находится ли тело одновременно в другом движении, сохраняемом по инерции) и такое методическое его изложение, которое ставило бы целью выявление этого внутреннего подобия различных по внешнему виду движений, сняли бы всякую трудность при изучении любого из вышеназванных движений (тем более движения кругового, являющегося вследствие своей «симметричности» наиболее простым).

Таким образом, причину «трудности» при изучении вопросов кинематики и динамики в средней школе нужно искать в несовершенстве методики изложения их в учебниках школы, вследствие чего проблема изложения этой важнейшей главы механики для средней школы является весьма актуальной методической проблемой.

Диссертация ставит целью дать определенный вариант методической линии изложения главы о равномерном движении по окружности, могущей устранить отмеченные выше трудности. Подобную линию изложения

можно было бы осуществить только путем выявления внутреннего подобия данного движения с другими видами равнопеременных движений. Следовательно, разрешение задачи, намеченной в диссертации, требует перестройки методики изложения кинематики и динамики всех видов равнопеременных движений с точки зрения единого методического подхода, максимально обеспечивающего взаимную их сопоставляемость, при котором движение по окружности не может не включиться в ряд этих движений в один, и притом наиболее простой, из этих видов.

Диссертация состоит из трех частей. В первой части устанавливаются причины возникновения трудностей при усвоении темы и дается общая методическая установка ее проработки. В первую очередь намеченным методическим приемом прорабатывается прямолинейно-равноускоренное движение. Причем движение с самого же начала связывается с порождающей его силой, чем осуществляется единственная возможность построения изложения на физической основе.

Вторая часть посвящена круговому движению, которое прорабатывается путем распространения на это движение основных представлений прямолинейно-равнопеременных движений.

В третьей части ставится вопрос о системах отсчета, необходимость постановки которых непосредственно вытекает из принципа относительности движения, а также формируется представление об инерциальной системе отсчета, в котором выдержано изложение механики в средней школе, хотя в существующих учебниках не находим упоминания о какой-либо системе отсчета. Формирование рельефного представления об этой системе осуществляется путем сопоставления ее с другой возможной системой отсчета, в качестве которой берется система неинерциальная. Выработка элементарных представлений об этой системе, достигаемая исключительно в результате анализа наблюдений самих учащихся, оказывается вполне достаточной для того, чтобы осмыслить важнейшее понятие центробежной силы, которая имеет место только в этой системе отсчета и о которой в настоящее время совершенно не упоминается в средней школе, поскольку точка зрения ускоренной системы исключена из рассмотрения.

В связи с этим положением, в диссертации ставится вопрос о возможности введения в курсе средней школы точки зрения неинерциальной системы.

\* \* \*

1. Изложение кинематики и динамики движений, рассматриваемых в средней школе, можно наметить двумя путями, вытекающими из двух, взаимно исключающих методических установок. Можно все эти движения разбить по их внешней форме, сообразно с тем, как они непосредственно воспринимаются неподвижным наблюдателем, и для каждого отдельного вида движения наиболее подходящим методическим приемом устанавливать законы изменения ускорения, скорости и пройденного расстояния.

Второй путь методической проработки может быть намечен на основании следующих соображений. Как известно, каждое из вышеприведенных движений может быть получено от действия одной и той же силы, например, силы веса. Движение пули, выброшенной из ружья вертикально вниз или вверх, под любым углом к горизонту или параллельно горизонту со все увеличивающейся скоростью, доходящей до значения, при котором пуля должна обратиться в спутника Земли, и движение той же самой пули, непосредственно выпущенной из руки, принимают совершенно различные формы только от того, что одна и та же сила в каждом отдельном случае действует на тело, находящееся в различных состояниях инерции, характеризуемых начальной скоростью. Возникшие движения, как порождаемые одной и той же силой, не могут быть различными по своей сущности. На основании принципа независимости движений результат действия силы веса, наблюдаемый при свободном падении тела без начальной скорости, в точности будет наблюдаться во всех вышеприведенных различных видах движения, не исключая и кругового. Следовательно, все эти движения, как и движение Луны вокруг Земли, представляют собой непрерывное падение тел на Землю (по направлению силы).

Это обстоятельство, вытекающее из основной сущности всех рассматриваемых в средней школе движений, естественно приводит к необходимости построения такой методической линии изложения, которая в достаточной степени выявляла бы единую природу этих движений.

Первый путь методической проработки в основном осуществлен в существующих учебниках физики средней школы. По основной установке диссертации все трудности изучения темы о вращательном движении возникают именно на этой почве. При этой методической линии представляет большую трудность выработка единого взгляда на все указанные движения, вследствие чего и силы, вызывающие на первый взгляд различные движения и ускорения в этих движениях, будут представляться силами и ускорениями различной природы.

Изложение же с точки зрения второй методической установки в максимальной степени способствовало бы выработке единого взгляда, отражающего единую физическую сущность этих движений. Этим же путем должно разрешиться и понятное изложение кинематики и динамики кругового движения, так как последнее движение ничем существенным не будет отличаться от ранее рассмотренных и легко понимаемых видов движений. Но тут возникает вопрос, как в средней школе строить методику изложения, которая вскрыла бы эту единую физическую сущность столь разнообразных по внешнему виду движений.

Легко установить, что изложение кинематики и динамики движений в учебниках средней школы менее всего подходит к изложению движений на физической основе. Между тем, изложение на физической основе дает единственную возможность ликвидировать почву для возник-

кновения формализма при первичном ознакомлении учащихся с законом механических движений.

Основная методическая линия этого изложения в учебниках заключается в следующем. Например, при изложении прямолинейно-равномерно-ускоренного движения прежде всего дается представление об этом движении, как о движении, в котором скорость возрастает равномерно. На примере этого движения легко констатируется, что такие движения могут отличаться друг от друга быстротой возрастания скорости, в которой заключается весь эффект движения. Таким образом, учащийся подводится к необходимости измерить эту быстроту возрастания скорости, являющейся важнейшей характеристикой движения. Ясно, что быстроту возрастания скорости можно измерить изменением скорости за одну секунду по формуле  $\frac{V-V_0}{t}$ , и эта величина (отношение изменения

скорости к тому промежутку времени, за которое это изменение произошло), измеряющая быстроту возрастания скорости, принимается за основную физическую величину, называемую ускорением. Обозначая ее буквой „а“, получают формулу ускорения прямолинейного равноускоренного движения  $a = \frac{V-V_0}{t}$ .

Таким образом, от реально протекающего движения берется чисто внешняя описательная его сторона — равномерность возрастания скорости, т. е. постоянство ускорения. Это условие выражается математической формулой, а затем все законы движения изучаются из этой формулы путем чисто математических операций над ней. Из формулы

$a = \frac{V-V_0}{t}$ , решая ее относительно  $V$ , получают формулу скорости  $V = V_0 + at$ . Затем полученная формула, выражающая зависимость скорости от времени, переносится на график и из графика, путем вычисления площади трапеции, устанавливается закон изменения пути от времени.

Такова линия изложения этого движения в учебниках. Спрашивается, не перенесен ли в среднюю школу метод математической физики, который полностью себя оправдывает в высшей школе, но вызывает сомнение по поводу его применения для работы с начинающими. Едва ли есть основание предполагать, что учащиеся, не могущие еще мыслить математически, настолько владели бы языком графики, чтобы в графических соотношениях величин ощущали бы реальное явление с его закономерностями. Ясно, что результатом такого математизированного подхода к изучению этого основного движения не может быть ни понимание движения, ни представление о процессе его возникновения. Да и вообще, как можно понять движение тела, если не исходить из свойства инерции, из свойства тела, способного находиться одновременно в двух или нескольких движениях, протекающих совершенно независимо друг от друга, если не учитывать также действия силы, заключающейся в передаче дви-

жения. А между тем, при изучении движения совершенно не упоминается об этих свойствах материи и силы, всецело определяющих как возникновение, так и самый процесс движения. Конечно, такая методика изложения вышеуказанных основных форм движения проистекает от определенных исторически сложившихся обстоятельств.

Как известно, механика, как наука, в своем историческом развитии оформилась в две отдельные части: кинематику и динамику. В первой движения изучаются вне связи с порождающими их силами, во второй же части движение рассматривается в непрерывной связи с последними, причем эта связь устанавливается законами Ньютона, носящими с этой точки зрения название основных законов динамики. Деление, конечно, носит формальный характер, так как не вытекает из реальной действительности, где силы и движения неразрывно связаны друг с другом, но полностью оправдывается из соображений, связанных с необходимостью предварительного изложения законов Ньютона, на которых должно быть построено динамическое рассмотрение движений. В свою очередь, законы Ньютона для освоения требуют фундаментальных кинематических представлений.

Это раздельное изучение движения, принятое в курсах высшей школы, как известно, всецело перенесено в среднюю школу. Нельзя не отметить, что такое искусственное разделение в преподавании того, что так неразрывно связано в реальной действительности, исключает возможность рассмотрения движения на физической основе, так как именно действие силы на тело является этой физической основой, единой для всех видов равномерно-переменных движений.

Методическая линия рассмотрения движения, берущая исходной точкой действие силы, как источник возникновения движения, дала бы возможность вскрыть единую физическую природу столь различных по внешней форме видов равнопеременных движений. Одним из важнейших следствий такого подхода к изучению движений было бы разрешение вопроса о ясном изложении кругового движения, которое в изложении в учебниках выглядит как движение особого рода, где могут появляться силы особой природы (центробежная сила), не встречающаяся в других движениях, физически точно подобным круговому. Богатая почва для таких иллюзий, связанных с круговым движением, создается вследствие того, что изложение в учебниках не идет по линии максимального вскрытия физического единства кругового движения с другими. Математический подход к изложению прямолинейного ускоренного движения и, тем более, вариация метода изложения при переходе от одного движения к другому, меньше всего способствуют максимальному вскрытию внутреннего подобия разных движений. А именно на внутреннем подобии этих движений может быть построено свободное от недоумений и ясное понимание движения кругового.

Эта же естественная линия изучения движений на основе ориентировки в физической стороне движений дала бы возможность непосредственно устанавливать законы движения, а затем выражать их математи-

чески. Этим было бы избегнуто то положение, что формулы, полученные математическими операциями, являются единственными источниками познания реально протекающих различных форм движения.

Ставится вопрос, возможно ли для средней школы изменить этот общепринятый способ раздельной увязки их с силами в динамике, в то время, как это деление имеет свое логическое обоснование, в основном заключающееся в том, что нельзя связать движения с силами, не опираясь на законы Ньютона, которые, в свою очередь, требуют предварительного знакомства с элементами движения. Можно ли изложить движение тела в неразрывной связи с действием силы на данное тело, вывешивая результаты этого действия, всецело опираясь на свойство материи сохранять без изменения движение, полученное от действия силы за данный промежуток времени (закон инерции) и независимо от этого продолжать воспринимать и сохранять движения, передаваемые телу от той же самой силы за следующие промежутки времени (закон независимости движений)?

Вопрос легко разрешится в положительном смысле, если учтем следующие обстоятельства. Во-первых, как законы инерции и независимости движений, так и положение, что действие одного тела на другое (сила) есть процесс передачи движения, являются результатами повседневного (многовекового) опыта и потому легко усваиваются учащимися. Следовательно, эти ясные положения могут быть свободно использованы для исследования любого вида движения. Вторым, и весьма важным, обстоятельством является то, что эти законы вполне достаточны для установления вышеуказанных законов кинематики и динамики и исчерпывающего разбора всех движений. Стало быть, имеется возможность обойти особое изложение законов Ньютона, которое является причиной выделения динамики из общей главы учения о движении.

Тут, естественно, может возникнуть некоторое недоумение: возможно ли, чтобы законы данного движения были установлены помимо применения всех законов динамики Ньютона. Но достаточно указать, что закон инерции, закон независимости движений и физическое содержание понятия действия силы в полном объеме выражают законы Ньютона, не исключая и количественной связи силы с ускорением.

Действительно, представим, что на тело действует постоянная сила, во время действия которой непрерывно передается телу движение. Сохраняя по инерции движение, полученное за предыдущие промежутки времени, тело будет двигаться с постоянно возрастающей скоростью. Если одновременно на тело будет действовать другая такая же по величине и направлению сила, тело получит еще такое же ускорение в том же направлении в силу независимости движений. Следовательно, в два раза большая сила сообщит телу ускорение в два раза большее, т. е. получаем, что ускорение пропорционально силе и направлено в сторону действия силы.

Таким образом, законы инерции и независимости движений полностью выражают второй закон Ньютона, с тем, однако, преимуществом, что в этом случае имеется возможность с предельной наглядностью проследить опытную основу второго закона Ньютона, а это имеет колоссальную познавательную ценность для начинающих.

Положение же, что сила есть процесс передачи движения, с учетом закона независимости движений, с той же наглядностью подводит нас и к третьему закону Ньютона.

Действительно, возьмем два отвеса из одинаковых упругих шариков, соприкасающихся при равновесии. Отклоним первый шарик и представим ему падать. При ударе первый остановится, а второй, получив все движения первого, отклонится на тот же угол. Видим действие первого шарика на второй. Посмотрим, действует ли равным образом второй шарик на первый, т. е. передается ли такое же движение от второго шарика к первому, хотя второй шарик не имел никакого движения? Ясно, что да. Первый шар остановился от действия второго шара. Следовательно, первому передано такое же движение, какое было у него, но только в обратном направлении. Этим и объясняется, что второй сам отклонится в направлении противоположном, т. е. в направлении предыдущего движения первого шарика. Движение, переданное от второго шарика первому, вместе с движением, оставшимся у второго, в сумме дают движение, которое первоначально имел второй шарик, т. е. покой. Передачи движения от одного тела к другому, выражающие действие силы на тело, имеют место и в обратном направлении без всякого различия как в качественном, так и в количественном отношении.

Таким образом, закон инерции, закон независимости движений и представление о действии силы, дают возможность с предельной наглядностью проанализировать процесс возникновения любой формы движения, фактически осуществляя этот анализ на основе законов Ньютона. Это обстоятельство делает излишним в средней школе искусственный отрыв изучаемого движения от реальных условий его возникновения. Замена математизированного изложения движений, изложенных на физической основе, не может не вскрыть физическое единство различных по внешней форме движений, что значительно упростит задачу изучения всех движений в целом.

\* \* \*

Одной из трудностей, объясняющих неудовлетворительное усвоение кругового и вообще криволинейного движения, является геометрическое сложение, выраженное правилом параллелограмма.

Достаточно представить, как осваивались бы результаты решения арифметических задач, если бы в соответствующих классах неполной средней школы арифметические действия сложения и вычитания были бы освоены так, как обыкновенно осваиваются в средней школе эти же действия над направленными величинами. В начальной школе это дей-

ствие преподносится детям на исчерпывающей физической основе, в то время, как правило параллелограмма является отвлеченным постулативным положением, с меньшей ясностью и рельефностью отражающим действительность.

Совершенно иное положение будем иметь, если будет постулирован самый закон независимости движений, который в общем случае непосредственно приводит к правилу геометрического сложения. Подобное углубленное физическое содержание правила параллелограмма, сводящееся к принципу независимости движений, даст возможность глубже ощущать физический смысл результатов, полученных от векторных операций, применяемых при исследовании криволинейного движения. Этот вопрос является важнейшей проблемой, удовлетворительное разрешение которой должно облегчить изложение кругового движения. Основная трудность изложения возникает только при суммировании двух движений, в которых тело участвует одновременно в каком бы из видов равнопеременных движений оно ни находилось. Одним из движений в данном случае является равномерное движение по инерции со скоростью, которую тело имело к началу рассматриваемого промежутка времени; второе же движение представляет собой прямолинейно-равноускоренное движение, возникающее от действия постоянной силы, независимо от какого-либо другого движения, в котором тело одновременно могло находиться. Легко убедиться, что это суммирование не создаст никакой трудности, если руководствоваться законом независимости движений, который воспринимается учащимися не как отвлеченное положение, а как с полной ясностью ощущаемая реальность.

В существующих учебниках, ввиду иной методической линии изложения, не ставится вопрос о подобном суммировании, в то время как при изложении на физической основе оно играет основную роль. Надо отметить, что это обстоятельство не могло не отразиться на объеме проработки самого правила параллелограмма в учебниках средней школы. В последних это правило вносится как способ сложения двух прямолинейных равномерных движений, и совершенно обходится вопрос сложения двух движений, из которых одно неравномерное. В реальных движениях, всегда протекающих под действием силы, исключена возможность сложения только равномерных движений.

Применение закона независимости движений и в этот вопрос вносит полную ясность. Исходя из данного закона, учащиеся со всей ясностью могут убедиться, что в случае сложения двух движений, из которых одно или оба неравномерные, диагональ параллелограмма, построенного на расстояниях, пройденных в каждом из движений, своим концом будет точно выражать конечное положение движущейся точки за взятый промежуток времени. Но сама диагональ (или замыкающая сторона) не будет являться траекторией, как это имело место при сложении двух прямолинейно-равномерных движений. Положение точки, уже не находящейся

на диагонали, в любой момент из взятого промежутка времени легко устанавливается. Нельзя не отметить, что этой ориентировкой достигается естественный и понятный переход от прямолинейных к криволинейным движениям.

Из изложенного выше непосредственно видно, насколько обеспечивается понятное изложение всех видов движений, если законы, дающие возможность осуществления единого методического подхода к исследованию каждого из них, с надлежащей полнотой проработаны с учащимися.

### **Закон инерции. Закон независимости движений и физическое содержание понятия действия силы**

Закон инерции подробно излагается в учебниках как неполной, так и полной средней школы. Он широко иллюстрируется подобранными примерами и подтверждается опытами. Нужно, однако, отметить, что положение его в учебниках не полностью выявляет смысл этого важнейшего закона.

Учащимся прививается ясное представление о том, что всякое тело сохраняет полученное движение до тех пор, пока какая-нибудь сила не выведет его из этого положения. Но дальше представление учащихся обрывается. Сохраняет ли затем тело то прямолинейно-равномерное движение, которое оно имело до действия силы? Именно ясный ответ на этот вопрос, а не те представления, которые обычно связываются с проявлением свойства инерции в непредставимых идеальных условиях, может дать ориентировку в реальных условиях, когда тело находится в непрерывных взаимодействиях с другими телами. Эту неполноту формулируемых представлений об инерции тел ясно можем иллюстрировать на следующем примере. В прямолинейно равномерно движущемся вагоне пассажир достает из кармана шарик и кладет его на гладкий стол. Шарик остается в покое. Явление весьма привычное для любого учащегося средней школы. Несмотря на это, он не может не поразиться, если ему разъяснить суть дела: шар, находящийся в кармане, в силу связи его с вагоном, двигался вместе с нами. Положенный на стол шарик уже не связан с вагоном, но движется вместе с ним без всякого изменения скорости, как бы длительно ни наблюдали за ним. Если дать ему толчок, шарик получит определенное движение по направлению толчка, точно такое же, которое получил бы шарик в неподвижном вагоне. Учащемуся известно также, что, если вагон ускорится или замедлится, шарик придет в движение, в первом случае — отставая от стола, движущегося уже с большей скоростью, во втором же случае, шарик будет опережать вагон. Для учащегося делается ясным, что мы наблюдаем замечательное свойство тел сохранять ранее полученное движение в дальнейшем без изменения, независимо от любых взаимодействий с другим телом. Оно совершит движение, полученное от толчка, но в силу присущего материи

свойства инерции, ничуть не отстает от вагона. Конечно, шарик, положенный на стол через окно наблюдателем, стоящим на платформе, не останется неподвижным. Он будет отставать от вагона, так как не обладает скоростью последнего. Такими же простыми, но убеждающими опытами являются падения по вертикали тел, выпущенных из рук наблюдателем, стоящим в равномерно движущемся вагоне и на земле.

Камень, вынужденный двигаться вместе с вагоном, находясь в руке пассажира, после потери связи с вагоном сохраняет полученную скорость и при непрерывных взаимодействиях с другими телами. Ясно, что при отсутствии взаимодействия тело будет находиться или в относительном покое, или же в равномерном движении, что и выражено в первом законе Ньютона.

Обыкновенно считается, что «закон инерции не может быть непосредственно доказан, так как в лабораторных условиях ни одно движущееся тело нельзя изъять из-под действия сил». (Методика преподавания физики. И. И. Соколов. Изд 1951 г., стр. 382). «Но, — пишет И. И. Соколов, — закон инерции экспериментально наблюдаем и опытом доказывается во всех его следствиях».

Ясно, что непосредственно, т. е. при отсутствии взаимодействия, закон инерции доказать опытом нельзя, но если даже допустить и признать возможность доказательства в идеальных условиях, повидимому, это доказательство не имело бы практической ценности, т. к. положение, выявленное в «идеальных» условиях, не так легко можно было бы распространить на условия реальные (когда тело непрерывно взаимодействует с другим телом). Ценность вышеприведенных простейших «опытов» заключается именно в том, что закон инерции учащиеся экспериментально наблюдают в реальных условиях, когда тело «вечно» движется с полученной скоростью, и притом с такой же ясностью, с какой они наблюдают свойство тел «вечно» сохранять относительный покой.

Все это позволяет считать закон инерции доказуемым экспериментально. Те же самые простые «опыты», которые послужили достаточной иллюстрацией для закона инерции, вполне достаточны и для выявления другого важнейшего закона, именуемого законом независимости движений. На основании этих наблюдений учащиеся с полной очевидностью могут констатировать, что тело одновременно может находиться в двух или нескольких движениях, причем эти движения протекают независимо друг от друга. Падение тела в равномерно движущемся вагоне протекает так же, как оно протекало бы в неподвижном вагоне, и, наоборот, равномерное движение тела (со скоростью вагона) ничуть не меняется от того, что тело в вагоне падает или находится в каком-либо другом движении, сообщенном телу действием силы (толчок на шарик в равномерно движущемся вагоне).

Не возникает никакой трудности также при формировании понятия действия силы. Наблюдения учащихся рельефно выявляют, что действие силы есть непрерывный процесс передачи движения от одного тела дру-

гому. Ударом молотка движение передается от молотка неподвижному телу, лежащему на горизонтальной плоскости, причем этот процесс передачи во времени фиксируется с процессом взаимодействия.

Возникает вопрос, является ли это определение действия силы исчерпывающим, не требующим какого-либо дополнения или это определение будет недостаточно? Не трактовать ли еще силу как причину деформации тел?

Выше мы видели, что это определение приводит нас к третьему закону Ньютона, так как наблюдение не оставляет сомнения, что передачей движения исчерпывается взаимодействие тел как в прямом, так и в обратном направлении.

Для разрешения же вопроса о том, нужно ли определение действия силы как процесса передачи движения дополнить упоминанием о ней, как о причине деформации, обратимся к тому же опыту с двумя отвесами. Мы отклонили первый шар, чтобы наблюдать передачу движения второму шару. Наблюдением за вторым шаром устанавливается, что за счет переданного движения второй шар останавливается, поднявшись на определенную высоту. Ясно, что изменилась форма движения, переданная второму шару во время процесса взаимодействия (действия силы). Это изменение формы происходило во время работы силы веса на пути перемещения при отклонении (переход кинетической энергии в потенциальную).

То же самое происходит и при любой деформации. При взаимодействии близлежащие частицы получают движение, но возникающие упругие силы быстро меняют его форму: кинетическая энергия переходит в потенциальную. Повидимому, мы всецело можем руководствоваться вышеприведенным понятием действия силы как процесса передачи движения от одного тела другому, которое с полной ясностью воспринимается учащимися.

#### Общая методическая установка проработки равномерно-переменных движений в курсе физики средней школы

Закон инерции независимости движений, а также и понятие действия силы, как процесса передачи движений, воспринимаются учащимися с предельной ясностью. А потому могут быть свободно использованы для проработки и выявления физического единства всех видов равномерно-переменных движений, столь сильно отличающихся друг от друга по своему внешнему виду. Залогом успеха в данном случае является построение изложения на физической основе, т. е. без отрыва изучаемых движений от порождающих их сил. Во всех этих движениях именно процесс возникновения их от действия силы является единым, как едины свойства материи, которыми определяется весь дальнейший ход движения.



В природе всякое движение определяется взаимодействием с другими телами и свойствами материи. Следовательно, полнота физических представлений о движении может быть достигнута выявлением результата этого взаимодействия из свойств материи.

С точки зрения этих положений, возникновение всякого движения делается понятным и физически осмысленным, на основании чего могут быть непосредственно установлены кинематические и динамические закономерности движения. Ясно, что законы движений и формулы, их выражающие, полученные на подобной физической основе, будут являться для учащихся, впервые приближающихся к знаниям механики, словесными выражениями и математическими соотношениями, рельефно отражающими действительность.

Легко доказать, что исходя из законов, выражающих свойства материи и представления о действии силы, можно определить, какое движение может возникнуть от действия постоянной по величине и направлению силы. Чтобы использовать ясное представление учащихся о результатах кратковременного удара о тело, разобьем действие силы на краткие промежутки времени, уподобляемые ударам. Если эти равные «удары» всегда направлены в сторону движения, ясно, что скорость будет равномерно увеличиваться, сохраняя одно и то же направление, так как по свойству инерции движения, переданные телу от предыдущих ударов, будут телом сохраняться, и каждое новое движение от следующих ударов будет прибавляться. Результатом будет то, что пока постоянная сила действует, скорость все время будет равномерно возрастать в той или иной степени, в зависимости от силы ударов, т. е. от величины силы. По прекращении действия силы прекратится нарастание скорости, и тело в дальнейшем будет двигаться равномерно. Получается прямолинейное равномерно-ускоренное движение. Различные движения этого вида будут отличаться друг от друга степенью возрастания скорости, от которой зависит весь эффект движения. Поэтому естественно ставится вопрос об измерении быстроты возрастания скорости. Понятно, что последнюю (быстроту) можно измерить приращением скорости в единицу времени по формуле  $a = \frac{V - V_0}{t}$ . В нашем случае это приращение скорости (ускорение) направлено в сторону движения. Таким образом, зная ускорение, мы знаем величину и направление приращения скорости в единицу времени. Ясно, что сила прибавляет новое движение в своем направлении, следовательно, направление ускорения всегда будет совпадать с направлением действующей силы.

На основании тех же положений легко физически рассчитать, какую скорость будет иметь тело в конце любого промежутка времени. Если постоянная сила начала действовать на тело, находящееся в покое (начальная скорость нуль), скорость в конце  $t$  сек. будет  $at$ . Получаем

формулы скорости прямолинейно равноускоренного движения  $V = at$ , если  $V_0 = 0$  и  $V = V_0 + at$  при начальной скорости  $V_0$ . Можно также рассчитать путь, пройденный в течение любой взятой секунды, на основании чего составим таблицу пройденных расстояний за 1, 2, 3 и т. д. отдельно взятые секунды. Из этой таблицы легко составить значение пройденных расстояний за 1, 2, 3 и т. д. полное число взятых секунд, в результате чего вскрыется закон изменения пути, который легко выразится формулой.

При расчете пути, пройденного, например, за всякую секунду, нужно учесть, что при действии постоянной силы за любую секунду телу передается одинаковое движение, в результате чего скорость за эту секунду возрастет на  $a$  (ускорение). Причем эту скорость (приращение за единицу времени) тело получает равномерным возрастанием скорости от 0 до значения « $a$ ». Но эту скорость, возрастающую от 0 до « $a$ », можно заменить постоянной скоростью  $\frac{a}{2}$ . Действительно, через  $\frac{1}{2}$  секунды (в течение взятой секунды) тело от действия силы будет иметь скорость  $\frac{a}{2}$ . За некоторое время до этого момента полученная телом скорость была меньше  $\frac{a}{2}$ , но зато после  $\frac{1}{2}$  секунды за такой же промежуток времени скорость была бы больше на такую же величину в силу равномерного возрастания последней. Поэтому они компенсируют друг друга, что позволяет возрастающую скорость от 0 до « $a$ » за данную секунду заменить постоянной скоростью  $\frac{a}{2}$ , при которой за эту секунду, вследствие действия силы, тело успеет пройти расстояние  $\frac{a}{2}$ .

Таким образом, только от действия постоянной силы за произвольно взятую секунду тело проходит путь, численно равный половине ускорения « $a$ ». Нужно отметить, что вышеприведенный расчет пройденного расстояния за данную секунду является единственной трудностью во всем изложении кинематики и динамики равнопеременных движений, если вообще считать его трудностью.

Остальная часть пройденного пути за взятую секунду телом проходит по инерции равномерным движением с той скоростью, которую оно имело к началу этой взятой секунды. Следовательно, если движение началось без начальной скорости, за первую секунду тело пройдет путь  $\frac{a}{2}$  в результате только действия силы. За вторую секунду, кроме  $\frac{a}{2}$ , еще пройдет путь « $a$ », так как к началу второй секунды телом была набрана скорость « $a$ », (от ускорения), с которой в дальнейшем оно движется

по инерции. За третью секунду к  $\frac{a}{2}$  нужно прибавить путь  $2a$ , пройденный телом за эту секунду по инерции со скоростью, которую тело имело к началу третьей секунды. За четвертую секунду к  $\frac{a}{2}$  прибавляется  $3a$  и т. д.

Результаты расчета приводим в виде таблицы.

#### ТАБЛИЦА

пройденных расстояний за отдельно взятые секунды

$$\text{За 1-ю } \frac{a}{2} = 1 \frac{a}{2}$$

$$\text{За 2-ю } a + \frac{a}{2} = 3 \frac{a}{2}$$

$$\text{За 3-ю } 2a + \frac{a}{2} = 5 \frac{a}{2}$$

$$\text{За 4-ю } 3a + \frac{a}{2} = 7 \frac{a}{2}$$

Наблюдаются следующие закономерности прямолинейного равномерно-ускоренного движения без начальной скорости:

1. Расстояние, пройденное в первую секунду, численно равно половине ускорения.

2. Пройденное расстояние пропорционально нечетным числам.

3. Пройденный путь за каждую секунду увеличивается на одну и ту же величину.

Последняя закономерность является весьма важной характеристикой этого движения. Поэтому она положена в основу определения равномерно-ускоренного движения.

Суммируя расстояния, пройденные за отдельные секунды, получим пройденные пути за любое число секунд.

#### ТАБЛИЦА

пути за любое число секунд

$$\text{За 1-ю секунду } \frac{a}{2}$$

$$\text{За 2-ю } \quad \quad \quad 4 \frac{a}{2}$$

$$\text{За 3-ю } \quad \quad \quad 9 \frac{a}{2}$$

$$\text{За 4-ю } \quad \quad \quad 16 \frac{a}{2}$$

Вскрывается закон расстояний в равномерно-ускоренном движении: пройденный путь пропорционален квадрату времени. Следовательно, за

$t$  секунд тело пройдет  $\frac{at^2}{2}$ , получаем формулу пути  $S = \frac{at^2}{2}$

При начальной скорости  $V_0$ , на основании закона независимости

движений, получаем  $S = V_0 t + \frac{at^2}{2}$ , так как в этом случае тело будет находиться одновременно в двух движениях: 1) полученное от действия постоянной силы, при котором тело проходит путь  $\frac{at^2}{2}$  и 2) движение по инерции с начальной скоростью  $V_0$ , которую тело сохраняет все время, независимо от того, находится ли оно в другом движении (путь пройденный в этом движении  $V_0 t$ ).

Вышеприведенным анализом были вскрыты закономерности одного из основных движений, которое возникает от действия постоянной по величине и направлению силы, все время действующей на тело по направлению движения. Понятной трактовкой этого движения обусловливается такое же понятное изложение всех видов равномерно-переменных движений, в том числе и равномерного движения по окружности. Все они создаются постоянной по величине силой. В одних случаях эта сила действует в одном и том же направлении, причем направление силы может совпадать с направлением движения (прямолинейное равномерно-ускоренное движение). В другом случае сила может быть направлена против движения (равномерно-замедленное прямолинейное движение). Может быть и так, что при своем неизменном направлении сила может составлять со скоростью разные углы вследствие изменения направления последней.

В других случаях действие силы может быть неизменно направлено под определенным углом к движению тела, скорость которого непрерывно должна меняться по направлению. Из этих случаев наиболее важным является случай, когда сила в каждый момент времени направлена под прямым углом (этот случай рассматривается в средней школе), т. е. имеем равномерное движение по окружности. Во всех случаях, как и в последнем, сила должна непрерывно меняться по направлению, вследствие чего в одном определенном направлении она будет действовать весьма короткое время. Следовательно, за это короткое время в последнем случае (и во все время в предыдущих случаях) от силы будет возникать одно и то же равномерно-ускоренное прямолинейное движение, наряду с равномерным движением по инерции со скоростью, которую тело имело к моменту начала рассматриваемого промежутка времени.

И это физическое единство всех, столь различных по своему внешнему виду, движений учащиеся будут воспринимать с такой же ясностью, с какой они воспримут следующие выводы из наглядных наблюдений: 1) во время действия на тело силы, движение одного тела передается другому мгновенно при мгновенном действии силы и непрерывно при длительном действии последней; 2) все полученные движения тело сохраняет без изменения, следовательно, оно может находиться одновременно в скольких угодно движениях, которые протекают совершенно независимо друг от друга (законы инерции и независимости движений); 3) окончательная форма движения тела есть результат суммирования отдельных движений, осуществляемого в одних случаях алгебраическим сло-

жением, в других же, когда эти движения направлены в разные стороны, сложением геометрическим. Последнее действие можно выполнять, руководствуясь законом независимости движений, исключаяющим формальное усвоение физической проблемы.

Использование законов инерции и независимости движений при изучении одного из прямолинейно-ускоренных движений подготавливает учащихся к ясному пониманию как кинематики, так и динамики остальных видов движений, изучаемых в средней школе. В том убеждает личный опыт. Учащиеся, еще только приступая к разбору движения вертикально вверх брошенного тела, свободно рассчитывают, какова должна быть скорость тела, например, через 3 секунды ( $50 - 3 \cdot 10 = 20$  м/сек.), через 7 секунд ( $50 - 7 \cdot 10 = -20$  м/сек, если «g» считать равным  $10$  м/сек<sup>2</sup>  $V_0 = 50$  м/сек. Ясно, что скорость падения к последнему моменту превышена над неизменяющейся скоростью движения вверх по инерции.

Так же легко рассчитывают окончательную высоту поднятия: за 3 секунды, двигаясь по инерции, тело подыметься на  $3 \cdot 50 = 150$  м, падением же опустится на 45 м. В результате за 3 секунды окажется на высоте 105 м. За 7 секунд первым движением оно поднялось бы на высоту 350 м, но спустится вследствие одновременного падения на 245 м. Следовательно, через 7 секунд тело окажется поднятым на меньшую высоту ( $50 \cdot 7 - 245 = 105$  м, что и понятно, так как тело уже несколько секунд находится в движении обратном.

Разбором данного движения, проведенным на физической основе, последнее непосредственно фиксируется в сознании учащихся как одно цельное движение.

В сборнике задач (В. Г. Зубов и В. П. Шальнов «Задачи по физике Изд. 1955 г., стр. 10) авторам приходится посвящать целую тираду цельности этого движения с момента выпуска из рук до падения на землю, причем они стараются убедить читателя в этом ссылкой на то, что «формула  $S = V_0 t - \frac{at^2}{2}$  является общим выражением зависимости пути от времени для равнопеременного движения...». Не трудно понять, что это голословное утверждение является напрасным трудом, поскольку вывод формул равнопеременных движений в учебниках средней школы, как отмечали выше, совершенно не направляется каким-либо физическим смыслом, способным выявить это обстоятельство.

Разбор же на основе физических представлений не оставляет сомнения в физическом единстве всех видов равнопеременных движений, включая и круговое, что приведет нас к одним формулам пути и скорости:

$$V = V_0 + at \quad S = V_0 t + \frac{at^2}{2}$$

Формулы выражают одновременное нахождение тела в двух движениях, которые суммируются по закону независимости движений, причем для прямолинейно-ускоренного движения это суммирование выполняется арифметическим сложением, для вертикально

вверх брошенного тела — сложением алгебраическим, для движений же тела, брошенного под углом к горизонту, и для кругового — оно должно быть выполнено векторным суммированием, которое учащиеся средней школы выполняют графически.

## Законы Ньютона

Законы инерции и независимости движений и представление о действии силы полностью подготавливают учащихся к сознательному усвоению законов Ньютона в общепринятой форме. Это и понятно, так как эти три положения, как указано выше, и качественно и количественно выражают законы Ньютона, что и позволило строить на них изложение на физической основе, не отделяя кинематического исследования движений от динамического его рассмотрения. Из этих законов закон инерции подробно рассмотрен выше, даже с попыткой демонстрировать свойство тела сохранять раз полученное определенное движение вечно. Исходя из положений, выражающих свойства материи, удалось сделать понятным и наглядным фундаментальное содержание второго закона — сила сообщает телу ускорение, которое нельзя понять, если отвлечься от свойства материи сохранять полученное движение. Опираясь на физическое содержание понятий действия силы, учащиеся с полной наглядностью утверждают в важнейшем представлении, что действие силы всегда требует наличия по крайней мере двух тел, передачей движения между которыми исчерпывается содержание действия силы.

Эта сумма физических представлений является достаточной подготовкой для установления зависимости, выраженной формулой.

## Равномерное движение по окружности

Мы подходим к основной теме работы, которая, само собой, разрешается предшествующим изложением отдельных видов равнопеременных движений, так как и это движение, как возникающее от действия постоянной силы, ничем существенным не должно отличаться от предшествующих.

Шар, движущийся с определенной скоростью, можно заставить двигаться по окружности, если подвергнуть его действию непрерывных и одинаковых ударов, всегда направленных под прямым углом к скорости движения. В непрерывно следующих друг за другом одинаковых ударах легко подразумевать постоянную по величине силу, непрерывно меняющуюся по направлению. Следовательно, если проследить движение в течение такого маленького промежутка времени, когда силу можно считать в пределах этого промежутка постоянной и по направлению, ясно, что и тело, равномерно движущееся по окружности в течение взятых промежутков времени, одновременно находится в двух движениях: в равномерно-ускоренном, направленном к центру окружности, и в движении по инерции, направленном по касательной. В этом отношении движение по окружности окажется более простым, так как картина, выявленная за

данный малый промежуток времени, в точности будет повторяться при переходе к следующим. Суммирование результатов этих движений должно выявить: что 1) направление движения будет непрерывно меняться, и притом равномерно, вследствие одинаковых значений силы, действующей в течение каждого промежутка, поэтому траектория движения будет характеризоваться одинаковой кривизной, каковой является окружность, и 2) при изменении направления величина скорости не будет меняться.

Последнее положение является весьма существенным для понимания кругового движения и требует убедительной проработки. Конечно, последним доводом, утверждающим в этом важнейшем положении, является то, что сила, направленная к центру, дает на направление скорости нулевую проекцию в течение взятого промежутка, следовательно, сила не сможет изменить величину скорости, направленной по касательной.

Важнейшим моментом методической проработки кругового движения является также следующее обстоятельство: равномерным движением по касательной за данный малый промежуток времени тело отдаляется от центра, ускоренным же движением оно приближается к центру. То обстоятельство, что тело все время остается на одном и том же расстоянии от центра, указывает на то, что при равномерном движении по окружности должна существовать определенная зависимость между скоростью  $V$ , определяющей отдаление от центра, и ускорением « $a$ », определяющим приближение к центру.

Вопрос этот, являющийся основным при изложении кругового движения, просто и понятно разрешится, если расстояние, на которое отдалилось тело от окружности равномерным движением по окружности ( $\frac{V^2 t^2}{2R}$ ), приравнять к расстоянию, пройденному за то же время ускоренным движением, направленным к центру  $\frac{at^2}{2}$ . Эта зависимость выражается уравнением  $V^2 = aR$ .

Значение этой зависимости усугубляется также обстоятельством, связанным с вычислением ускорения, которым обладает тело, движущееся по окружности, вследствие ускоренного движения к центру под действием силы.

В прямолинейном ускоренном движении ускорение, как известно, можно определить по пройденному пути за данный промежуток времени по формуле  $S = \frac{at^2}{2}$ . В круговом же движении этот способ определения ускорения делается неприменимым, так как нельзя фиксировать пройденное расстояние при ускоренном движении, приближающем к центру: оно тотчас же компенсируется движением по касательной, отделяющим его от центра.

Эта важнейшая для кругового движения задача определения ускорения просто разрешается из полученной формулы  $V^2 = aR$   $a = \frac{V^2}{R}$ .

Из нее же получается другая, не менее важная формула  $V = \sqrt{aR}$ , определяющая ту горизонтальную скорость, которую нужно сообщить искусственному спутнику Земли, чтобы он совершил круговое движение вокруг Земли, на расстояние  $R$  (от центра Земли).

Проработка последнего движения выявляет полное физическое подобие его с ранее разобранными движениями как с точки зрения кинематики, так и динамики. Как и в других движениях, на тело, движущееся по окружности, действует ускоряющая сила, в данном случае направленная к центру. Во всех движениях формулой ускоряющей силы является  $F = ma$ , где « $a$ » есть ускорение, вызванное силой и по второму закону Ньютона всегда направленное по направлению силы; оно в круговом движении вычисляется особо по формуле  $a = \frac{V^2}{R}$ .

### Система отсчета. Вопрос о неинерциальной системе отсчета

При изложении механики в учебниках средней школы с самого же начала формируется представление об относительности движения, но нужно отметить, что этим упоминанием и ограничивается изложение механических движений. В дальнейшем мы не находим, чтобы это представление было доведено до понятия системы отсчета. Не формируется даже представление о той инерциальной системе, которой, в сущности, придерживаются в средней школе. Безусловно, нужно вскрыть абсурдность рассмотрения движений вне системы отсчета. Всякая нечеткая постановка вопроса о системе отсчета невольно будет культивировать у учащегося идею абсолютности движения, не говоря уже о том, что без учета системы отсчета нельзя дать физической трактовки важнейших понятий кинематики и динамики. К числу таких понятий, весьма важных для средней школы, относится понятие центробежной силы.

Это завуалирование системы отсчета, доходящее до того, что многие вопросы и задачи на круговое движение разрешались при помощи представлений неинерциальной системы без акцентирования последней, многими авторами считается причиной неудовлетворительного изложения криволинейных движений в курсе средней школы. Из вышеизложенного вытекает необходимость дать учащимся основные представления об инерциальной системе отсчета, чего можно достигнуть только путем сопоставления последней с другой возможной и вместе с тем радикально отличающейся системой, каковой является система неинерциальная.

Но, с другой стороны, нельзя ограничиваться упоминанием о неинерциальной системе только для отгенирования понятия о инерциальной системе, которой, в основном, пользуемся в средней школе. В диссертации подробно обосновывается необходимость введения точки зрения неинерциальной системы в курс средней школы следующими соображениями:

1. Формирование представления о неинерциальной системе является

необходимым условием для утверждения в представлениях, связанных с той же самой инерциальной системой отсчета, которой пользуемся в курсе средней школы.

2. Сама жизнь ставит вопрос о необходимости введения названной системы в курс средней школы. Достаточно указать, что при современном развитии транспорта, широко обслуживающего все большую и большую массу населения, очень часто мы становимся непосредственными наблюдателями именно с этой системы, движущейся ускоренно (неинерциальной). Задача среднего образования не была бы разрешена, если в хаос наблюдаемых непривычных фактов не внести определенную закономерность.

3. Многие вопросы (задачи) очень легко решаются именно в системе неинерциальной, что объясняется только тем, что у учащихся имеется достаточная сумма наблюдений, делающих наглядным и понятным ход рассуждений, разрешающих задачу в указанной системе.

Именно этим можно объяснить то обстоятельство, что эта система стихийно ворвалась в среднюю школу. Достаточно просмотреть учебники и задачки недавнего времени, где задачи и вопросы решались при помощи понятия центробежной силы, которую прикладывали к телу, и это происходило без акцентирования системы отсчета.

4. В силу относительности движения, каждый из нас еще с раннего детства, от собственных ли движений или от движений других тел, воспринимает хаос относительных кажущихся движений. Дерево то неподвижно, то равномерным или ускоренным движением приближается или удаляется от нас; но этот хаос постепенно сменяется определенностью, приводящей к четкой ориентировке. Ясно, что эта ориентировка наступает в результате непрерывных сопоставлений наблюдаемых относительных движений и интуитивного нахождения единства в картинах движений, наблюдаемых с разных систем отсчета.

Со всей очевидностью выявляется роль сопоставления кажущихся (относительных) движений в деле формирования углубленных представлений об истинном характере движения тел.

Если ограничиться той ориентировкой в механических движениях, какая дается в средней школе, придерживаясь одной инерциальной системы отсчета, движение космического корабля с находящимся в нем космонавтом, которым живо интересуется наша молодежь, возможно было бы описать только следующим образом: оба они одинаково движутся по окружности. Это движение осуществлено весом (следовательно, движение представляет собой падение их на Землю) при наличии точно рассчитанной начальной горизонтальной скорости ( $V$ ), удовлетворяющей условию  $V^2 = aR$ , где « $a$ » есть ускорение веса у орбиты, а « $R$ » — радиус орбиты. Это ускорение « $a$ » оба тела имеют вследствие своего веса. Вес целиком тратится на работу увеличения скорости, и космонавт не может давить на кресло, на котором он, возможно, принял сидячее положение. Этим исчерпываются все представления о движении у на-

блюдателя с Земли (инерциальная система отсчета), которые может понять учащийся нашей средней школы. Но он может понять (и принять к сведению) и наше добавление, что с какой силой (весом) Земля действует на космонавта, с той же самой силой по третьему закону Ньютона космонавт будет действовать на Землю, в направлении обратном. Следовательно, и ускоряющее тело (Земля) движется к космонавту, но с невероятно меньшим ускорением. Это наше добавление, конечно, не лишено интереса, но едва ли этот самый ученик, поглощенный мыслью о силах, действующих на космический корабль и космонавта, отвлечется осторожным вопросом относительно движения Земли. А между тем, эта сила, с которой космонавт (тело, движущееся по окружности) действует на Землю, является той центробежной силой, которую изучают учащиеся при проработке равномерного движения по окружности под названием «центробежной силы, приложенной к связи».

В научно-популярной литературе же это космическое движение описывается совершенно иначе. Во-первых, там находим весьма интересное описание движений космонавта относительно корабля, уже непонятное для нашего ученика, так как оно является описанием движения в неинерциальной системе отсчета, о которой совершенно не упоминается в средней школе. Говорится о центробежной силе, ничего общего не имеющей с той центробежной силой, которая штудируется в средней школе. Разумеется, все это будет непонятно окончившему среднюю школу, вследствие чего он лишен возможности почувствовать внутреннюю радость осознания достижений отечественной техники.

Это обстоятельство, вызванное ограничением единой точки зрения при изучении механических движений, «...не может не затруднить для учащихся усвоение динамики кругового движения и приводит к резкому разрыву между тем, что дается в школе и что заполняет научную и научно-популярную литературу» (Отзыв на брошюру С. С. Тотибадзе «Кинематика и динамика вращательного движения в курсе физики средней школы» доц. С. И. Иванова).

Ясно, что вопрос о приобщении учащихся к этой новой системе отсчета не может решиться только доводами в пользу ее введения. Вопрос решится, если будет нащупана понятная методика его формирования.

Легко установить, что формирование тех элементарных представлений об этой системе, которые были вполне достаточны для средней школы, можно построить на привычных и наглядных наблюдениях самих учащихся.

В диссертационной работе очерчен тот объем наблюдений и понятных для учащихся опытов, которые, по мнению автора, не оставляют сомнений в возможности постановки вопроса приобщения учащихся средней школы к точке зрения неинерциальной системы отсчета. Они заключаются в следующем:

## Наблюдения, иллюстрирующие инерциальную систему отсчета

В качестве системы отсчета наметим: 1) неподвижный вагон или землю; 2) вагон, движущийся равномерно и прямолинейно с определенной скоростью; 3) такой же равномерно движущийся вагон, но с отличной от первой скоростью. Наблюдателя, воспринимающего движение в этой системе, представим внутри вагона и ограниченного этой системой отсчета.

**Наблюдение:** 1. Шаровое тело с полированной поверхностью наблюдатель кладет на гладкий стол. Шар находится в состоянии покоя (для наблюдателя). Такой эффект наблюдается во всех вагонах, отличающихся скоростью движения.

Заключение в результате наблюдений и объяснение их.

2. Подействуем силой. Например, направим на шар струю воздуха. Пока напор струи действует на шар, он будет двигаться ускоренно. По прекращении действия шар будет в дальнейшем двигаться по инерции с той скоростью, которую имел в момент прекращения действия. Это будет наблюдаться одинаково во всех взятых вагонах.

3. Так же одинаково будет наблюдаться падение на пол шара, когда наблюдатель выпустит его из рук.

В инерциальной системе отсчета имеет место закон инерции и другие законы Ньютона. Все законы сформулированы Ньютоном в инерциальной системе отсчета.

Попутно учащиеся могла бы прийти к весьма важному заключению: никакими наблюдениями за механическими процессами, происходящими в вагоне, нельзя обнаружить прямолинейное равномерное движение последнего.

## Наблюдения, иллюстрирующие неинерциальную систему

В качестве такой системы наметим вагоны, движущиеся прямолинейно с постоянными, но отличными друг от друга ускорениями.

**Наблюдение:** 1. Наблюдатель, находящийся в ускоренно движущемся вагоне, кладет шар на стол. Шар отстает от вагона. Он движется ускоренно. Этот же наблюдатель видит, что багаж, лежащий на полках, соскальзывает с полок, если он не привязан к ним или не удерживается бортом полки. Ему самому приходится цепляться за предметы, связанные с вагоном, чтобы удержаться от этого потока ускоренных движений.

Каждого из упомянутых наблюдателей, в том числе и последнего, мы представляем ограниченными своей системой отсчета. Он так объяснит наблюдаемое: на

Объяснения наблюдателя, связанного с ускоренным вагоном.

Объяснения наблюдателя, связанного с землей.

всякое тело действует сила, равная массе тела, умноженной на определенное постоянное ускорение  $"a"$  ( $ma$ ), и если эту силу не уравновесит другой силой, например, сопротивлением борта полки или натяжением веревки, тело будет двигаться с ускорением в определенном направлении. Наравне с другими силами, действующими на тело, нужно учесть и эту силу, приложенную ко всем телам и не вызванную, по видимому, действием других тел.

Представим наблюдателя, находящегося на земле и ограниченного этой системой отсчета. Он объяснит так: когда шар находился в руке наблюдателя, он был связан с ускоренным вагоном. Положенный на стол, шар потерял связь с вагоном (трение отсутствует). Поэтому он сохраняет по свойству инерции ту скорость, которую имел в момент потери связи с вагоном и, конечно, отстает от ускоренно удаляющегося вагона, продолжая равномерное движение с последней скоростью.

Как видим, объяснение наблюдателями одного и того же явления различно. Причем важно отметить, что объяснение одного совершенно непонятно другому. Наблюдатель с земли не может даже предполагать наличие какой-либо силы, действующей на шар, кроме силы, вызванной действием каких-либо других тел, второй же наблюдатель замечает другое. При движении на поворотах он чувствует эту силу, она отбрасывала бы его по радиусу от центра, если бы не было уравновешивающей силы.

## Объяснение наблюдателя, имеющего возможность наблюдать за шаром с обеих систем отсчета

Объяснения каждого из этих наблюдателей понятны. Ускорение шара, которое видит наблюдатель в ускоренном вагоне, возникает от инерции тел, следовательно оно является понятным следствием законов Ньютона. При применении этих законов наблюдатель в ускоренном вагоне не учитывает и эту силу наравне с другими силами. Когда тело в ускоренной системе находится в равновесии, это значит, что существует другая сила, вызванная действием какого-нибудь тела, которая уравновешивает эту силу (силу инерции). Для космонавта, находящегося в ускоренной системе, силой инерции будет являться сила, направленная против ускорения системы (ускорения центростремительного), которая будет равна по величине  $\frac{mv^2}{R}$ , где  $\frac{v^2}{R}$  есть ускорение Земли ( $R$  — радиус орбиты). Она уравновешена силой веса (центростремительной силой).

Отсюда понятна невесомость космонавта и самого корабля с точки зрения неинерциальной системы отсчета.

Мы привели здесь объем представлений для формирования точки зрения неинерциальной системы отсчета. Как видим, формирование представлений об этой системе отсчета вытекает из весьма наглядных и привычных наблюдений самих учащихся. Этот же объем наблюдений необходим и для утверждения учащихся в той системе отсчета (инерциальной), которая применяется в средней школе.

Многие авторы считают непосильной умственной нагрузкой приобщение учащихся к точке зрения новой для них системы отсчета и не учитывают того, насколько физика в школе отстала от уровня сегодняшней научной и научно-популярной литературы, по крайней мере в том секторе, который относится к закономерностям механических процессов.

Связь школы с жизнью, являющаяся руководящим принципом нашей школы, требует изжития, во-первых, формализма в преподавании, существенным проявлением которого является неясное понимание изучаемого материала, и, во-вторых, расширения умственного кругозора учащихся, в нашем случае, от ограниченного кругозора первых двух наблюдателей, о которых говорили выше, до широты третьего наблюдателя.