3. Равномерное прямолинейное движение

Этой теме также посвящено несколько занятий. В них опираемся на знания и умения, приобретённые на занятиях по темам **Линейные измерения, измерение отрезков времени**.

3.1. Теоретическое введение

Объясняем, что изо всех простейших природных объектов и процессов, изучаемых физикой, самыми простыми являются объекты, участвующие в механическом движении. Понятно ли словосочетание *механическое движение*? Оказывается – не очень. Пользуемся знакомыми по жизни картинками, чтобы различить механическое и немеханическое движение. Когда ученик вприпрыжку идёт по улице, то описать все его движения довольно сложно, особенно, если он ещё гонит перед собой пустую банку из-под пива. Но если мы наблюдаем со стороны, как ученик спокойно движется вместе с эскалатором, то особенности самого ученика становятся неважными. Скорее здесь проявляются свойства механизма, эскалатора.

На этом примере вводим понятие о механических моделях. Если мы наблюдаем со стороны, как ученик спокойно движется вместе с эскалатором, то такие характеристики ученика, как рост, вес, цвет волос, становятся неважными. Мы можем следить за любой точкой на корпусе человека. Если человек не вертится, то нам всё равно, за какой точкой следить. И особенности движения легче описать не на бытовом русском языке, а на языке механической модели. Говорим – ученик движется вместе с эскалатором – а представляем себе единственную движущую точку. Этой точке приписываем единственное механическое свойство – двигаться с постоянной скоростью, пока ступени эскалатора движутся по прямой.

Сразу обращаем внимание на ограниченность модели. Она очевидна, если ученик наблюдает сам себя. Тогда он заметит и дрожание эскалатора, и собственное дыхание, и многие другие особенности.

Но механическая модель не только бедна. Это её отрицательное свойство. Есть и положительное свойство – её общность. Мы можем заметить многочисленные жизненные примеры таких же тупых механических движений. Поезд на прямом участке пути, самолёт в небе. Все они могут быть описаны моделью точки, движущейся с постоянной скоростью.

Таким образом, приходим к выводу, что через механические модели можно связать реальный мир (самолёт, поезд, эскалатор) с миром физической абстракции – точка, которой нет в природе; равномерное прямолинейное движение, которого тоже нет в природе. В мире абстракций значительно легче что-то сообразить, решить какую-то задачу. А главное – выполнить прогноз, предсказать особенности движения точки в будущем, опираясь на знания о её движении в прошлом. Сразу видим, что прогноз всегда касается модели, а не реальной действительности, и носит абстрактный характер.

Как же перейти от абстрактного прогноза к реальной действительности, как в ней сориентироваться? Очень просто. Надо сделать не только прогноз, но и оценить его погрешность. Если прогноз сделан правильно, то он оправдается в пределах предсказанной погрешности. Если же контрольный опыт покажет, что прогноз не оправдался, то либо модель не верна, либо предыдущее движение неверно описано, либо погрешность неверно определена, либо изменились условия по сравнению с начальными.

А зачем делать контрольный опыт? Опрос показывает, что учащиеся это понимают на основе опыта изучения природы погрешностей. Раз мы собираем информацию вместе с дезинформацией, то прогноз может врать. Надо на каких-то примерах убедиться, что он не врёт больше, чем допускает его погрешность. Тогда можно таким прогнозом пользоваться на практике. Тогда физик сможет заработать, выполняя прогноз на заказ.

3.2. О решении задач по механике

Сразу предупреждаем учащихся – в задачнике будут приведены задачи, сформулированные не для реальной действительности, а для моделей. Ответы к этим задачам носят абстрактный характер. Следовательно, ими нельзя пользоваться при решении настоящих технических, прикладных задач. Мы на занятиях будем решать другие задачи – прикладные, связанные с реальной действительностью. Каждая такая задача решается в два этапа. На первом этапе получаем абстрактное решение, как и при решении школьной задачи. На втором этапе находим и анализируем погрешности решения. Тогда соображаем, как можно воспользоваться решением задачи на практике.

Таким образом, надо научиться решать задачи школьного типа. Домашние задания будут проверяться в этой манере. Но если кто-то не только в классе, но и дома будет решать задачу с вычислением погрешности, то такой решение будет оцениваться значительно выше.

Весь остальной материал по данной теме является иллюстрацией положений, высказанных выше.

Вводим понятие координатной оси для одномерного движения. Вводим понятие скорости и даём формулу пути в равномерном прямолинейном движении

$s = v * t.$ (3 - 1)

3.2.1. Задача – прогноз простого события

Из окна мы видим участок железной дороги. Видим небольшой открытый участок длиной s_1, далее вид на пути закрыт домом, длина которого s_2. На открытом участке появляется нос медленно движущегося поезда. С помощью секундомера засекаем время t_1, за которое поезд проходит участок s_1. Пытаемся предсказать, сколько времени t_2 потратит поезд, прежде чем снова появится на виду, показавшись из-за дома, закрывающего участок пути.

Ясно, что на первом участке мы изучаем движение поезда, собираем информацию. Определяем единственную характеристику движения - скорость

$v = s_1 / t_1.$

На втором участке мы прогнозируем время

$t_2 = s_2 / v.$

Школьная часть задачи решена. Остаётся вычислить конкретные значения величин. Для этого задаёмся величинами, которые можем на практике измерить. Смотрим в окно и соображаем: если бы нам было не лень пойти и измерить рулеткой расстояния, то у нас могло бы получиться, например,

$s_1 = 50 \pm 0{,}01$ м. (Нашу 5м рулетку пришлось бы приложить 10 раз. $\Delta s_1 = 10 * 0{,}001$ м).

$s_2 = 100 \pm 0{,}02$ м.

Время t_1 и для проверки прогноза время t_2 мы могли бы измерять секундомером прямо из класса, глядя из окна. Наш секундомер имеет точность 0,2 с.

Пусть получилось

$t_1 = 50 \pm 0{,}2$ с.

Тогда

$v = 1$ м/с. Это школьная абстракция.

Определяем погрешность скорости

$E = \Delta v / v = \Delta s_1 / s_1 + \Delta t_1 / t_1 = 0{,}0002 + 0{,}004 = 0{,}004$. Видно, что s_1 мы измеряли излишне точно.

$t_2 = 100 / 1 = 100$ с. Это тоже школьная абстракция. Что мы можем ожидать на самом деле?

Находим $E = \Delta s_2 / s_2 + \Delta v / v = 0{,}0002 + 0{,}004 = 0{,}004$; $\Delta t_2 = E * t_2 = 0{,}004 * 100 = 0{,}4$ с.

Отсюда видно, что при сохранении условий движения мы с большой точностью прогнозируем события. Если же в контрольном замере времени мы получим значение времени на полсекунды больше, мы уже сможем очень уверенно утверждать, что мы заметили небольшое замедление поезда при его приближении к близкой к заводу Серп и Молот станции**. Вот что такое – прикладная задача в 7 классе!**

Даём домашнее задание. Прорешать за две-три недели качественные и количественные задачи из задачника Лукашика на тему *Механическое движение*.

На следующем занятии подробно показываем решение известной исторической задачи.

3.2.2. Задача о Путнике и Старике.

1. Физическая ситуация излагается в форме древней притчи.

Близ прямой дороги под деревом дремал, скрываясь от полуденного солнца, Старик. Мимо проходил Путник. Он вежливо обратился к Старику:

- Я знаю, что эта дорого ведёт в город А. Сколько времени мне потребуется, чтобы туда дойти?

Старик открыл глаза и сказал:

- Иди.

Путник немного обиделся и пошел, не сказав невежливого слова. Когда Путник прошел несколько десятков шагов, Старик ему крикнул:

- Дойдешь через три часа.

Путник немного больше обиделся и не очень вежливо спросил:

- Чего же ты сразу не сказал?

- Так откуда я знал, как быстро ты идёшь?

2. Ставим и решаем в этой ситуации обычную школьную учебную задачу.

Старик находится в пункте С. Расстояние до пункта А ему, бывшему легионеру, хорошо известно. Это 9000 шагов или 9 римских миль. Какую скорость Старик определил у Путника, если предсказал, что Путник дойдет в А за 3 часа?

Решение: $v = 3$ мили/час.

3. Качественно описываем возникшую дополнительно нефизическую ситуацию.

В городских воротах города А произошло ограбление и убийство. Стражник отлучился не минутку попить кофе, а когда вернулся на пост, то увидел убитого купца и быстро удаляющегося Чужеземца. Стражник машинально взглянул на солнечные часы и заметил время 2 часа 30 минут пополудни. Когда подозрительного Чужеземца задержали и привели в суд, то судья объяснил стражнику, что одного свидетеля недостаточно для обвинения задержанного. Надо найти второго свидетеля. Гонцы поискали возможных свидетелей и, в конце концов, вышли на Старика и на его информацию о Путнике. По описанию Старика Путник очень похож на задержанного Чужеземца. Может ли суд полагаться на Старика как на косвенного свидетеля и считать, что Путник мог ко времени 2 часа 30 минут пополудни прибыть к месту преступления от пункта С, где он был замечен точно в полдень?

4. Пытаемся решить возникшую нефизическую проблему.

Как школьные физики-эксперты подсказываем суду, что не стоит устраивать очную ставку между стариком и задержанным Чужеземцем. Если даже Старик опознает в Чужеземце Путника, то суд зря растратит народные деньги на организацию опознания. Ведь у Путника железное алиби: он должен был прибыть в А в 3 часа пополудни, а преступление было совершено в 2 часа 30 минут пополудни. Путнику было никак не успеть к моменту совершения преступления. Если выяснится на очной ставке, что Путник и задержанный по подозрению Чужеземец одно и то же лицо, то это будет значить, что задержали не того Чужеземца. Надо искать в городе другого.

5. Видим, чего нам не хватает в физическом решении для решения нефизической проблемы.

Совет, данный суду, пока соответствует квалификации таких экспертов, которые умеют решать только учебные физические задачи. Такая квалификация и такой совет немногого стоят, ибо по скудности физической информации можно допустить крупную ошибку в решении юридической проблемы. Нам не хватает оценки точности решения физической задачи. Если сравнивать моменты времени в виде интервалов, то логический вывод может быть совсем другим.

6. Оцениваем погрешности физического ответа.

Старик прогнозировал время прибытия Путника в А по формуле $t = s/v$. При этом он мог допустить ошибку

$$\Delta t = t(\Delta s/s + \Delta v/v) .$$

Будем считать, что бывший легионер Старик знает расстояние до А с точностью до шага. Тогда относительной ошибкой расстояния можно пренебречь. Теперь всё зависит от относительной ошибки оценки скорости. Старик оценивал скорость по формуле $v = x/t_x$, где x – расстояние, пройденное Путником за время t_x от момента подачи команда “Иди” до момента, когда Старик вычислил скорость. Относительная ошибка оценки скорости имеет вид

$$\Delta v/v = \Delta x/x + \Delta t_x/t_x .$$

Скорее всего, Старик измеряет x в шагах и считает длину шага стандартной, как у легионеров, идущих колонной. А величину t_x он оценивает по внутреннему метроному, поскольку привык ходить строем под барабан. Но ведь у Путника может быть нестандартный шаг, а внутренний ритмический слух не может быть абсолютным. Как мы можем оценить обе относительные ошибки в последней формуле? Надо выполнить специальное исследование.

Просим маленькую группу учащихся пройти вдоль школьного коридора и заметить, сколько шагов затратит каждый из трех учащихся одного роста. Группа исследователей показала результаты: 61, 64 и 62 шага. Ясно, что относительная вариация числа шагов равна относительной погрешности в определении расстояния. Видно, что это 1/60 = 0,02.

Просим одного исследователя три раза подряд спеть в уме один и тот же музыкальный отрывок, отмечая по секундомеру время продолжительности отрывка. Получилось: 6,0 6,2 6,0 с. Видно, что относительная ошибка определения продолжительности отрезка времени на слух составляет тоже 0,02.

Кстати, здесь видны замечательные свойства относительной погрешности. Нам неважно, какой именно был шаг у Путника и в каких ритмических долях считал время Старик. Ясно, что нестандартность шага у подростка не может сильно отличаться от этой характеристики у Путника, а точность ритмического слуха вряд ли изменилась у человека за 2000 лет.

Получаем оценку погрешности времени Δt = 3*2*0,02 = 0,12 часа. Потребуем надежности прогноза 95 %. Нам придется умножить оценку погрешности на 3. Получим 0,36 часа или 20 мин.

Теперь учтем, что стражник не мог по солнечным часам определить положение тени лучше, чем с ошибкой в 1°. А это соответствует 5 мин. Старик определял время разговора с Путником с такой же точностью. Итого, ошибка определения времени между двумя событиями составляет 10 мин.

7. Решаем нефизическую проблему с учетом погрешности физического ответа.

Теперь у нас решена прикладная физическая задача. Старик прогнозирует, что Путник придет в А через 3 часа ± 20 мин. Преступление совершено с момента выхода Путника из пункта С через 2 часа 30 мин ± 10 мин. Мы видим, что интервалы времени перекрываются (соприкасаются). Значит, ни о каком алиби не может быть и речи. Как отнесется суд к этому перекрыванию интервалов времени и к надёжности нашей экспертизы, это уже не наше экспертов дело, но мы теперь выдали всю информацию, которая соответствует нашей квалификации. Будьте добры заплатить нам за работу золотыми монетами!

При обсуждении этой задачи выясняем у учащихся, понимают ли они, что две физические задачи - 3.2.1 и 3.2.2 - совершенно одинаковы? Да, понимают. Разница чисто количественная. В первой задаче прогноз отстоит от этапа изучения движения недалеко, поэтому точность прогноза очень велика. Во второй задаче изучаем движение на малом отрезке времени, а прогнозируем события на далёкое будущее. Никто и не удивляется, что прогноз даётся с большой погрешностью.

3.2.3. Задача о встрече.

Это очень распространённая и важная задача. Поэтому предварительно рассказываем всю частную теорию. Для рассказа требуется показать схему координатной оси и ввести такие величины, как начальная координата x_{01} точки 1 и начальная координата x_{02} точки 2. Рисуем положения двух точек на оси x и договариваемся, что $v_1 < v_2$. Далее дети сами прогнозируют, что точка 1 обязательно догонит точку 2. Это событие мы и назовём *встречей*.

Рисуем теперь графики движения точек в осях $t - x$. Детям понятно, что графики изображаются прямыми линиями. Несколько менее понятно, что те же самые движения можно изобразить формулами

$x_1 = x_{01} + v_1 * t,$

$x_2 = x_{02} + v_2 * t.$

Это приходится довольно долго объяснять. Но зато на графике хорошо видно, что существует единственный момент времени $t_в$, когда обе точки имеют одну и ту же координату $x_в$. Математически этот факт можно записать так

$x_1 = x_в$ и $x_2 = x_в$, иначе

$x_{01} + v_1 * t_в = x_{02} + v_2 * t_в$.

Получается одно уравнение с одним неизвестным, откуда и может быть найден момент встречи $t_в$.

$t_в = (x_{02} - x_{01}) / (v_1 - v_2).$

Анализ этой формулы откладываем на некоторое время, а сейчас ставим конкретную задачу с такими исходными данными.

Текст задачи. По ровному прямому шоссе мы едем на Москвиче. На спидометре видна наша скорость v_1 = 60 км/ч. Впереди мы видим Запорожец. Он едет в том же направлении, что и мы. Связываемся по мобильному телефону со знакомым дорожным инспектором и просим его измерить с помощью радара, какая скорость у Запорожца. Он любезно сообщает, что $v_2 = 45$ км/ч. В этот момент замечаем, что мы проезжаем мимо километрового столба, а Запорожец нами замечен как раз около столба, который на 2 км дальше по шоссе. Когда и где мы догоним Запорожец?

У нас получились конкретные исходные данные

$x_{01} = 0$;

$x_{02} = 2$ км;

$v_1 = 60$ км/ч;

$v_2 = 45$ км/ч.

Получаем $t_в = 2 / 15 = 0{,}13$ часа = 8 мин.

До места встречи нам надо проехать $x_в = v_1 * t_в = 60$ км/ч * 0,13 часа = 8 км.

Насколько точен наш прогноз? Выводим формулы для $\Delta t_в$ и $\Delta x_в$. Учитываем, что и спидометр и радар не могут иметь точность лучше, чем 5 км/ч. Ошибкой определения расстояния можно пренебречь. Тогда получится $\Delta t_в = 2{,}6$ мин; $\Delta x_в = 1$ км. Точность не ахти какая. Анализ показывает, что виновата малая разность скоростей. Вот если бы мы ехали на Мерседесе и догоняли Тойоту, то прогноз был бы вполне приличным.