

Рыбаков Александр Борисович

Кандидат физико-математических наук, учитель физики гимназии №144 г. Санкт-Петербурга.

О прыжках в высоту на Луне

В одном журнале для школьных учителей я увидел такую задачу.

Пусть на Земле спортсмен прыгает в высоту на 2 м. На какую высоту он прыгнет на Луне?

Конечно, имеется в виду, что соревнования на Луне проводятся в закрытом помещении, где создана такая же атмосфера, как на Земле. Отличие только с гравитационным полем. Напомним, что его напряжённость (или ускорение свободного падения) на Луне в 6 раз меньше, чем на Земле.

Эта совсем простая на первый взгляд задача оказалась с историей. Разные авторы её уже решали. Вот об этих решениях и поговорим.

Хронологически последний (а в идейном плане – самый наивный) автор упомянутого выше журнала для учителей считает, что здесь и думать-то не о чем. Без каких-либо пояснений он возвещает нам, что на Луне спортсмен прыгнет на высоту $H_{\text{Л}} = 6H_{\text{З}} = 12$ м (индексы Л и З обозначают Луну и Землю соответственно).

На какие не высказанные явно предположения этот автор опирался? Он, по-видимому, считал, что на Зем-

ле и на Луне спортсмен отрывается от опоры с одной и той же скоростью. И, кроме того, автор помнил ответ школьной задачи о высоте подъёма тела, брошенного вертикально вверх со скоростью v :

$$H = \frac{v^2}{2g}. \quad (1)$$

Американский автор весьма авторитетного журнала «В мире науки» согласен с таким предположением, но указывает на необходимость учёта некоторых факторов, которые можно назвать геометрическими [1, стр.168]. Необходимость учёта того, что человек не является материальной точкой. И отталкивается он от опоры в вертикальном положении, а над планкой проходит в горизонтальном.

Потенциальная энергия тела определяется высотой его центра тяжести. Пусть у стоящего человека он находится на высоте h над полом. Для высокорослых людей h составляет около 1,0 – 1,1 м. Чтобы не усложнять слишком вычислений, примем, что эта высота равна 1 м. Тогда вслед за автором [1] второе приближение для высоты прыжка можно записать так:

$$H = 1 + \frac{v^2}{2g}. \quad (2)$$

То есть при преодолении планки на высоте 2 м спортсмен на Земле

подбросил свой центр тяжести только на 1 м. Так что на Луне высота его прыжка составит «всего» 7 м. Согласитесь, что это совсем другой ответ.

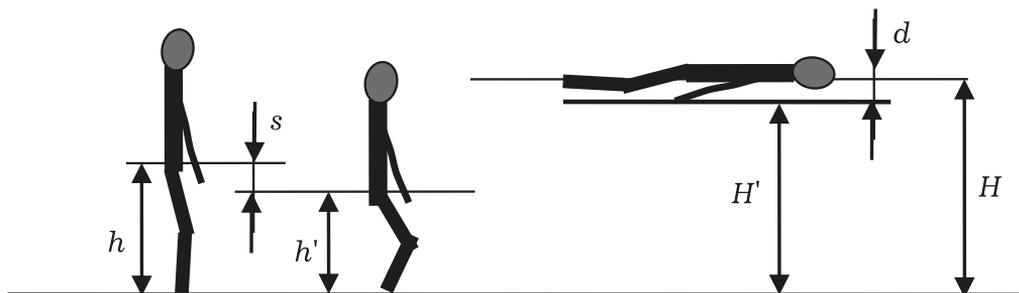


Рис.1. Обозначения, используемые при анализе прыжка: h – высота центра тяжести стоящего спортсмена, h' – то же в приседе, H – то же в верхней точке, H' – высота планки, d – высота центра тяжести спортсмена в верхней точке над планкой

Теперь вернёмся к самому началу. А насколько обосновано предположение о равенстве начальной скорости прыгуна на Земле и на Луне?

Обратимся к замечательному сборнику задач [2], где собраны задачи международных олимпиад. Авторы этой книги сочли, что более адекватным сути дела будет другое предположение.

Встаньте и попробуйте подпрыгнуть повыше. Вы увидите, что человек перед прыжком обязательно приседает. Глубина приседа s является важнейшим элементом техники прыжка.

Авторы [2] предлагают считать, что глубина приседа и сила отталкивания (а следовательно, и совершённая при отталкивании работа) будут одинаковы на Луне и на Земле. Они, конечно же, не знали, что намного раньше их эту задачу при таких же предположениях рассматривал П.В. Маковецкий [3].

Последуем за указанными авторами.

Итак, в начальный момент, перед отталкиванием, в приседе центр тяжести спортсмена находится на высоте $h' = 1 - s$. Примем для оценок, что $s = 0,3$ м. Пусть в верхней точке центр тяжести прыгуна находится на высоте H . То есть, вся набранная при отталкивании на пути s энергия расходуется на работу против сил тяжести на пути $H - h'$.

Запишем условие того, что при прыжках на Земле и на Луне будет израсходована одинаковая энергия:

$$mg_{\text{л}}(H_{\text{л}} - h') = mg_{\text{з}}(H_{\text{з}} - h'), \quad (3)$$

откуда

$$H_{\text{л}} = 6H_{\text{з}} - 5h' = 12 - 5 \cdot 0,7 = 8,5 \text{ м.} \quad (4)$$

Таково следующее (третье) приближение.

Почему рассчитанная в третьем приближении высота прыжка на Луне больше, чем во втором? Потому что на Луне меньше энергии из-



расходуется на преодоление силы тяжести на пути s и соответственно больше будет кинетическая энергия при отрыве от опоры.

На этом авторы [2] и [3] и останавливаются.

Попробуем, не затрагивая пока основных предположений, продвинуться немного дальше. В этих рассуждениях пропущено одно очевидное обстоятельство. До сих пор мы, вслед за указанными авторами, не различали высоту центра тяжести спортсмена в верхней точке и высоту планки.

На соревнованиях же, конечно, фиксируют высоту, на которой расположена планка. Эту высоту мы ниже будем обозначать H' .

А на какой высоте над планкой d находится центр тяжести прыгуна в верхней точке?

Вот на этот вопрос сразу и не ответишь. Ответ зависит от того, как именно расположено тело спортсмена в момент прохода над планкой, т. е. от того, каким стилем он прыгает.

На протяжении XX века на серьёзных соревнованиях последовательно сменяли друг друга такие «большие стили» прыжков в высоту: «ножницы» – «перекидной» – «фосбери-флоп».

Эта эволюция стилей была обусловлена совершенно очевидными физическими причинами: необходимостью проходить над планкой так, чтобы центр тяжести был как можно ниже.

Стиль «ножницы» хорошо знаком каждому по школьным урокам физкультуры. При прыжке «перекидным» спортсмен как бы ложился на планку животом. При этом высота центра тяжести при проходе над планкой (по сравнению с «ножницами») заметно уменьшалась.

В 1968 г. Олимпиаду выиграл американский спортсмен Дик Фосбери, применивший совершенно новый стиль прыжка. В последние десятилетия на соревнованиях высокого уровня все спортсмены прыгают этим стилем, получившим название «фосбери-флоп». При этом спортсмен проходит над планкой спиной, сильно прогибаясь, как бы делая «мостик» над планкой. В литературе можно найти указания, что при этом центр тяжести спортсмена проходит на 20 см ниже планки!



Прыжок стилем «фосбери-флоп»

Итак, нам надо выбрать, каким стилем прыгает «наш» спортсмен. Пусть, например, он прыгает «перекидным», можно считать, что при этом его центр тяжести проходит над планкой на высоте $d = 20$ см. Введём в предыдущий результат соответствующую поправку. Теперь вся набранная при отталкивании энергия будет израсходована на пути $H - h' + d$, и вместо (4) мы теперь будем иметь $H'_{\text{д}} = 6H'_{\text{з}} - 5(h' - d) = 12 - 5 \cdot 0,5 = 9,5$ м. (5)

Но, может быть, наш прыгун использует стиль «фосбери-флоп». То-

гда для оценок можно принять $d = -0,2$ м, и мы получим

$$H'_{\text{л}} = 6H'_3 - 5(h' - d) = 12 - 5 \cdot 0,9 = 7,5 \text{ м.} \quad (6)$$

Мы видим, что поправка, учитывающая стиль прыжка, оказалась весьма ощутимой.

Можем ли мы теперь считать, что полностью исследовали проблему?

Конечно, нет.

Заметим, что предположение о равенстве совершённых спортсменом при отталкивании работ достаточно произвольно. Если бы кто-то задумал исходить не из равенства сил, а, например, из равенства развиваемых при отталкивании мощностей, мы бы не нашли, что возразить.

Кроме того, все авторы, за которыми мы выше следовали, рассуждают так, будто бы в кинетическую энергию движения по вертикали переводится только работа мышц ног на вертикальном пути. Если бы это было так, то спортсмены прыгали бы с места, отталкиваясь двумя ногами. Но они прыгают с разбега и, отталкиваясь одной ногой, делают сильный мах другой ногой (и руками).

Так что к приведённым выше результатам не стоит относиться слишком серьёзно.

Зачем же мы уделили столько внимания этой задаче?

А вот зачем.

Школьные и вузовские задачки, где размещены «готовые» задачи, могут создать превратные представления о работе физика.

Перед исследователем же обычно стоит не готовая задача, а реальная ситуация, явление, процесс. Важнейшая часть анализа проблемы – это *постановка* задачи. Она всегда опирается на некоторые предположения, на модель явления.

Вот мы и хотели показать, что серьёзные авторы имели дело со слишком уж грубой моделью, не учитывающей важные элементы прыжка. И ещё, надо признать, что мы не знаем, как изменится физиология и биомеханика спортсмена в условиях уменьшенной силы тяжести и как соответственно изменится техника и энергетика прыжка. Наши модельные представления (о равенстве совершённых работ) могут оказаться далёкими от реальности.

Что же делать?

Подождём немного, пока интересные нас вопросы станут доступны экспериментальному изучению.

Литература

1. *Стюарт Я.* Межпланетные олимпийские игры // В мире науки, 1992, №9 – 10.
2. *Гнедиг П., Хоньек Д., Райли К.* Двести интригующих физических задач (Библиотечка «Квант». Вып.90). – М.: Бюро Квантум, Техносфера, 2005.
3. *Маковецкий П.В.* Смотри в корень! – М.: Наука, 1968 (второе издание).

Мудрые мысли Мудрые мысли Мудрые мысли

Умственные способности растут, как мускулы при тренировке.

В.А. Обручев