

Кемеровский Государственный Университет

Кафедра экспериментальной физики

**Движение в поле тяжести Земли
тела, брошенного горизонтально**

*работа по курсу
«Вычислительная физика»*

Выполнил
Студент гр. Ф-043
Иванов И.И

Кемерово 2017

Оглавление

Введение.....	3
1. Литературный обзор.....	3
1.1. Развитие взглядов на движение тел в поле силы тяжести.....	3
2.2. Падение тел в воздухе.....	4
2.3. Движение тела, брошенного горизонтально.....	5

Введение

В данной работе изучается движение тела, брошенного горизонтально, и движущегося под действием силы тяжести с учётом и без учёта силы сопротивления воздуха.

Формулировка задачи: «Построить траекторию движения тела, брошенного горизонтально с начальной скоростью v_0 без учета и с учетом сопротивления воздуха. Что это за кривая? Зависит ли время падения на землю от сопротивления воздуха?».

В первой части данной работы приведен литературный обзор изучаемого вопроса. На основе изучения 6 литературных источников (список литературы - конце текста работы) дан обзор литературы по вопросу движения тела под действием силы тяжести, рассмотрены законы движения, выведены уравнения движения тела, брошенного горизонтально с учетом силы тяжести и силы сопротивления воздуха.

1. Литературный обзор

1.1. Развитие взглядов на движение тел в поле силы тяжести.

Одним из наиболее распространенных примеров равноускоренного движения является движение тела, свободно падающего по вертикали на землю. Тот факт, что все падающие тела ускоряется одинаково, не является очевидным. Опыт показывает, что более тяжелые тела падают быстрее, чем легкие и до эпохи Галилея считалось, что скорость падения пропорциональна тяжести тела.

Галилей применил свой новый научный метод абстрагирования и упрощения, который состоит в попытке представить себе, что произойдет в идеализированных (упрощенных) ситуациях. Для случая свободного падения Галилей постулировал, что при отсутствии воздуха или другой среды с сопротивлением все тела будут падать с одинаковым постоянным ускорением. Он показал, что, согласно этому постулату, расстояние, проходимое телом, падающим из состояния покоя, пропорционально квадрату времени [4,6].

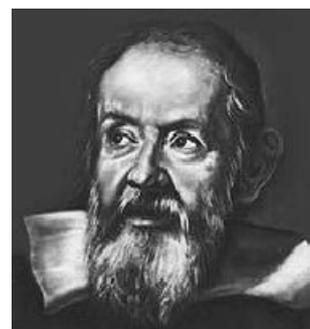


Рис.1 Галилео Галилей

Галилей утверждал, что любые предметы (как тяжелые, так и легкие) падают с одинаковым ускорением, по крайней мере, при отсутствии воздуха. Правда, здравый смысл может подсказать, что древние были ближе к истине. Действительно, держать лист бумаги горизонтально в одной руке, а более тяжелое тело, скажем бейсбольный мяч, в другой и высвободить их одновременно, то более тяжелое тело достигнет земли первым. Но, если

повторить этот эксперимент, но на этот раз смять бумагу в маленький комок, то оба тела достигнут пола почти одновременно.

Галилей был уверен, что воздух действует на очень легкие тела с большой площадью поверхности как особый вид трения. В камере, из которой удален воздух, даже легкие тела, такие, как перо или удерживаемый горизонтально лист бумаги, будут падать с тем же ускорением, что и тяжелые тела. Во времена Галилея подобная демонстрация в вакууме была, разумеется, невозможна, что делает его заслуги еще более выдающимися.

Следовательно, неодновременность падения - следствие влияния среды, а при отсутствии его тяжелые и легкие тела должны падать за одно и то же время, т.е. с одинаковым ускорением.

Во многих случаях сопротивление воздуха оказывает незначительное влияние, и большей частью им можно пренебрегать. Однако, если расстояние, проходимое падающим телом, очень велико, сопротивление воздуха будет оказывать заметное влияние даже на тяжелые предметы.

2.2. Падение тел в воздухе.

При падении в воздухе тело движется под действием двух сил: постоянной силы земного притяжения mg , направленной вертикально вниз, и силы сопротивления воздуха [1] :

$$F_c = -k * V \quad (1)$$

(знак “-“показывает, что сила сопротивления воздуха направлена противоположно скорости). При больших скоростях и в более вязких средах сила сопротивления может быть пропорциональна второй и, даже, третьей степени скорости [2,3]. Равнодействующая силы тяжести и силы сопротивления воздуха равна их векторной сумме. Уравнение движения имеет вид:

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = m \cdot \vec{g} - k \cdot \vec{V} \quad (2) \quad \text{или} \quad m \frac{d^2 y}{dt^2} = -m \cdot g - k \cdot V \quad (3)$$

$$\text{или} \quad \begin{cases} \frac{dy}{dt} = V_y \\ \frac{dV_y}{dt} = -g - \frac{k * V_y}{m} \end{cases} \quad (4)$$

Пока скорость падающего тела еще мала, невелика и сила сопротивления воздуха: но по мере того, как возрастает скорость падения, эта сила быстро растет. При некоторой скорости F_c становится равным mg и дальше тело падает равномерно. Скорость такого падения называют предельной скоростью падения [7].

При постоянной скорости V_y : $\frac{dV_y}{dt} = 0$ и $-g - \frac{k * V_{ypr}}{m} = 0$.

Откуда предельное значение скорости: $V_{ypr} = -\frac{m * g}{k}$

Предельная скорость тем больше, чем сильнее разрежен воздух. Поэтому тело, падающее с очень большой высоты, может в разреженных слоях атмосферы приобрести скорость, большую предельной скорости для нижних (плотных) слоев. Войдя в нижние слои атмосферы, тело снизит свою скорость до значения предельной скорости для нижних слоев.

2.3. Движение тела, брошенного горизонтально.

Рассмотрим движение тела, брошенного горизонтально и движущегося под действием одной только силы тяжести (сопротивлением воздуха пренебрегаем).

Например, представим себе, что шару, лежащему на столе, сообщают толчок и он докатывается до края стола и начинает свободно падать, имея начальную скорость V_0 , направленную горизонтально. Спроектируем движение шара на вертикальную ось и на горизонтальную ось, направленную вдоль начальной скорости тела. Вдоль горизонтальной оси тело движется без ускорения со скоростью V_0 ; движение вдоль вертикальной оси—это свободное падение с ускорением g без начальной скорости под действием силы тяжести.

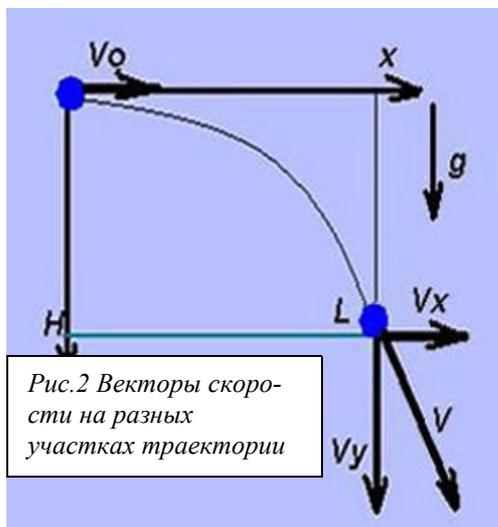


Рис.2 Векторы скорости на разных участках траектории

Горизонтальная составляющая скорости V_x , остается постоянной и равной V_0 . Вертикальная составляющая V_y , растет пропорционально времени: $V_y = -g * t$.

Результирующий вектор скорости будет наклонен вниз (см. рис.), и его наклон будет расти с течением времени [2]. Вектор результирующей скорости легко найти по правилу параллелограмма.

Найдем теперь траекторию движения тела, брошенного горизонтально. Горизонтальная проекция тела, двигаясь с постоянной скоростью V_0 , пройдет к

моменту t путь, равный: $S = V_0 * t$. Путь, пройденный по вертикали, будет равен

$H = \frac{g * t^2}{2}$. Зная S и H можем построить точку, в которой будет находиться тело в момент

t . Величины S и H можно считать абсциссой и ординатой тела в системе координат с началом в точке, откуда шарик начал падать, с осью абсцисс, расположенной горизонтально, и с осью ординат, направленной вертикально вниз. Чтобы найти уравнение траектории

тела, выразим из $S=V_0*t$ промежуток времени и подставим в $H = \frac{g * t^2}{2}$. Получим:

$$H = \frac{g * S^2}{2V_0^2}.$$

Ординаты точек траектории оказываются пропорциональными квадратам абсцисс, то есть кривая является параболой. Таким образом, свободно падающее тело, начальная скорость которого горизонтальна, движется по параболе.

Зная начальную скорость V_0 и высоту падения H , можно найти расстояние по горизонтали до места падения. Действительно, получаем формулу:

$$S = V_0 * \frac{\sqrt{2 * H}}{\sqrt{g}}. \quad (5)$$

Полученные формулы можно было бы применить к падению авиационной бомбы, сброшенной с горизонтально летящего самолета, если бы можно было пренебрегать сопротивлением воздуха.

В момент сбрасывания бомба обладает той же скоростью, что и самолет: поэтому она начинает падать с горизонтальной начальной скоростью, равной скорости самолета. Если бы сопротивления воздуха не было, бомба падала бы по параболе и в течение всего времени падения находилась бы точно под самолетом (если бы последний сохранял свой курс и скорость). В частности, падение бомбы на землю происходило бы как раз под той точкой, где в момент падения находится самолет. Однако пренебрежение сопротивлением воздуха, допустимое для медленно летящего тела, приведет для быстро движущейся бомбы к большим ошибкам: вследствие сопротивления воздуха горизонтальная составляющая скорости бомбы сильно уменьшается, а вертикальная составляющая растет гораздо медленнее, чем при падении в пустоте. Вследствие сопротивления воздуха сброшенная с самолета бомба сразу начинает отставать от самолета и падает далеко позади него. Это уменьшает точность бомбометания. Для этого нужно учесть, что в векторной форме 2-ой закон Ньютона имеет вид:

$$m * \frac{d^2 r}{dt^2} = m * \vec{g} - k * \vec{V} \quad (6)$$

Литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики, том I, Механика, колебания и волны, молекулярная физика. М.:Просвещение, 1980.
2. Движение тела, брошенного горизонтально. http://altnet.ru/~kitnet/www/projects/exec/Trunova_i_Shalaeva/site2.htm (Дата обращения: 14.11.2016).
3. Майер Р.В. Использование ПК В Учебном Эксперименте. <http://maier-ry.glazov.net/> (Дата обращения: 24.11.2016).
4. Бондаренко П.И. Опыты Галилея. http://www.zero-gravity.ru/article/svobodnoe_padenie/ (Дата обращения: 14.11.2016).
5. Пирогова С.В., Ветохина Т.Н. Интегрированный урок: физика + информатика по теме: "Свободное падение. Решение физических задач в Паскале" . http://festival.1september.ru/2005_2006/index.php?numb_artic=313373 (Дата обращения: 15.11.2016).
6. Тарг С.М. Падение тела. <http://bse.sci-lib.com/article086198.html> (Дата обращения: 14.11.2016).