



**Варламов Сергей Дмитриевич**

*Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики специализированного учебно-научного центра МГУ им. М.В. Ломоносова. Член жюри Московской городской и Всероссийской олимпиад школьников по физике.*

## Физические задачи-оценки

### (задачи 1-4)

Предлагаемые задачи напоминают по своей постановке известные всем физикам задачи П.Л. Капицы, только для школьников выбраны задачи попроще. Чтобы решать такие задачи, достаточно знать физику в объёме средней школы. А если задача «не укладывается» в школьный курс физики, то нужно, не боясь трудностей, изучать физику более глубоко.

Считается, что всем школьникам, интересующимся физикой, известны такие величины, как радиус Земли, ускорение свободного падения вблизи её поверхности, характерные размеры атомов, расстояния от Земли до Солнца и до Луны, фундаментальные физические константы: элементарный электрический заряд, постоянная Планка, число Авогадро, скорость света и т.д. Если каких-то данных в условии задачи не хватает, можно заглядывать в справочники, искать информацию в Интернете и т.д., и т.п.

Предполагается регулярно знакомить читателей с задачами-оценками (ЗО), и мы надеемся, что читатели будут присылать свои задачи-оценки, лучшие из которых тоже будут напечатаны в нашем

журнале.

Ниже приведены условия и решения трёх задач. Четвёртая задача ЗО-4 предназначена для самостоятельного решения. Её авторское решение будет опубликовано в следующем номере журнала. Предлагаем школьникам присылать своё решение этой задачи по адресу [potential@potential.org.ru](mailto:potential@potential.org.ru), написав в теме «ЗО-4», а в письме – свои фамилию, имя, отчество, учебное заведение, населённый пункт. Фамилии читателей, приславших правильное решение до выхода следующего номера журнала, будут опубликованы.

**ЗО-1.** Спортсмен, рост которого  $h=170$  см, может бегать с максимальной скоростью  $v=10$  м/с. Оцените максимальную высоту, которую он может преодолеть на соревнованиях по прыжкам в высоту с шестом.

**Решение.** Шест помогает спортсмену изменить направление его скорости. При этом сначала шест изгибается и накапливает энергию в форме энергии упругой деформации, а затем, распрямляясь, отдаёт эту энергию (частично!) спортсмену. Предположим, что КПД преобразования энергии шестом равен 80%.



Предположим также, что спортсмен во время подъёма на шесте не перебирает руками (это запрещено правилами соревнований), но за счёт работы рук и туловища дополнительно поднимает свой центр масс на высоту собственного роста. Просуммируем все расстояния.

1. Центр масс спортсмена перед началом прыжка находится на высоте примерно  $h/2$ .

2. Спортсмен поднимает сам себя на высоту  $h$ .

3. Шест обеспечивает дополнительный подъём на высоту  $0,8v^2/(2g)$ .

Итого получается:

$$0,85 + 1,7 + 0,8 \cdot 5 = 6,55 \text{ (м)}.$$

(Здесь принято  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .)

Рекорд мира, установленный в 1993 году Сергеем Бубкой, – 6,14 м. Выходит, спортсменам есть к чему стремиться! Теоретически рекорд может ещё увеличиться как за счёт повышения техники прыжка спортсмена, так и за счёт усовершенствования шеста.

**30-2.** Спортсмен, рост которого  $h = 1,7 \text{ м}$ , может бегать с максимальной скоростью  $v = 10 \text{ м/с}$  и может преодолеть планку на высоте своего роста  $h$ , когда прыгает в высоту. Оцените его максимальный результат в соревнованиях по прыжкам в длину.

**Решение.** В момент последнего толчка перед длинным прыжком спортсмен придает себе такую вертикальную скорость, что его центр масс приподнимается максимально над начальным положением примерно на высоту  $h/2$ . При этом его горизонтальная составляющая скорости немного уменьшается:

$$v_{\text{гор}} = (v^2 - gh)^{0,5}.$$

К последним мгновениям полёта спортсмен принимает положение в

пространстве, при котором его туловище вытянуто вдоль траектории движения. Его центр масс движется в направлении точки касания земли ногами. Направлять центр в более далёкое место или в более близкое бессмысленно, так как не получится рекорда. В итоге время полёта при таком прыжке составляет:

$$t = t_1 + t_2 = (1 + 2^{0,5})(h/g)^{0,5},$$

а дальность прыжка равна:

$$t(v^2 - gh)^{0,5} \approx 9,18 \text{ м}.$$

Рекорд мира по прыжкам в длину 8,95 м установил в 1991 году Майк Пауэлл, который побил державшийся с 1968 года рекорд Боба Бимона (8,90 м). Как видно, результаты спортсменов весьма близки к теоретическому пределу.



На фотографии Боб Бимон в полёте во время рекордного прыжка

**30-3.** В земных условиях на горизонтальной спортивной площадке космонавт бросал на тренировке молоток на расстояние  $L = 40 \text{ м}$ . Тот же космонавт при выходе в открытый космос для починки антенны (с помощью того же молотка) случайно выпустил из рук молоток, который по отношению к космической станции полетел с такой же скоростью, как на тренировке. В момент броска станция

по отношению к Земле летела в направлении на северо-восток, а молоток по отношению к станции вылетел в направлении на северо-запад. На какое максимальное расстояние от станции удалится этот молоток за первый час полёта?

**Решение.** По отношению к станции молоток в момент броска имел скорость, примерно равную

$$(Lg)^{0,5} \approx 20 \text{ м/с.}$$

По отношению к Земле и молоток, и станция летят горизонтально с примерно одинаковыми скоростями. Однако их скорости в момент броска отличаются по направлению на небольшой угол  $\alpha = 20/8000$  (рад). Плоскости почти круговых орбит станции и молотка развёрнуты как раз на этот самый угол. Максимальное удаление при таких орбитах за первый час полёта будет иметь место через  $1/4$  часть периода обращения этих тел вокруг Земли, то есть примерно через 21 мин. Расстояние, на котором к этому моменту окажутся

молоток и станция, будет равно примерно  $\alpha \cdot R_{\text{Земли}} \approx 16$  км. Ещё через 21 мин., то есть через 42 мин. после начала «эксперимента», молоток вернётся к станции и, если за это время космонавты не предпримут каких-либо действий, может удариться о корпус или о какую-либо антенну станции на относительной скорости 20 м/с. Если молоток случайно «проскочит» мимо, то к концу первого часа полёта он снова удалится от станции, но уже на меньшее расстояние:

$$\sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{18}{21}\right) \cdot \alpha \cdot R_{\text{Земли}} \approx 15,6 \text{ км.}$$

**30-4.** Оцените минимальное время, за которое автомобиль массой  $m = 1000$  кг и двигателем мощностью  $W = 100$  кВт на ровной асфальтовой горизонтальной дороге сможет разогнаться до скорости  $v = 100$  км/ч, стартуя с нулевой начальной скоростью. Соппротивлением воздуха можно пренебречь. Коэффициент трения шин об асфальт 0,7.

