

ВИКТОРИНА ЮНЫХ ФИЗИКОВ ОТДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК РАН

ГОЛОВАНОВА Алина Владимировна,
МАГАРЯН Константин Арутюнович,
НАУМОВ Андрей Витальевич

Институт спектроскопии РАН

Московский педагогический государственный университет

DOI: 10.7868/50044394820050059

С 4 по 24 мая 2020 года, в период вынужденной самоизоляции для многих граждан нашей страны, Отделение физических наук РАН провело Всероссийскую онлайн-викторину юных физиков. Вопросы и задачи викторины, предложенные членами и профессорами РАН, были ориентированы на школьников, интересующихся физикой и астрономией. Ниже приводятся основные результаты проведенного конкурса вместе с условиями и решениями задач, имеющих непосредственное отношение к профилю журнала «Земля и Вселенная».

Интересы современной молодежи выходят далеко за рамки школьной программы. Отчасти это связано с доступностью самой разной информации в сети Интернет, отчасти со сменой технологического уклада, приведшей к значительному расширению сфер человеческой деятельности. По этим причинам необходимо серьезно пересмотреть имеющиеся образовательные и профориентационные методики и способы привлечения внимания школьников к достижениям и трендам современной науки. По большому счету речь идет о необходимости создания новой системы подготовки кадров, особенно для науки и высокотехнологичного производства.

Особую роль в этой деятельности традиционно играет Российская академия наук и ее члены, возглавляющие основные научные направления в исследовательских институтах и образовательных учреждениях. Так, в последнее время разрабатываются новые формы внеаудиторной образовательной деятельности, нацеленные на популяризацию науки

среди школьников, раскрытие их личностного потенциала и приобретение первичных профессиональных знаний. При участии РАН реализуются различные образовательные программы, курсы повышения квалификации, популяризационные мероприятия. На федеральном уровне регулярно проводятся фестивали науки, открытые лекции, мастер-классы и т. д.

В городе Москва в последние годы эффективно функционируют проекты Городского методического центра Департамента образования г. Москвы: «Инженерный класс», «Медицинский класс», «Академический (научно-технологический) класс», «Курчатовский проект», – нацеленные на вовлечение школьников в научно-исследовательскую, практическую работу с научными организациями и университетами. Эти проекты имеют большой успех, – сотрудничество школ с университетами и научно-исследовательскими институтами позволило организовать подготовку квалифицированных специалистов, начиная со школьной скамьи.



Викторина

11 анад., 10 чл.-чорр., 11 проф. РАН

Победная викторина юных физиков

Отделение Физических Наук РАН

4 – 24 мая 2020 год

<https://grad.ac.ru/edu/>

1009 участников, 4552 ответа,
56 городов,
104 школы (67 базовых школ РАН)
9 туров, 27 вопросов, 3 уровня/возраста



Академик РАН
Борис Венжакович
Владим Венжакович



Академик РАН
Сурен Роберт Аронович



Академик РАН
Сазонов Алексей



Член-корреспондент РАН
Колесников Николай Николаевич



Член-корреспондент РАН
Суровцев Николай Владимирович



Член-корреспондент РАН
Шустов Борис Михайлович



Профессор РАН
Лебедев Дмитрий Валентинович



Член-корреспондент РАН
Дологанов Валерий Галазович



Профессор РАН
Любимов Дмитрий



Академик РАН
Михалев Николай Викторович



Академик РАН
Губанов Олег Владимирович



Академик РАН
Щербатов Иван Александрович



Член-корреспондент РАН
Профессор РАН Козляков Юрий Юрьевич



Член-корреспондент РАН
Профессор РАН Глазов Максим Михайлович



Член-корреспондент РАН
Ляхова Любовь Александровна



Профессор РАН
Рубин Алексей Николаевич



Профессор РАН
Лунин Алексей Анатольевич



Профессор РАН
Игумов Андрей Витальевич



Академик РАН
Озвешен Юрий Николаевич



Академик РАН
Доников Владимир Владимирович



Президент РАН
Александр Михайлович



Академик РАН
Трубников Юрий Юрьевич



Член-корреспондент РАН
Трубников Дмитрий Витальевич



Вице-президент РАН
Академик РАН Вязов Александр Михайлович



Член-корреспондент РАН
Профессор РАН Гербуртова Юлия Герасимовна



Профессор РАН
Калинин



Профессор РАН
Алексей Александров



Замминистра науки РФ
Чл.-чорр. и профессор РАН
Ляпина Сергей Владимирович



2019-2020
ИУРП
Day of Light
ПОБЕДА! 13 мая











В 2019 г. по инициативе Президиума РАН и Министерства просвещения РФ стартовал проект «Базовые школы РАН», объединивший 108 ведущих школ в 32 регионах РФ. За короткое время этот проект продемонстрировал беспрецедентно высокую эффективность вовлечения ведущих ученых нашей страны в школьный образовательный процесс. Особенно продуктивными оказались мероприятия, в рамках которых учащиеся общеобразовательных школ могли непосредственно общаться с членами РАН.

ского общества и Московского педагогического государственного университета провели Всероссийскую викторину по физике и астрономии с вопросами и задачами от ведущих ученых, членов и профессоров ОФН РАН. Разработчики викторины дали ей название «Победная», приурочив ее к празднованию 75-летия Победы в Великой Отечественной войне.

Каждые два дня на сайте Отделения физических наук РАН (<https://grad.ac.ru/edu/>) публиковались задания для трех возрастных групп: 5–7 классы,

Эти девять вопросов были одними из самых интересных и занимательных из всех вопросов и задач, которые я видел в последнее время. Особенно на фоне экзаменационных. Хотя я и не мог дать полный и максимально верный ответ на все вопросы, но гораздо важнее то, что они заставили меня задать новые вопросы самому себе. После того, как я отправлял ответы, я много времени проводил в изучении тех физических тем, которым я не уделял достаточно времени. Я открыл для себя множество интересного в астрофизике, множество непонятого в квантовой физике и многое другое. Я не только понял свои ошибки, но и на 100% убедился в том, чем хочу заниматься в своей жизни, несмотря на различные трудности и неудачи. Я хочу стать ученым, но даже если мне это не удастся, я буду изучать мир дальше всю свою жизнь не только потому, что это кому-либо нужно, хотя мне бы хотелось быть полезным для людей, но и потому, что мне приносит это удовольствие, я вижу в этом свою человеческую потребность. Спасибо вам за викторину! (Анатолий Александров, ученик 11 класса, Новосибирск)

Но особым вызовом для всех образовательных учреждений и в нашей стране, и во всем мире стал период вынужденной изоляции весной 2020 года. В это время дистанционные и самостоятельные формы работы с учащимися приобрели принципиальное значение. С еще большей остротой встал вопрос о способах привлечения интереса школьников к научному образу мышления, к новым технологиям, а для выпускников – вопросы профессиональной ориентации и выбора направления и вуза для дальнейшего обучения.

Одним из ответов на эти вызовы стала инициатива Президиума РАН и Отделения физических наук РАН, которые при поддержке Российского физиче-

ского общества и Московского педагогического государственного университета провели Всероссийскую викторину по физике и астрономии с вопросами и задачами от ведущих ученых, членов и профессоров ОФН РАН. Разработчики викторины дали ей название «Победная», приурочив ее к празднованию 75-летия Победы в Великой Отечественной войне. Каждые два дня на сайте Отделения физических наук РАН (<https://grad.ac.ru/edu/>) публиковались задания для трех возрастных групп: 5–7 классы, 8–9 классы, 10–11 классы. Вопросы по физике и астрономии были предоставлены школьникам от 27 ученых – членов отделения: 11 академиков, 10 членов-корреспондентов и 11 профессоров РАН. Все вопросы были нестандартными, могли не иметь однозначного решения, поэтому от учащихся требовалась физическая смекалка, рассудительность и широкий кругозор.

В конкурсе приняли участие 1009 человек из 104 школ, расположенных в 56 городах Российской Федерации. Всего от участников было получено 4552 ответа. Особую активность показали базовые школы РАН (67 школ). Самое большое количество участников (280 человек) было представлено Лицеом №11,

г. Челябинск. Затем с большим отставанием идут: Лицей №77, г. Челябинск (75 человек), Инженерный лицей № 83 имени Героя Советского Союза Матвея Савельевича Пинского городского округа, г. Уфа (57 человек), Лицей «Физико-техническая школа», г. Обнинск (38 человек), Лицей № 136, г. Новосибирск (37 человек) и другие. По итогам викторины 300 человек приняли участие не менее чем в 7 турах викторины и получили специальный электронный сертификат от ОФН РАН. 64 человека получили дипломы, трое – похвальные листы. Победителями викторины стали 5 человек.

В старшем звене (10–11 класс), набрав 29 баллов, абсолютным победителем стал **Анатолий Александрович Александров** (11 класс СОШ № 45, г. Новосибирск). В среднем звене (8–9 класс), набрав 26 баллов, победителем стал **Денис Дмитриевич Бабушкин** (9 класс ОЦ «Горностаи», г. Новосибирск). В младшем звене (5–7 классы), набрав 28 баллов, победителем стал **Михаил Антонович Птицын** (5 класс Физико-технического лицея №1, г. Саратов). В смешанном звене (5–11 классы) два победителя: **Михаил Алексеевич Ураков** (7 класс Экономико-математического лицея № 29, г. Ижевск) и **Полина Витальевна Сизова** (7 класс Гимназии № 11, г. Самара), набравшие 32 и 31 балл соответственно. Похвальным листом была отмечена учащаяся Лицея № 11, г. Челябинск, **Майя Вадимовна Горшенина**, принявшая участие только в 6 турах, но получившая максимальный балл в каждом из них и набравшая 18 баллов. Два других похвальных листа за участие получили самые юные участники победной викторины – учащиеся 3 и 4 класса из городов Киров и Саратов.

Призеры представили 42 разные школы из 31 города России. Из них 32 школы – Базовые школы РАН, одна школа

(Лицей г. Троицк, г. Москва) – участник проекта «Академический класс в московской школе», и еще одна (Гимназия им. Н.В. Пушкина, г. Троицк, г. Москва) – участник московского проекта «Математическая вертикаль».

Первое место по количеству призеров (4 человека) заняли три школы – Инженерный лицей НГТУ, г. Новосибирск, Лицей №11, г. Челябинск, и Одинцовский «Десятый лицей». Второе место заняли четыре школы: Балашихинский лицей, Лицей № 110 им. Л.К. Гришиной, г. Екатеринбург, Лицей № 17, г. Северодвинск, Сергиево-Посадский физико-математический лицей. Количество призеров из перечисленных школ составило 3 человека. Все вышеперечисленные школы – Базовые школы РАН.

Организаторы конкурса рассчитывают, что викторина ОФН РАН станет регулярным весенним мероприятием, в ходе которого учащиеся школ получают возможность напрямую пообщаться с представителями академии, ведущими учеными нашей страны.

Среди представленных для решения задач почти половина имеют непосредственное отношение к вопросам физики Земли, астрономии и астрофизики. Учитывая, что астрономия после долгого перерыва снова введена в школьный курс, возможность разбора таких задач на уровне взаимодействия школ и Российской академии наук представляется особенно важной. Ниже организаторы викторины приводят условия и возможные решения тех задач викторины, которые имеют непосредственное отношение к профилю журнала «Земля и Вселенная».

Публикация подготовлена в рамках Государственного задания ФГБОУ ВО «МПУ» по теме: «Физика наноструктурированных материалов: фундаментальные исследования и приложения в материаловедении, нанотехнологиях и фотонике».

*Задачи победной викторины юных физиков
Отделения физических наук РАН 2–24 мая 2020 года*

Задача 1 (2 тур, 8–9 классы)

Как будут вести себя два шарика, деревянный и железный, если поместить их в бесконечное пространство, заполненное водой?

Автор: академик РАН, д.ф.-м.н. Роберт Арнольдович Сурис



Задача 2 (3 тур, 5–7 классы)

В стенах некоторых европейских соборов есть специальное небольшое отверстие, через которое иногда пробивается солнечный луч. Зачем нужно это отверстие?

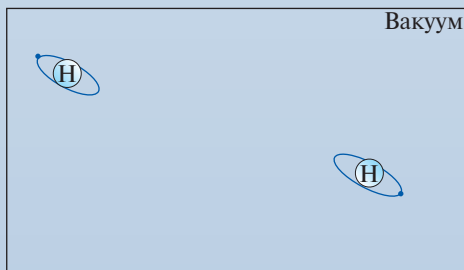
Автор: профессор РАН, д.ф.-м.н. Дмитрий Зигфридович Вибе



Задача 3 (3 тур, 8–9 классы)

Представим себе, что в вакууме встретились два атома водорода. Может ли образоваться молекула водорода H_2 ?

Автор: академик РАН, д.ф.-м.н. Кев Минуллинович Салихов



Задача 4 (3 тур, 10–11 классы)

Возвращаясь из межзвездного похода, Вы – юный командор – обнаружили кометное тело на границе Облака Оорта. Приборы подсказали Вам, что комета массой 1 млн тонн сейчас находится в афелии на расстоянии 100 тысяч астрономических единиц (а.е.) и движется по сильно вытянутой орбите с перигелийным расстоянием 1 а.е. Комета может столкнуться с Землей и уничтожить крупный город, и Вы оцениваете, что можете сделать. Компьютер сообщил Вам: чтобы предохранить Землю от столкновения на этот раз и в будущем, нужно изменить орбиту кометы так, чтобы перигелийное расстояние ее орбиты стало не менее 1.1 а.е. У Вас есть один снаряд (болванка) массой 2 тонны, который вы можете выпустить в комету из корабельного рельсотрона со скоростью (относительно кометы) 10 км/с. Поскольку в астероидно-кометную опасность начальство на Земле не верило, то специальных программ в компьютере нет. Вы сами должны просчитать Ваши возможности и принять ответственное решение. А теперь вопросы: 1. Хватит ли Вам этого ресурса для выполнения задачи. 2. В каком направлении по отношению к вектору скорости кометы нужно стрелять, чтобы добиться максимального эффекта. Ответ нужно подкрепить расчетами.

Автор: член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н. Борис Михайлович Шустов



Задача 5 (4 тур, 8–9 классы)

На Луне построили крытый стадион с земным воздухом. На стадионе есть беговая дорожка 30 м. Вася Пятеркин на Земле выполнил норму третьего разряда на этой дистанции (4.2 секунды, высокий старт), но на Луне у него не получилось быстрее 8 секунд. Почему?

Автор: профессор РАН, д.ф.-м.н. Алексей Николаевич Рубцов



Ответы см. на стр. 106

Продолжение задач будет опубликовано в № 6, 2020

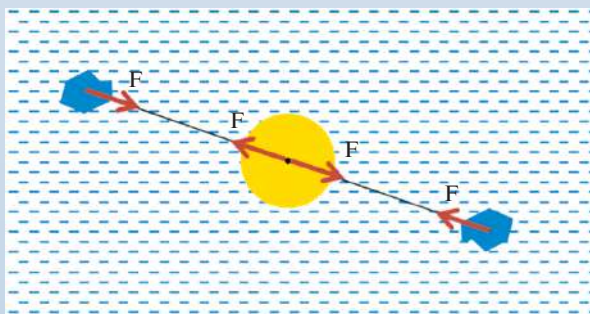
ВИКТОРИНА ЮНЫХ ФИЗИКОВ ОТДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК РАН

Решения

Задачи см. на стр. 51

Задача 1

В первую очередь при решении данной задачи обратим внимание, что шарики не находятся в поле силы тяжести Земли, т. е. это не обычная задача на силу Архимеда (где деревянный шарик, плотность которого меньше плотности воды, всплывает, а металлический шарик с большей плотностью тонет). Таким образом, нужно рассмотреть гипотетическую ситуацию бесконечного пространства, заполненного водой с двумя шариками при отсутствии каких-либо других тел. Для начала рассмотрим случай одного шара (например, металлического) в бесконечном пространстве с водой. Рассмотрим гравитационное взаимодействие одного из шаров с водой. Вполне очевидно, что, поскольку система центрально симметрична (по отношению к центру шара), взаимодействие шара (в соответствии с законом всемирного тяготения) с любым объемом воды будет уравновешено взаимодействием с точно таким же объемом, инверсным относительно центра шара (см. Рис. 1: по модулю $F_1 = F_2$). Будем считать, что вода при этом не сжимается и не перемешивается. Гравитационное поле шарика, по сути, создает силовое поле, которое приводит к уменьшению давления в воде по мере удаления от шарика.



Задача 1. Рисунок 1

Теперь рассмотрим гравитационное взаимодействие в случае с двумя шариками (Рис. 1).

Силу гравитационного притяжения двух шаров F_1 рассчитываем по закону всемирного тяготения

$$F_1 = G \frac{M_{\text{Ж}} M_{\text{Д}}}{R^2} = G \frac{\rho_{\text{Ж}} V_{\text{Ж}} \rho_{\text{Д}} V_{\text{Д}}}{R^2},$$

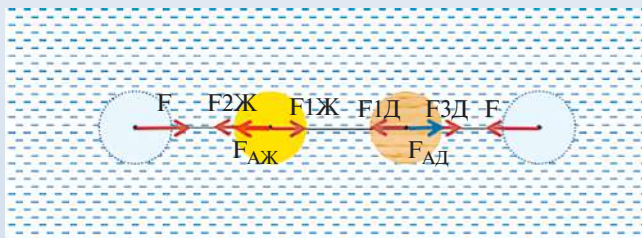
где R – расстояние между центрами шаров, G – гравитационная постоянная, $\rho_{\text{Ж}}$, $\rho_{\text{Д}}$, $V_{\text{Ж}}$, $V_{\text{Д}}$ – плотности и объемы шариков соответственно.

Чтобы учесть нескомпенсированное гравитационное взаимодействие воды можно применить следующий прием: рассматриваем притяжение от зеркально отраженного шарика с плотностью воды. Тогда на металлический шарик будет действовать нескомпенсированная гравитационная сила притяжения F_2 к объему воды, в точности равному деревянному шарик и удаленному на такое же расстояние:

$$F_2 = G \frac{M_{\text{ж}} M_{\text{ВД}}}{R^2} = G \frac{\rho_{\text{ж}} V_{\text{ж}} \rho_{\text{Д}} V_{\text{Д}}}{R^2},$$

Аналогично на деревянный шарик действует нескомпенсированная сила со стороны воды

$$F_3 = G \frac{M_{\text{Д}} M_{\text{ВЖ}}}{R^2} = G \frac{\rho_{\text{Д}} V_{\text{Д}} \rho_{\text{В}} V_{\text{Ж}}}{R^2},$$



Задача 1. Рисунок 2

Наконец, на каждый шарик будет действовать выталкивающая (по отношению к другому шарик) сила Архимеда. Чтобы точно учесть эту силу, нужно проводить расчеты, выходящие за пределы школьной программы (интегрирование и т. п.), однако в приближении, что расстояние между шариками R намного больше радиусов шариков, можно использовать обычную запись для силы Архимеда:

$$F_{\text{АЖ}} = \rho_{\text{В}} g_{\text{Д}} V_{\text{Ж}} = \rho_{\text{В}} G \frac{M_{\text{Д}}}{R^2} V_{\text{Ж}} = G \frac{\rho_{\text{В}} \rho_{\text{Д}} V_{\text{Д}} V_{\text{Ж}}}{R^2},$$

здесь $g_{\text{Д}}$ – аналог ускорения свободного падения в гравитационном поле деревянного шарика

$$F_{\text{АД}} = \rho_{\text{В}} g_{\text{Ж}} V_{\text{Д}} = \rho_{\text{В}} G \frac{M_{\text{Ж}}}{R^2} V_{\text{Д}} = G \frac{\rho_{\text{В}} \rho_{\text{Ж}} V_{\text{Ж}} V_{\text{Д}}}{R^2},$$

здесь $g_{\text{Ж}}$ – аналог ускорения свободного падения в гравитационном поле железного шарика.

Тогда суммарная сила, действующая на железный шарик будет:

$$\begin{aligned} F_{\text{Ж}} &= F_{1\text{Ж}} - F_{2\text{Ж}} - F_{\text{АЖ}} = G \frac{\rho_{\text{ж}} V_{\text{ж}} \rho_{\text{Д}} V_{\text{Д}}}{R^2} - G \frac{\rho_{\text{ж}} V_{\text{ж}} \rho_{\text{В}} V_{\text{Д}}}{R^2} - G \frac{\rho_{\text{В}} \rho_{\text{Д}} V_{\text{Д}} V_{\text{Ж}}}{R^2} = \\ &= G \frac{V_{\text{Д}} V_{\text{Ж}}}{R^2} (\rho_{\text{ж}} \rho_{\text{Д}} - \rho_{\text{ж}} \rho_{\text{В}} - \rho_{\text{В}} \rho_{\text{Д}}). \end{aligned}$$

Тогда суммарная сила, действующая на деревянный шарик будет:

$$\begin{aligned} F_{\text{Д}} &= F_{1\text{Д}} - F_{3\text{Д}} - F_{\text{АД}} = G \frac{\rho_{\text{ж}} V_{\text{ж}} \rho_{\text{Д}} V_{\text{Д}}}{R^2} - G \frac{\rho_{\text{Д}} V_{\text{Д}} \rho_{\text{В}} V_{\text{Ж}}}{R^2} - G \frac{\rho_{\text{В}} \rho_{\text{ж}} V_{\text{ж}} V_{\text{Д}}}{R^2} = \\ &= G \frac{V_{\text{Д}} V_{\text{ж}}}{R^2} (\rho_{\text{ж}} \rho_{\text{Д}} - \rho_{\text{В}} \rho_{\text{Д}} - \rho_{\text{ж}} \rho_{\text{В}}). \end{aligned}$$

В последних двух выражениях важно правильно учесть направления векторов, чтобы в дальнейшем понять, куда направлены итоговые силы (для этого

мы добавили соответствующие индексы). Более грамотно было бы записывать все силы в векторной форме.

Приняв во внимание, что плотность железа 7800 кг/м^3 , плотность воды 1000 кг/м^3 , плотность дерева примерно 500 кг/м^3 (вообще, в диапазоне от 400 до 900 кг/м^3 , хотя для черного дерева – 1160 кг/м^3), получаем:

$$(\rho_{\text{жРд}} - \rho_{\text{врД}} - \rho_{\text{жРв}}) = 3\,900\,000 - 500\,000 - 7\,800\,000 = -4\,400\,000 \text{ (кг/м}^3\text{)}^2.$$

Поскольку знак получился отрицательный, силы будут действовать противоположно направлениям $F_{1\text{ж}}$ и $F_{1\text{д}}$. Т. е. на шарики будут действовать, фактически, отталкивающие силы, направленные в разные стороны вдоль оси, соединяющей центры шаров.

Следовательно, в соответствии со вторым законом Ньютона $F = ma$, шарики будут ускоренно двигаться в противоположные стороны вдоль линии, соединяющей их центры. Важно отметить, что движение это не будет равноускоренным, поскольку будет меняться (увеличиваться) расстояние между шариками R , т. е. ускорение будет уменьшаться, но направление движения никогда не поменяется.

Задача становится сложнее, если в начальный момент времени расстояние между шариками было сравнимо с их радиусами, однако качественную картину взаимодействия это не меняет, лишь изменятся начальные значения сил (ускорений).

Наконец, поскольку в условии ничего не сказано о начальных скоростях шариков, задача еще более усложнится, если начальные скорости шариков были направлены произвольным образом. В этом случае мы получим некий аналог решения астрономической задачи о движении двух тел (законы Кепплера), усложненной наличием среды.

Отметим, что мы не учитываем вязкость воды, которая (при ее учете) также будет влиять на кинематику шариков.

Задача 2

Через отверстие в крыше собора внутрь храма мог проникать солнечный свет. То место, куда попадал луч, связано со временем суток. Таким образом, это отверстие могло использоваться в качестве часов для определения времени. Кроме того, неправильные показания таких «часов» служили сигналом о повреждении храма и необходимости его ремонта.

Задача 3

Должно быть третье тело, которое может взять у столкнувшихся атомов энергию. Одним из основных законов физики является закон сохранения энергии. При взаимодействии двух атомов водорода может произойти химическая реакция, в результате которой появится молекула водорода H_2 . Однако при этом выделится энергия (из современных источников известно, что это 436 кДж/моль). Несмотря на то, что в пересчете на одну молекулу эта энергия очень маленькая, должен быть третий объект (тело), который эту энергию заберет. Таким образом, при наличии только двух атомов водорода молекула не образуется. Нужна третья частица, которая может взять у столкнувшихся атомов энергию.

Задача 4

Сначала оценим, как изменит выстрел скорость кометы. Считая удар абсолютно неупругим, из закона сохранения импульса, в системе отсчета кометы (т. е. считая скорость кометы равной 0) получим

$$M_{\text{снаряда}} V_{\text{снаряда}} = (M_{\text{снаряда}} + M_{\text{кометы}}) \Delta V_{\text{кометы}},$$

где $M_{\text{снаряда}}$, $M_{\text{кометы}}$ – массы снаряда и кометы соответственно, $V_{\text{снаряда}}$ – скорость снаряда, $\Delta V_{\text{кометы}}$ – приращение скорости кометы (точнее тела «комета + снаряд»). Масса снаряда очень мала по сравнению с массой кометы, так что достаточно точную оценку $\Delta V_{\text{кометы}}$ дает формула

$$\Delta V_{\text{кометы}} = V_{\text{снаряда}} \frac{M_{\text{снаряда}}}{M_{\text{кометы}}}.$$

В нашем случае $V_{\text{кометы}} = 0.02$ м/с.

Чтобы оценить, хватит ли этого, нужно сравнить скорости кометы на одном и том же афелийном расстоянии a на орбитах с перигелийными расстояниями $p_0 = 1$ а.е. и $p_1 = 1.1$ а.е.

Вот очень простой вывод:

Для того, чтобы тело (комета) из перигелия улетело в афелий ее кинетическая энергия в перигелии должна быть равной (закон сохранения энергии):

$$\frac{m_{\text{кометы}} V_p^2}{2} = GM_{\text{Солнца}} m_{\text{кометы}} \left(\frac{1}{p} - \frac{1}{a} \right),$$

где V_p – скорость кометы в перигелии, G – гравитационная постоянная, $m_{\text{кометы}}$ – масса кометы. Вспомним второй закон Кеплера, согласно которому:

$$\frac{V_a}{V_p} = \frac{p}{a}.$$

Отсюда легко получить ΔV_a

$$\Delta V_a = (V_{a_1} - V_{a_0}) = \frac{GM_{\text{Солнца}}}{a} (\sqrt{p_1} - \sqrt{p_0}),$$

где V_{a_0} и V_{a_1} – скорости кометы в афелии (напомню, на одном и том же афелийном расстоянии a , но на орбитах с перигелийными расстояниями p_0 и p_1 соответственно).

У нас $p_1 = 1$ а.е., $p_2 = 1.1$ а.е. Масса Солнца $2 \cdot 10^{30}$ кг, $G = 6.67 \cdot 10^{-11}$ м³·с⁻²·кг⁻¹, а афелийное расстояние по условиям задачи $\approx 1.5 \cdot 10^{16}$ м. Считаем и получим $\Delta V_a = 0.015$ м/с.

Вывод: т. к. удар снаряда меняет скорость кометы на $\Delta V_{\text{кометы}} = 0.02$ м/с, а нам необходимо изменить скорость кометы в афелии на $\Delta V_a = +0.015$ м/с, то спасти Землю от столкновения можно. Только стрелять нужно так, чтобы скорость кометы в афелии увеличилась, т. е. снаряд должен ударить в направлении движения кометы по орбите.

Задача 5

Максимальное ускорение бегуна a определяется произведением ускорения свободного падения на коэффициент трения ботинок и дорожки. Время, необходимое для преодоления дистанции l , равно $t = \sqrt{2al}$. Ускорение свободного падения на Луне примерно 1.5 м/с², а коэффициент трения 0.7 , получаем время на уровне 8 секунд. Комментарий: при низком старте бегун вначале придает центру масс вертикальное ускорение, что увеличивает давление на дорожку и позволяет на первых метрах разгона ускоряться быстрее указанного предела.