

Образование

ВИКТОРИНА ЮНЫХ ФИЗИКОВ ОТДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК РАН

ГОЛОВАНОВА Алина Владимировна,
МАГАРЯН Константин Арутюнович,
НАУМОВ Андрей Витальевич

Институт спектроскопии РАН

Московский педагогический государственный университет

DOI: 10.7868/5004439482008006X

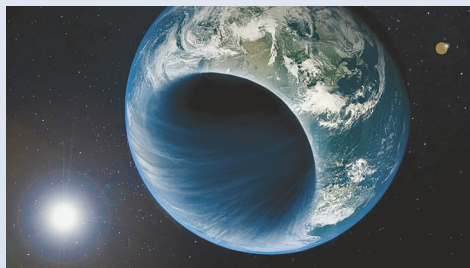
С 4 по 24 мая 2020 года, в период вынужденной самоизоляции для многих граждан нашей страны, Отделение физических наук РАН провело Всероссийскую онлайн-викторину юных физиков. Вопросы и задачи викторины, предложенные членами и профессорами РАН, были ориентированы на школьников, интересующихся физикой и астрономией.

*Публикуем продолжение задач Викторины и решений к ним.
Начало опубликовано в № 5, 2020*

Задача 6 (4 тур, 10–11 классы)

Можно ли сделать из Земли черную дыру, и если можно, то как?

Автор: член-корреспондент РАН, д. ф.-м. н. Юрий Юрьевич Ковалев



Задача 7 (5 тур, 8–9 классы)

На некоторой планете Солнечной системы установили точные часы, дающие сильный световой сигнал каждый час по земному Всемирному времени. Два таких сигнала были получены на Земле через 1 час 0.6 секунды один после другого. Что это за планета?

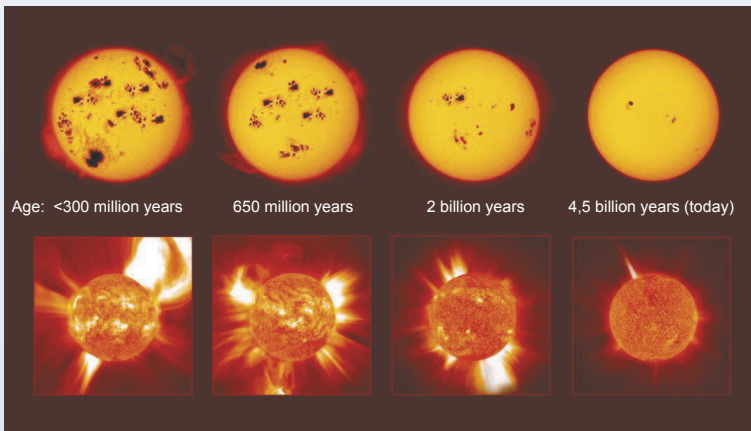
Автор: профессор РАН, д. ф.-м. н. Александр Анатольевич Лутовинов



Задача 8 (6 тур, 8–9 классы)

Науки о свете (оптика, спектроскопия, фотоника) являются основой множества инструментов для самых различных областей. Так, астрономия, астрофизика, космонавтика используют большое количество оптических и спектроскопических инструментов. Одним из самых популярных объектов исследования остается ближайшая к нашей планете звезда по имени Солнце. Известно, что источником информации о процессах, протекающих в Солнце, являются пятна на его поверхности. Как Вы считаете, какой цвет имеют эти пятна?

Автор: член-корреспондент РАН,
д. ф.-м. н. Анатолий Алексеевич Петрукович



Задача 9 (8 тур, 8–9 классы)

Определите массу атмосферы Земли. За пояснение выбранной к вопросу картинки дополнительный балл от организаторов.

Автор: академик РАН, д. ф.-м. н. Владимир Владимирович Дмитриев



Задача 10 (9 тур, 8–9 классы)

Во время майских дождей можно часто видеть радугу. В этом году несколько раз наблюдалось очень красивое явление – двойная радуга (многие даже смогли ее сфотографировать). Опишите процесс появления обеих радуг. Чем они отличаются друг от друга? Свой ответ необходимо объяснить.

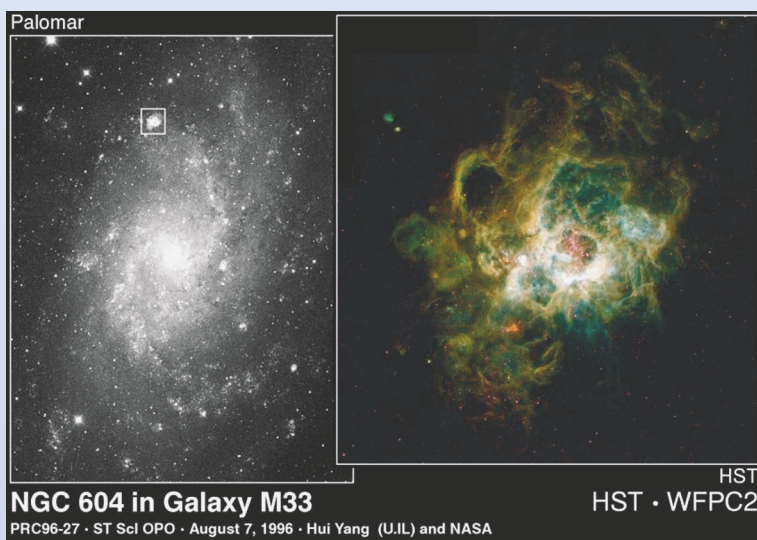
Автор: президент РАН, академик РАН,
д. ф.-м. н. Александр Михайлович Сергеев



Задача 11 (9 тур, 10–11 классы)

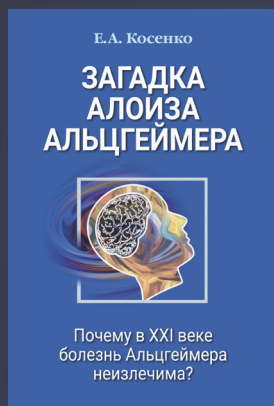
В каких межзвездных облаках рождаются звезды — холодных или теплых? И почему?

Автор: вице-президент РАН, академик РАН,
д. ф.-м. н. Юрий Юрьевич Балега



Ответы см. на стр. 99

С новыми книгами
Издательства “Наука”
вы можете ознакомиться на сайте
naukabooks.ru



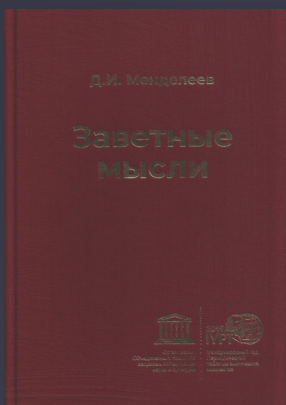
Косенко Е.А.

Загадка Алоиза Альцгеймера. Почему в XXI в. болезнь Альцгеймера неизлечима?

М.: Наука, 2019. — 319 с.

В монографии изложена актуальнейшая на сегодняшний день медико-биологическая проблема, связанная с болезнью Альцгеймера (БА), и предпринята попытка ответить на вопрос: почему заболевание, известное с начала XX в. и на изучение которого тратятся триллионы долларов, в настоящее время все еще остается неизлечимым, а имеющиеся антиамилоидные препараты приносят больше вреда, чем пользы? Для объяснения механизмов, лежащих в основе нейродегенерации при БА, формулируется «эритроцитарная гипотеза», согласно которой эритроциты рассматриваются не просто как клетки, переносящие кислород, а как клетки, от эндогенного метаболизма которых зависит адекватная доставка кислорода в ткани, и в частности в мозг. Именно функциональное несоответствие между эритроцитами и биоэнергетикой мозга, считает автор, лежит в основе гибели нейронов.

Книга может быть интересна широкому кругу читателей – студентам, обучающимся по специальностям «биология», «биомедицина», а также физиологам, биохимикам научно-исследовательских лабораторий, преподавателям высших образовательных медицинских и биологических учреждений.



Менделеев Д.И.

Заветные мысли.

М.: Наука, 2019. — 310 с.

Д.И. Менделеев в работе «Заветные мысли» рассуждает о желательных, на его взгляд, путях развития России в геополитической, экономической и научной областях. Круг анализируемых ученым вопросов чрезвычайно широк: государственное устройство, образование, народонаселение, внешняя торговля, взаимосвязь между просвещением и национальным богатством, баланс между промышленностью и сельским хозяйством и т.д. По существу, «Заветные мысли» – духовное завещание Д.И. Менделеева потомкам.

Для широкого круга читателей.



Аминов Р.З., Юрин В.Е., Егоров А.Н.

Комбинирование АЭС с многофункциональными энергетическими установками.

М.: Наука, 2018. — 238 с.

В работе предложен новый взгляд на повышение безопасности АЭС. Разработаны и исследованы многофункциональные системы, включающие такие установки, как дополнительная паровая турбина, тепловые аккумуляторы, водородный комплекс и газотурбинные установки, позволяющие обеспечить надежное электроснабжение собственных нужд АЭС в аварийных ситуациях с обесточиванием. Исследован способ использования остаточного тепловыделения реакторов типа ВВЭР для генерации электроэнергии, необходимой для отвода остаточного тепловыделения в аварийных ситуациях с полным обесточиванием. Разработана система уравнений и построены скелетные таблицы свойств диссоциированного водяного пара, которые позволяют проводить промышленные термодинамические расчеты параметров рабочего тела водородных циклов. Исследованы процессы сжигания водорода в кислородной среде, а также определены ресурсные показатели основного оборудования водородного энергокомплекса, работающего в циклических режимах.

Для научных работников, специалистов, аспирантов, студентов старших курсов теплоэнергетических специальностей.

naukabooks.ru

ВИКТОРИНА ЮНЫХ ФИЗИКОВ ОТДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК РАН

Решения

Задачи см. на стр. 72

Задача 6

Черная дыра – это область с интенсивным гравитационным полем, размеры которой определяются гравитационным радиусом, или радиусом Шварцшильда. Этот радиус намного меньше реального физического размера физического объекта ввиду того, что он характеризует предельное состояние объекта, в котором внутреннее давление становится недостаточным для противостояния гравитационному сжатию под действием собственного гравитационного поля объекта. Чисто гипотетически черную дыру можно сделать из Земли, если ее уменьшить до радиуса, который меньше радиуса Шварцшильда – < 1 см. В процессе такого сжатия между частицами вещества внутри объекта начинаются термоядерные реакции, сопровождаемые большим выделением энергии в виде различного рода излучений. То есть объем тела уменьшается, при этом масса этого объекта начинает концентрироваться в малой (по сравнению с первоначальными размерами) зоне, внутри и вблизи которой действует гравитационное поле высокой интенсивности. Теоретически можно породить черную дыру на Земле путем столкновения высокоэнергетичных элементарных частиц, однако даже качественные оценки (расчеты) показывают, что для реализации такого сценария частицы нужно разогнать до энергий, не достижимых в современном эксперименте.

Задача 7

Олимпиадный стиль задачи определяется тем, что нужно было применить эффект Доплера. Наша планета Земля входит в состав Солнечной системы, где все естественные космические объекты вращаются вокруг центральной звезды – Солнца. По мере удаления от Солнца рассматривают обычно планеты Меркурий, Венеру, Землю, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон, а также астероиды, которые объединены в несколько поясов. По отношению к Земле две планеты: Меркурий и Венера – являются внутренними, т. е. вращаются по орбитам, находящимся между Солнцем и Землей, а все остальные планеты – внешние, т. е. размеры их орбит больше орбиты Земли. Интересно, что все объекты движутся вокруг Солнца в одном направлении, но с разными скоростями. Средние линейные скорости движения планет в гелиоцентрической системе отсчета (т. е. относительно Солнца) имеют следующие значения (см. таблицу).

Планета	Меркурий	Венера	Земля	Марс	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун	Плутон
Скорость в км/с	47,4	35,0	29,8	24,1	13,1	9,7	6,8	5,4	4,7

Здесь, конечно, нужно помнить, что чем сильнее орбита отличается от круговой (чем больше эксцентриситет эллипса), тем больше меняется скорость планеты в разных участках орбиты: максимальная скорость бывает в момент, когда планета находится в перигелии (т. е. максимально близко к Солнцу), минимальная скорость, когда планета находится на максимальном от Солнца расстоянии (т. н. афелий).



Задача 7. Рисунок. 1

Источник: <https://easy-physic.ru/opredelenie-skorostej-obektov-v-razlichnyx-tochkax-ix-traektorij/>

Более сложная картина возникает, если будем рассматривать движение планеты в геоцентрической системе отсчета, т. е. их движение по отношению к Земле. Дело в том, что запаздывание сигнала будет происходить по причине наличия ненулевой скорости движения планеты по отношению к Земле. При чем обсуждать нам нужно т. н. лучевую скорость, т. е. компоненту скорости планеты в геоцентрической системе отсчета по направлению линии, соединяющей центры Земли и планеты. Чтобы оценить, какова должна быть лучевая скорость планеты, проще всего воспользоваться уравнением, описывающим классический эффект Доплера.

Все, конечно, привыкли, что в случае распространения электромагнитных волн в вакууме нужно обсуждать изменение частоты (длины волны) электромагнитного излучения вследствие взаимного перемещения источника и приемника света. Наш случай будет несколько иным (в этом и состоит «изюминка» задачи).

Мы будем рассматривать изменение частоты периодического сигнала с периодом $1 \text{ час} = 3600 \text{ с}$, распространяющегося в космическом пространстве со скоростью света $c \approx 300\,000 \text{ км/с}$ вследствие эффекта Доплера, возникающего из-за наличия ненулевой лучевой скорости V движения планеты относительно Земли. Причем рассматривать мы будем именно классический эффект,

поскольку частота импульсов весьма малая. Из теории эффекта Доплера известно, что детектируемая частота ν связана с частотой источника ν_0 соотношением:

$$\nu = \nu_0 \cdot \left(1 + \frac{V}{c}\right)$$

учитывая, что частота выражается через период как $T = 1/\nu$, можно записать:

$$\frac{1}{T} = \frac{\left(1 + \frac{V}{c}\right)}{T_0}, \text{ откуда } V = c \cdot \left(\frac{T_0}{T} - 1\right) = c \cdot \frac{T_0 - T}{T}$$

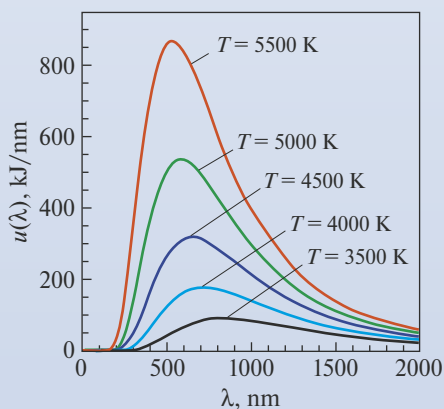
где период $T = 3600$ с, а период $T_0 = 3600.6$ с. Отсюда получаем: $V = 50$ км/с.

Если рассмотреть возможные взаимные скорости планеты относительно Земли, становится понятно, что все планеты, кроме Меркурия, могут иметь заметно меньшие скорости. Самый сильный эффект будет, когда Меркурий движется в перигелии, а на Земле он наблюдается в восточной элонгации, на максимальном удалении к востоку от Солнца. В этот момент скорость Меркурия в направлении Земли максимальна и равна 59 км/с (с учетом эксцентриситета орбиты Меркурия). Проекция скорости Земли на направление от Меркурия 9 км/с, поэтому максимальное значение лучевой скорости Меркурия будет $59 - 9 = 50$ км/с, поэтому $\Delta T = 0,6$ с, что соответствует условию задачи.

Ответ: Меркурий.

Задача 8

По большому счету, пятна на Солнце имеют тот же самый цвет, что и остальная поверхность звезды. Главное отличие состоит в том, что яркость пятен ниже, так как температура пятен меньше, из-за чего они нам кажутся темными. Солнечное пятно может иметь температуру вблизи $3500\text{--}3700^\circ\text{C}$. Но по сравнению с температурой фотосферы Солнца, которая составляет приблизительно 5500°C , разница существенна. Рассматривая вопрос более глубоко, нужно изучить спектральную яркость различных участков Солнца. Спектр теплового излучения твердого тела зависит от температуры в соответствии с формулой Планка (см. рисунок 1). Для наиболее простого случая излучения абсолютно чёрного тела изменение температуры на 2000 К приведёт к изменению кривой, что можно в каком-то смысле расценивать как изменение цвета.



Задача 8. Рисунок 1

Задача 9

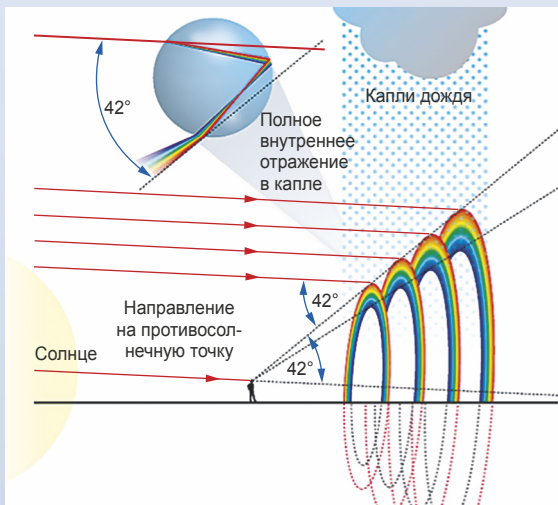
Есть довольно простой элегантный способ приблизительно вычислить массу атмосферы. Для этого достаточно знать давление воздуха у поверхности Земли и площадь поверхности Земли. Дело в том, что давление воздуха у поверхности Земли определяется весом атмосферы P . У поверхности Земли $P = mg$, где m – масса атмосферы, а g – ускорение свободного падения. Далее вспомним, что давление p можно выразить через силу, действующую на известную площадь: $p = F/S$. Используя эти два выражения, получаем $p = mg/S$. Остается лишь вспомнить, что площадь поверхности шара S связана с его радиусом соотношением $S = 4\pi R^2$. Хорошо известно, что нормальное атмосферное давление – это приблизительно 10^5 Па, а радиус Земли примерно 6371 км. Отсюда можно выразить и найти массу: $m = 4\pi p R^2/g$. Примерно равно $5 \cdot 10^{18}$ кг.

Иллюстрация на обложке книги «Золотой теленок» И. Ильфа, Е. Петрова, где главный герой Остап Бендер говорил: «На каждого человека, даже партийного, давит атмосферный столб весом в двести четырнадцать кило. Вы этого не замечали?»

«Не сердитесь, Зося. Примите во внимание атмосферный столб. Мне кажется даже, что он давит на меня значительно сильнее, чем на других граждан».

Задача 10

Радуга – оптическое явление, которое может наблюдаться во время или после дождя в солнечную погоду (т. е. при освещении ярким удаленным источником света множества водяных капель дождя или тумана). Первая радуга образуется в результате однократного отражения внутри каждой капли водяного пара (поэтому радугу можно видеть не только после дождя, но и при других условиях, например, около фонтанов в солнечный день). Луч солнечного света, где есть компоненты разных длин волн (от ультрафиолетового до инфракрасного), попав на поверхность капли, частично отразится и частично войдет



Задача 10. Рисунок 1. Условие формирования радуги.
Источник <http://www.vokrugsveta.ru/quiz/263381/>

внутри капли, испытав при этом преломление, описываемое известным законом Снеллиуса. Угол, под которым пойдет внутри капли преломленный луч, зависит от показателя преломления воды, который, вследствие дисперсии, несколько отличается для разных длин волн (1330 для красного цвета, 1337 для фиолетового цвета). Таким образом, разные по цвету компоненты белого светового пучка внутри капли после преломления пойдут

под несколько отличающимися углами. Далее, дойдя до границы раздела «вода–воздух», световые пучки снова испытывают отражение и преломление. Отраженный свет, вышедший из капель, наблюдатель увидит в виде радуги. Важное условие образования радуги – положение Солнца над уровнем горизонта не должно быть более 42 градуса (см. рисунок 1).

Под таким углом из капли будет выходить наибольшее количество отраженных лучей, которые окажутся параллельными друг другу, таким образом, радуга будет иметь максимальную яркость. Этот угол, по сути, является углом, под которым реализуется максимальное внутреннее отражение параллельных лучей света от солнца на границе раздела двух сред «вода–воздух» внутри каждой капли. Иногда этот угол называют углом, при котором реализуется полное (или максимальное) отражение внутри капли, однако этот угол не является углом полного внутреннего отражения (для воды – примерно 48 градусов). Для более подробного анализа механизма образования радуги, где показано, как можно найти величину оптимального угла максимального внутреннего отражения, рекомендуем обратиться к статье Е. Д. Трифонова «Еще раз о радуге»¹.

Двойная радуга образуется вследствие точно такого же физического явления – максимального отражения света внутри капли воды. Отличие от первичной радуги состоит в том, что отражение от внутренней поверхности капли реализуется не однократно, а два раза. Поскольку при каждом отражении значительная часть света теряется, интенсивность вторичной радуги значительно меньше, чем у первичной. Поскольку в этом случае реализуется обратный ход лучей, меняется и порядок цветов во вторичной радуге по сравнению с первичной (см. рисунок 2).

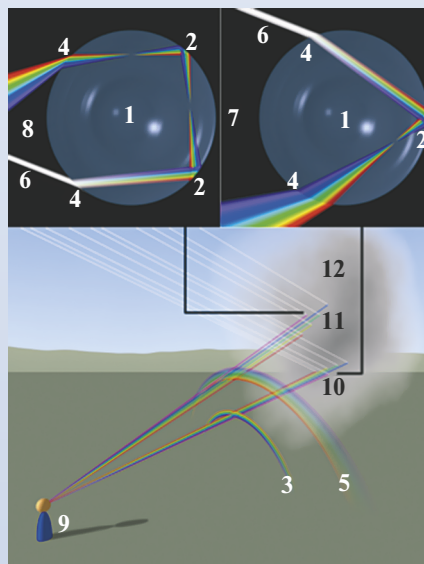
Интересно рассмотреть поляризационные характеристики обеих радуг. У первичной и вторичной радуг они различны. Нехитрый опыт, доказывающий это свойство, можно провести, если у вас есть т. н. поляризационные

Задача 10. Рисунок 2.

Схема образования двойной радуги:

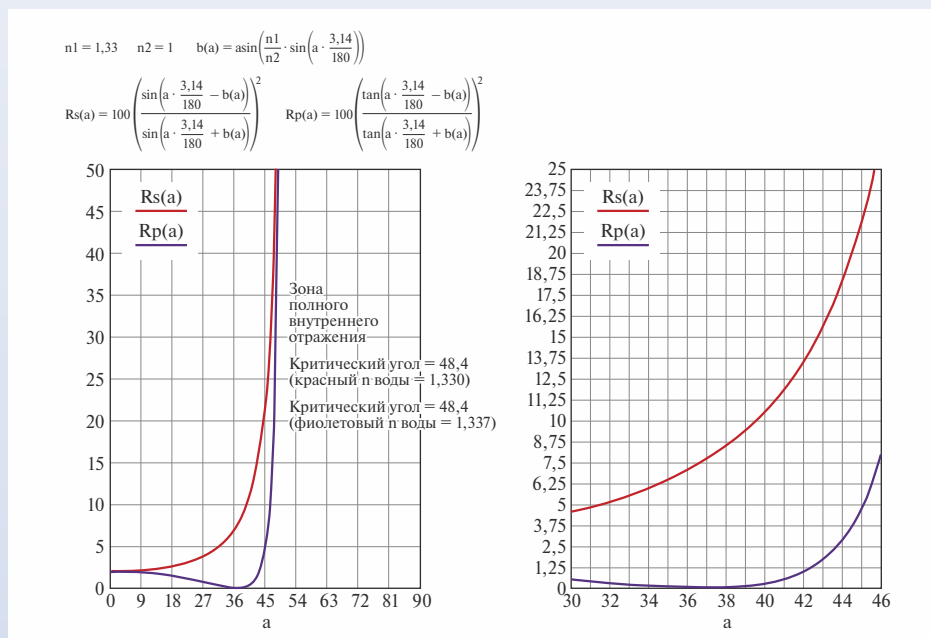
- 1) сферическая капля; 2) внутреннее отражение; 3) первичная радуга;
- 4) преломление; 5) вторичная радуга;
- 6) входящий луч света; 7) ход лучей при формировании первичной радуги;
- 8) ход лучей при формировании вторичной радуги;
- 9) наблюдатель; 10) область формирования первичной радуги;
- 11) область формирования вторичной радуги;
- 12) облако капелек.

Источник: <https://medium.com/paradox-review/радуга-с-точки-зрения-физики-4922a1cc3871>



¹ Трифонов Е.Д. Еще раз о радуге / Соросовский образовательный журнал, том 6, № 7, 2000 http://ocean.phys.msu.ru/courses/geo_common/2000ТрифоновЕ.Д.%2CЕщеэразорадуге.pdf

солнцезащитные очки. Попробуйте вращать такие очки, рассматривая двойную радугу. Вы будете видеть то одну, то другую радугу в зависимости от угла поворота. Данное наблюдение может быть воспринято как ортогональная поляризация, но точный количественный учет требует рассмотрения формул Френеля (для справки), которые покажут, что первая радуга почти полностью поляризована в горизонтальном направлении, тогда как во второй радуге лучи поляризованы и в горизонтальном, и в вертикальном направлении. Этот вопрос выходит за пределы школьной программы, однако поскольку ряд школьников рассмотрел этот вопрос, мы приводим чуть более подробные рассуждения. Естественный солнечный свет деполаризован, но при отражении его от границы раздела двух сред «вода–воздух», s - (перпендикулярная плоскости падения луча) и p - (в плоскости падения) поляризованные компоненты будут отражаться с различной эффективностью, к тому же зависящей от угла падения на границу раздела. Зависимости интенсивности отраженного света для обеих поляризаций от угла падения (которые можно вывести из формул Френеля) приведены на рисунке 3.



Задача 10. Рисунок 3

Из рисунка видно, что, например, для p -поляризованного излучения при угле максимально внутреннего отражения 42 градуса отражается всего лишь чуть больше 1%, тогда как для s -компоненты отражается почти 14%.

Строгое рассмотрение двух преломлений и одного отражения для первичной радуги с учетом формул Френеля дает степень поляризации почти 94%, т.е. первичная радуга почти полностью поляризована по касательной к ее дуге. Для вторичной радуги необходимо учесть два преломления и два отражения, кроме того, лучи падают на границы раздела под несколько большими углами, в связи с чем итоговая степень поляризации достигает величины примерно

88%². Таким образом, вторичная радуга тоже поляризована по направлению касательной к ее дуге, но в меньшей степени. Были рассмотрены первые 20 порядков радуги и вычислены интенсивности *s*- и *p*-поляризованных компонент³. Было получено отношение $I_s/I_p = 0.08778 : 0.00425$ для радуги первого порядка и $0.03516 : 0.00371$ для радуги второго порядка.

В целом чем более высокий порядок радуги, тем меньше у нее степень поляризации. Отличие в степени поляризации приводит к тому самому любопытному экспериментальному наблюдению, который был описан в начале решения. Если ориентация поляризатора такова, что полностью проходит *s*-компонента, то первичная (яркая) радуга практически не меняет своей яркости, тогда как вторичная (более тусклая) радуга становится несколько менее яркой по причине подавления *p*-поляризованной компоненты, что на контрасте может выглядеть как исчезновение вторичной радуги на фоне первичной. Когда мы поворачиваем поляризатор на 90 градусов, первичная радуга почти полностью гасится, т. к. ее степень поляризации очень высока. Вторичная же радуга тоже ослабляется, но поскольку в ее составе имеется заметная доля *p*-поляризованного излучения, она подавляется не полностью, и становится более заметной на фоне почти полностью подавленной первичной.

Интересно, что, несмотря на многолетние исследования свойств радуги, физики продолжают заниматься описанием ее свойств. Например, в недавней работе ученых из Университета Нью-Йорка (США)⁴ приведено подробное теоретическое исследование оптических свойств этого интересного явления.

Задача 11

Межзвездным облаком называют скопление газа, пыли и плазмы. Свойства таких межзвездных газовых облаков в зависимости от температуры могут быть разными. В самых холодных и плотных областях межзвездной среды образуются облака, ядра которых содержат молекулярные газы, прежде всего состоящие из молекулярного водорода (H_2). Такие молекулярные облака имеют температуру всего около 1–10 градусов Кельвина и имеют высокую концентрацию частиц пыли. Если вблизи такого облака нет источника света, который вызывает увеличение температуры газа, вызывая тем самым распад молекулярного водорода на атомы, то случайным образом плотность газа может привести к нестабильной гравитации внутри облака и образованию протозвезды. Звезды образуются вследствие гравитационного притяжения частиц друг к другу в облаке. Мешает этому процессу турбулентное движение газов, которое тем интенсивнее, чем выше температура. В более холодных облаках с температурами ниже 10 градусов Кельвина гравитация побеждает турбулентное движение (кстати говоря, это можно показать, написав соответствующие уравнения), и сжатие приводит к рождению звезд.

²Подробное рассмотрение дано в статье: *Graham G.R. Polarization of rainbows, Physics Education (1975). Vol. 10. Issue 1. P. 12* <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9120/10/1/012>

³*Rösch S. Der Regenbogen in Wissenschaft und Kunst, Applied Optics (1968). Vol. 7. Issue 2. P. 233* <https://www.osapublishing.org/ao/abstract.cfm?uri=ao-7-2-233>

⁴*Masatsugu Suzuki, Itsuko Suzuki – Physics of rainbow (2010)* https://www.researchgate.net/publication/269929976_Physics_of_rainbow