**План работы для учащегося**

|  |  |
| --- | --- |
| **Предмет** | Физика |
| **Ф.И.О. учителя** | Нам Эльза Маршаковна, СЛ№165 |
| **Учебник** | учеб. для 10 кл. естественно-математического направ-  ления общеобразоват. шк. / Н.А. Закирова, Р.Р. Аширов. – Нур- Султан: Издательство «Арман-ПВ», 2019. – 336 с. |
| **Урок № 6,7 , тема урока** | Кинематика криволинейного движения. Учебник: §5, Стр 26 |
| **Цели обучения** | 10.2.1.5- определять радиус кривизны траектории, тангециальное, центростремительное, полное ускорения |
|  |  |
| **Изучи** | [2.6. Ускорение при криволинейном движении - Физические ...](https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/data/lecture/2/p6.html) [online.mephi.ru › osnovi\_mehaniki › data › lecture](https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/data/lecture/2/p6.html)  Ускорение при криволинейном движении  Представим себе материальную точку, движущуюся по некоторой криволинейной траектории https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/1.png. Запишем скорость в виде  https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/t2.png  и заметим, что вектор  https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/t3.png  — это единичный вектор, касательный к траектории и совпадающий по направлению с вектором скорости. Продифференцируем вектор скорости, записанный в данном представлении, и получим  https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/t4.png  Мы представили ускорение в виде двух слагаемых. Заметим прежде всего, что слагаемые ортогональны друг другу. Действительно, поскольку вектор https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/t5.png — единичный, то  https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/t6.png  Дифференцируя это скалярное произведение, получаем  https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/2.png  то есть  https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/t8.png  по свойству скалярного произведения.  Таким образом, мы разложили ускорение на сумму двух взаимно ортогональных составляющих, обозначем их https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/3.png и https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/4.png:  https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/t9.png  Обсудим физический смысл каждого слагаемого. Слагаемое  https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/t10.png  — это **тангенциальное ускорение**, которое характеризует быстроту изменения модуля скорости. Эта часть полного ускорения https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/5.png направлена либо по скорости, когда производная *dv/dt > 0*, то есть движение ускоренное, либо в сторону противоположную скорости, когда эта производная *dv/dt < 0*, то есть движение замедленное. Если движение равномерное *dv/dt = 0*, то есть скорость, если и меняется, то лишь по направлению, то тангенциальная часть ускорения равна нулю:  https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/t12.png  Слагаемое  https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/t13.png  направлено по нормали к траектории — перпендикулярно касательной к траектории и называется **нормальным ускорением**. Если тангенциальное ускорение определяет скорость, с которой меняется **модуль** вектора скорости, то нормальное ускорение определяет скорость, с которой меняется **направление** вектора скорости.  https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/6.png  *Рис. 2.10. К определению кривизны траектории*  Рассмотрим «достаточно гладкую», в остальном произвольную плоскую криволинейную траекторию. Плоскую, то есть все точки траектории лежат в некоторой плоскости, — исключительно для упрощения выкладок, получаемый в рамках этого предположения, результат годится и для любой «достаточно гладкой» пространственной кривой, чьи точки уложить в одну плоскость невозможно. Последнее обстоятельство мы здесь рассматривать не будем, оно строго доказывается методами аналитической геометрии. Слова «достаточно гладкая» означают, что кривая описывается непрерывной функцией, имеющей непрерывные первую и вторую производные. С точки зрения физических приложений, требование существования непрерывных первых двух производных фактически не является ограничением на форму траектории, так как практически всегда выполнено. Проще говоря, на траектории не должно быть "углов" типа показанного на рисунке 2.11.  https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/7.png  *Рис. 2.11.*  Такую «гладкую» кривую на любом её **бесконечно малом участке** можно заменить (рис. 2.12) участком окружности некоторого радиуса. Радиус этой окружности, аппроксимирующей траекторию на её бесконечно малом участке в окрестности некоторой точки, принято называть **радиусом кривизны траектории** в этой точке. Центр этой окружности принято называть **центром кривизны**траектории в данной точке. **Кривизной траектории** называется величина *C = 1/R*. Подчеркнем, что радиус кривизны, как и центр кривизны траектории — её локальные характеристика: каждой точке траектории соответствует свой радиус кривизны и свой центр кривизны. Исключениями являются: 1) окружность, её радиус кривизны во всех её точках один и тот же и равен радиусу окружности, центр кривизны «один на всех» и совпадает с центром окружности, и 2) прямая, для любой точки прямой радиус кривизны бесконечен, а центр кривизны находится в бесконечно удаленной от прямой точке. Это легко понять: давайте увеличивать радиус окружности, чем больше радиус окружности, тем ближе любой её конечный участок к участку прямой. На равнине, лучше всего на пляже, с высоты человеческого роста до горизонта не более пяти километров, — в этих пределах Земля плоская.  https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/t14.png  *Рис. 2.12. К определению радиуса кривизны траектории*  Вычислим модуль производной https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/8.png, входящей в выражение для нормального ускорения. Направлен вектор https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/9.png по нормали к траектории к центру к центру кривизны, что поясняет рис. 2.13.  https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/t15.png  *Рис. 2.13. Графическое определение радиуса кривизны траектории*  Для этого прежде всего перейдем от дифференцирования по времени к дифференцированию по «пути»: https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/10.png, имеем:  https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/11.png  По определению производная https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/12.png кривизне кривой *C*, а величина ей обратная равна радиусу кривизны кривой *R*. Собирая всё вместе, для нормального ускорения https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/13.png окончательно получаем:  https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/14.png,  где нормаль https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/15.png перпендикулярна к касательной https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/16.png и всегда направлена к центру кривизны, см. рис. 11.  Приведем некоторое дополнительное пояснение к рисунку 11. Возьмем неподалеку от точки *1* точку *2*. Построим в этих точках касательные единичные векторы https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/17.png1 и https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/17.png2. Перпендикуляры к этим касательным пересекутся в некоторой точке *O2*. Заметим, что для кривой, не являющейся окружностью, расстояния *R1* и *R2* будут немного отличаться друг от друга. Если теперь точку *2* приближать к точке *1*, пересечение перпендикуляров *O2* будет перемещаться вдоль прямой *O21* и в пределе окажется в некоторой точке *O1*. Расстояния *R1* и *R2* будут стремиться к общему пределу *R*, равному радиусу кривизны, а точка *O1* и будет центром кривизны для точки *1*. Действительно, окружность радиусом *R* с центром в *0* проходит через точку *1* и касается траектории (так как радиус ортогонален орту https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/17.png1). Кроме того, по построению бесконечно близкая точка *2* также лежит на этой окружности. Таким образом, построенная окружность действительно «сливается» с траекторией в точке *1*.  Итак, в общем случае ускорение имеет две составляющие — **тангенциальную**  https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/t36.png  направленную вдоль касательной и определяющую скорость изменения модуля вектора скорости **нормальную**  https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/t37.png  направленную перпендикулярно скорости к центру кривизны траектории и пропорциональную угловой скорости вращения вектора скорости при движении частицы вдоль криволинейной траектории (рис. 2.14).  https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/t38.png  *Рис. 2.14. Тангенциальное и нормальное ускорения при ускоренном криволинейном движении.*  Действительно https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/18.png, где https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/19.png и есть угловая скорость вращения вектора скорости https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/20.png.  Полное ускорение  https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/t39.png  определяется по правилу параллелограмма. Модуль полного ускорения в соответствии с теоремой [Пифагора](https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/data/biography/descriptions/pythagoras.html) равен  https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/t40.png  Пример криволинейного движения с постоянным ускорением (тело, брошенное под углом к горизонту) приведен на следующем рисунке:  https://online.mephi.ru/courses/physics/osnovi_mehaniki/external/images/2/2.6/23.png |
| **Ответь** | *Вопросы учителя по изученному материалу*  1.Какая составляющая полного ускорения характеризует быстроту изменения модуля линейной скорости?  2.При каком условии траектория тела , движущегося криволинейно, станет прямолинейным?  3.Какую величину называют угловым ускорением ? Как она связана с касательным и полным ускорениями? |
| **Выполни** | 1. упр5 стр29   *примеры решения*  1.Обод радиусом 1 метр катится по горизонтальной поверхности со скоростью 10 м/с. Найти радиус траектории точки поверхности обода при прохождении наивысшего положения.  Дано: https://static-interneturok.cdnvideo.ru/content/konspekt_image/276950/6a0b1e20_70cf_0133_9c8d_12313c0dade2.png; https://static-interneturok.cdnvideo.ru/content/konspekt_image/276951/6ad19440_70cf_0133_9c8e_12313c0dade2.png.  Найти: https://static-interneturok.cdnvideo.ru/content/konspekt_image/276952/6b961800_70cf_0133_9c8f_12313c0dade2.png.  **Решение**    На рисунке изображён обод, который катится по горизонтальной поверхности со скоростью https://static-interneturok.cdnvideo.ru/content/konspekt_image/276954/6d2ac370_70cf_0133_9c91_12313c0dade2.png (см. рис. 10). Точка A – точка касания обода горизонтальной поверхности, точкаB – наивысшая точка в начальный момент времени. Точка A будет перемещаться по траектории, которая обозначена жёлтым цветом, она называется циклоидой. Эта точка вновь коснётся поверхности, пройдя путь, равный длине траектории: https://static-interneturok.cdnvideo.ru/content/konspekt_image/276955/6e2d8b20_70cf_0133_9c92_12313c0dade2.png.  Скорость точки A относительно горизонтальной поверхности при движении обода без проскальзывания равна нулю. Это объясняется тем, что она движется вместе с ободом по горизонтали со скоростью https://static-interneturok.cdnvideo.ru/content/konspekt_image/276954/6d2ac370_70cf_0133_9c91_12313c0dade2.png и относительно центра обода совершает движение по окружности со скоростью https://static-interneturok.cdnvideo.ru/content/konspekt_image/276956/6ef77100_70cf_0133_9c93_12313c0dade2.png. В точке A эти скорости будут противонаправлены: https://static-interneturok.cdnvideo.ru/content/konspekt_image/276957/6fbd18c0_70cf_0133_9c94_12313c0dade2.png. Следовательно, скорость движения по окружности и скорость движения центра обода равны: https://static-interneturok.cdnvideo.ru/content/konspekt_image/276958/70862c60_70cf_0133_9c95_12313c0dade2.png.  Скорости точек в верхней части обода равны: https://static-interneturok.cdnvideo.ru/content/konspekt_image/276959/714e2d90_70cf_0133_9c96_12313c0dade2.png. Эта скорость будет направлена по горизонтали в сторону движения обода.  С центром обода у всех точек, лежащих на её поверхности, связано нормальное ускорение, так как оно направлено перпендикулярно скорости движения точки по окружности в любой момент времени.  Ускорение остаётся неизменным для всех точек поверхности обода, так как при переходе к системе отсчёта, связанной с Землёй, центр обода движется  равномерно: https://static-interneturok.cdnvideo.ru/content/konspekt_image/276960/72152d60_70cf_0133_9c97_12313c0dade2.png.  Тогда для точки https://static-interneturok.cdnvideo.ru/content/konspekt_image/276961/72d9a760_70cf_0133_9c98_12313c0dade2.png получается следующее соотношение: https://static-interneturok.cdnvideo.ru/content/konspekt_image/276962/73d35290_70cf_0133_9c99_12313c0dade2.png, где r – искомый радиус.  https://static-interneturok.cdnvideo.ru/content/konspekt_image/276963/749c5d10_70cf_0133_9c9a_12313c0dade2.png  https://static-interneturok.cdnvideo.ru/content/konspekt_image/276964/75624e40_70cf_0133_9c9b_12313c0dade2.png  https://static-interneturok.cdnvideo.ru/content/konspekt_image/276965/76286ec0_70cf_0133_9c9c_12313c0dade2.png  В этой задаче заданное значение начальной скорости было лишним.  Ответ: https://static-interneturok.cdnvideo.ru/content/konspekt_image/276966/76eb8c10_70cf_0133_9c9d_12313c0dade2.png.  *2.*Тело вращается вокруг стационарной оси по закону фи=10+20t-2t^2. Нужно найти полное ускорение точки, находящейся на расстоянии 10 см от оси вращения в момент времени t=4c.  **Решение**  Полное ускорение – векторная сумма нормального и тангенциального ускорений.  https://zaochnik.ru/uploads/2019/04/02/screenshot_7.jpg  Вспоминаем, что скорость и ускорение можно вычислить через производные, зная закон движения:  https://zaochnik.ru/uploads/2019/04/02/screenshot_8.jpg  Подставляем значение t из условия и вычисляем:  https://zaochnik.ru/uploads/2019/04/02/screenshot_9.jpg   **Ответ:** 1,65 метра в секунду. |
| **Обратная связь с учителем** | *Выполненые задания отправляются на проверку учителю посредством системы «Кунделiк» или любого доступного мессенджера. При отсутствии такой возможности задания выполняются в тетради, фотографируются и отправляются учителю на проверку посредством доступного мессенджера.* |