

Почему небо голубое?

Введение

Горизонты научных изысканий современной физики уже давно продвинулись далеко за пределы повседневной жизни. Современные ученые сталкивают частицы в коллайдерах, изучая материю на самом фундаментальном уровне, с помощью гигантских телескопов заглядывают в дальние уголки космоса и получают сведения позволяющие судить о самых первых моментах после возникновения вселенной. Всякое направление исследований в физике на данный момент уходит во все большую специализацию, решаемые задачи становятся все более специфичными и менее понятными для людей из других сфер деятельности. Но ведь сама физика как наука начиналась с желания простых людей объяснить явления, встречаемые в повседневной жизни. Почему вещи падают на землю? Почему кипит жидкость? Почему блестит металл? Что такое звук? Какова природа молнии? Откуда берется радуга? Эти и многие другие вопросы с давних пор занимали ум человека и вдохновляли его к изучению природы. Однако, несмотря на кажущуюся простоту и привычность подобных явлений, объяснение многих из них является весьма нетривиальной задачей требующей определенных знаний в разных областях физики. Человеку далекому от науки строгие научные объяснения могут показаться непонятными и вычурными. Но я считаю, что каждый уважающий себя физик должен уметь объяснять всякие явления природы простым понятным языком, так чтобы его мог понять даже ребенок. Как говорил Эйнштейн: «если ты не можешь объяснить этого своей бабушке, значит, ты этого не понимаешь». Ведь это долг любого специалиста вызвать интерес у непросвещенных людей к предмету своего исследования, показать его глубину и значимость. Потому я берусь за объяснение одного из самых привычных явлений повседневной жизни, за объяснение голубого цвета неба. Я намерен понятным языком раскрыть суть данного явления, и с разных сторон рассмотреть всевозможные его проявления. Именно это явление выбрано мной по той причине, что вопрос цвета неба нашел необычное развитие в современной науке, связанное с поиском экзопланет, что наглядно показывает пользу изучения подобных явлений. Подробнее об этом можно узнать в статьях [1], [2]

Почему же небо голубое?

И так, что мы имеем. Мы знаем, что источником дневного света является, конечно же, Солнце. Его свет, падая на поверхность земли, отражаясь, рассеиваясь и частично поглощаясь, попадает на сетчатку нашего глаза и придает привычные облик нашему лучшему из миров. Но почему же среди белого дня небо окрашено в голубой цвет? Ведь, мы знаем, что когда наступает ночь, ничем не освещенное небо принимает естественный черный цвет безжизненного космоса и остается лишь слегка окроплено редкой сыпью из звезд. Почему же днем мы не видим звездного неба? Почему днем оно светится голубым? Почему именно голубым? Почему, например не зеленым или желтым? Тот факт, что небо светится только при свете дня, наводит на мысль, что свечение это результат взаимодействия атмосферы с солнечным светом.

Свет можно представлять себе как колебания электрического и магнитных полей, распространяющиеся в пространстве как электромагнитные волны обладающие амплитудой и длиной. Дневной свет является набором волн с широким спектром длин. Наш глаз способен воспринимать волны длиной от 380 до 780 нм, что называется областью видимого света. Наш мозг интерпретирует длину волны как цвет воспринимаемого света. В вакууме солнечный свет распространяется прямолинейно т.к. ни с чем не взаимодействует. При попадании в атмосферу Земли свет начинает взаимодействовать с газами входящими в ее состав. Одним из эффектов, возникающих при данном взаимодействии, является упругое рассеяние света. Само явление рассеяния заключается в том, что луч свет, попадая на какое либо препятствие, теряет направленность и начинает распространяться в широком диапазоне направлений. Как аналогию можно представить себе диско шар, который рассеивает во все стороны, падающий на него с прожектора луч света (Рис. 1) .

Упругим же рассеяние называется, если рассеянный свет сохраняет изначальную длину волны. Для описания рассеяния важным параметром является отношение линейных размеров рассеивающего препятствия и длины волны падающего света. В атмосфере земли свет рассеивается на флуктуациях плотности газа. В силу того что тепловое движение молекул имеет статистическую природу, локально в объеме газа периодически на короткое время появляются области с повышенной плотностью, что вызывает локальные неоднородности оптических свойств среды, на которых и рассеивается свет [3]. Флуктуации плотности газа имеют размер меньше длинны волны падающего света, что соответствует так называемому Рэлеевскому рассеянию. Так как же это поможет объяснить голубой цвет неба? Даже если свет рассеивается в

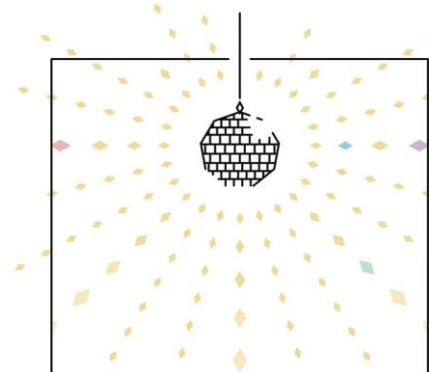


Рис. 1 Диско-шар (ладно)

атмосфере, небо должно светиться тем-же бело-желтым светом, приходящим от солнца. Почему же этого не происходит? Дело в том, что рассеяние обратно пропорционально четвертой степени длины волны.

Не претендуя на математическую строгость, закон Рэлеевского рассеяния можно объяснить следующим образом: неоднородность на которой рассеивается свет можно описать диполем с дипольным моментом \vec{d} , реагирующим на внешнее электрическое поле волны \vec{E} :

$$\vec{d} = \alpha \vec{E}$$

Внешнее поле \vec{E} – поле э/м волны с частотой ω :

$$\vec{d} = \alpha \vec{E}_0 \sin(\omega t) \quad (1)$$

$$\ddot{\vec{d}} = -\omega^2 \alpha \vec{E}_0 \sin(\omega t) \quad (1.1)$$

Интенсивность света, излучаемая диполем, пропорциональна квадрату второй производной дипольного момента:

$$I = \frac{2}{3c^3} |\ddot{\vec{d}}|^2 \quad (2)$$

Следовательно, подставив (1.1) в (2), получим:

$$I \sim \omega^4 \text{ или } I \sim \frac{1}{\lambda^4}$$

Другими словами, проходящая через атмосферу световая волна теряет эту энергию для того, чтобы создавать колебания диполя, который в свою очередь переизлучает свет той же длины волны, причем рассеяние коротковолнового света происходит сильнее. Например, если рассмотреть фиолетовый цвет, то его длина волны примерно в два раза меньше – он будет рассеиваться приблизительно в 16 раз интенсивнее!

На фотографии (Рис.2) приведена воссозданная мной демонстрация данного явления. В качестве рассеивающей среды взята емкость с водой, в которой растворено небольшое количество молока в пропорции пара миллилитров молока на литр воды. Крупные кластеры белковых молекул, содержащихся в молоке, создают рассеивающие свет оптические неоднородности, качественно имитирующие те, что возникают в атмосфере. Через емкость с раствором пропускается белый свет карманного фонарика. На фотографии видно, что пятно прошедшего света стало оранжево-красным, а в самой емкости образовался маленький ломтик июльского неба голубо-сине-фиолетового цвета.



Рис 2 Демонстрация рассеяния света в среде с рассеивающими частицами

Этот же эффект объясняет красный цвет неба на закате. В силу того, что более короткие волны в атмосфере Земли рассеиваются интенсивнее, а во время заката и восхода Солнца свет проходит максимальный путь через атмосферу (Рис.3,а), в прошедшем к наблюдателю свете преобладает длинноволновое излучение. Поэтому на закате и восходе небо красного оттенка.

Есть еще одно природное явление, связанное с изменением цвета луны. Восходящая луна иногда бывает красноватого оттенка. Чем выше луна восходит над горизонтом, тем естественнее ее цвет. (Рис.3,б),

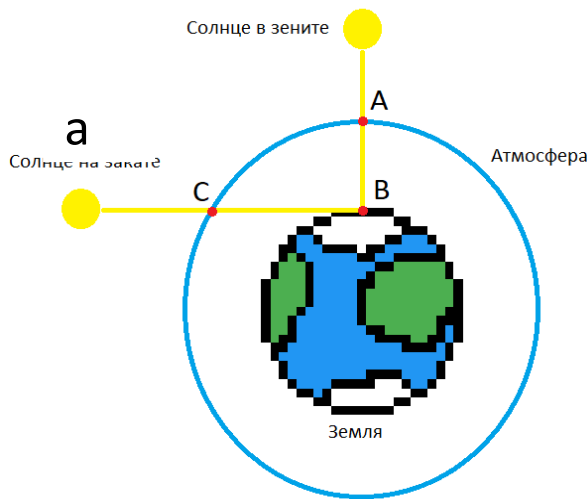


Рис 3.а) Ход лучей солнечного света в разное время суток $AC > AB$. б) Изменение цвета луны во время движения по ночному небу.

Казалось бы, вот и ответ! Днем небо должно светиться цветами с наименьшей длиной волны: голубым, синим и фиолетовым; но почему тогда на самом деле оно не фиолетово-синее, а именно голубое? Ответ на этот вопрос заключается в том, что солнечный свет по своему составу неоднороден. Длины волн в его спектре распределены неравномерно. Спектр солнечного света схож по форме со спектром абсолютно-черного тела с температурой 5778 К (Рис.4).

На рисунке видно, что область видимого света (от 380 до 780 нм), соответствует области спектра с наибольшей интенсивностью. Это не совпадение, а следствие того, что наш глаз есть продукт эволюции, приспособленный к восприятию именно солнечного света. На левом краю области видимого света, соответствующем фиолетовому цвету, в солнечном спектре наблюдается провал — это означает, что в солнечном свете, в видимом диапазоне, содержится меньше компонент фиолетового цвета, чем остальных компонент. Поэтому, несмотря на то, что фиолетовый свет рассеивается в атмосфере интенсивнее, чем синий и голубой, за счет изначального «дефицита» фиолетового в солнечном свете интенсивность рассеянной сине-голубой компоненты оказывается больше. Вдобавок к

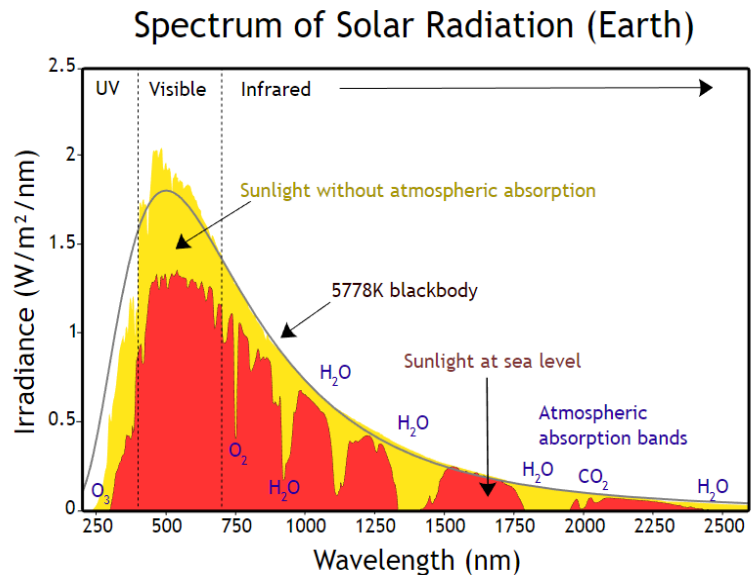


Рис 4 Спектр солнечного излучения

этому, человеческий глаз более чувствителен к синему и голубому, чем к фиолетовому, от чего также небо кажется голубее.

Иначе говоря, цвет неба субъективен и разными людьми или животными может восприниматься по-разному. Например, люди с дальтонизмом или световой слабостью могут видеть небо иначе из-за неправильной работы светочувствительных рецепторов. Хотя большинство разновидностей цветовой слабости затрагивают восприятие зеленого и красного цветов и не изменяют восприятие неба, патология под названием тританопия приводит к нарушению восприятия именно синего и голубого цветов. Для людей с этим заболеванием небо видится изумрудно-зеленым (Рис.5). Впрочем, это

довольно неаккуратное утверждение, и, если выразиться более правильно, цвет неба для них выглядит иначе, потому как иначе воспринимается отношения цветов.

Конечно, мы можем только догадываться, как животные воспринимают цвет неба, однако, данные о строении их фоточувствительных рецепторов дают возможность делать обоснованные предположения.

Например, большинство птиц обладают тетрахроматическим зрением: у них четыре типа колбочек с характерным для каждого типа пиком максимального поглощения. У некоторых птиц пик максимальной чувствительности колбочек отвечает за самую короткую длину волны и приходится на ультрафиолетовый диапазон. Для птиц небо может выглядеть фиолетовым (Рис.6).



Рис 5 Сравнение цвета неба здорового человека и больного тританопией.

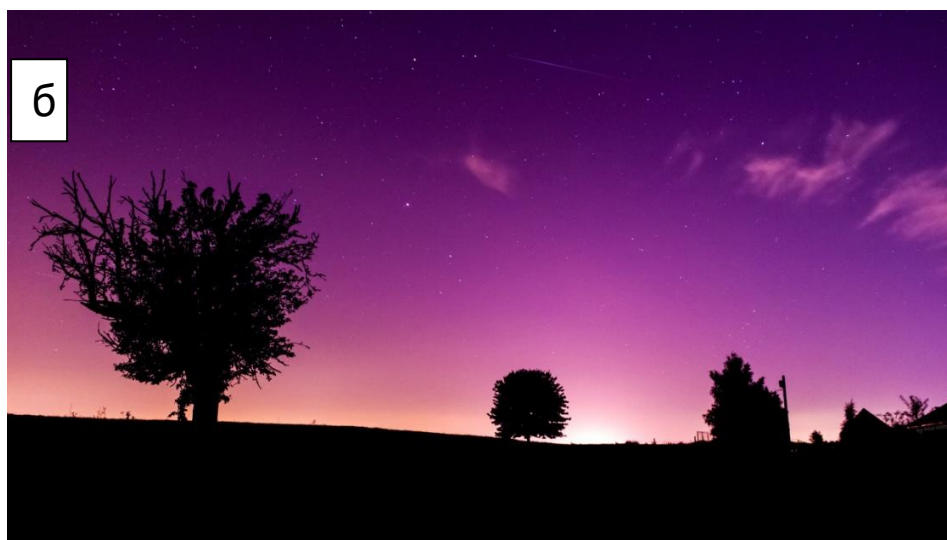


Рис 6. а) предполагаемые различия цветовосприятия человека(слева) и птиц (справа), б) Возможный вид на небо взглядом птицы.

Заключение

Я постарался в доступной форме объяснить природу такого привычного и, казалось бы, простого явления как голубой цвет неба. Моей целью было показать важность размышлений на такие темы, они в очередной раз показывают, что природа всегда сложнее, чем кажется, что все явления в ней связаны, и, разобравшись в сути одних, начинаешь лучше понимать другие. Мне было очень приятно поразмышлять над этим, можно сказать детским вопросом, ведь это и вправду один из тех вопросов, которые любят задавать дети, и которым когда то задавался и я.

Список литературы

1. Krissansen-Totton J. et al. Understanding planetary context to enable life detection on exoplanets and test the Copernican principle //Nature Astronomy. – 2022. – Т. 6. – №. 2. – С. 189-198.
2. Birkby J. Spectroscopic direct detection of exoplanets. – 2018
3. Григорий Самуилович Ландсберг. Оптика 1976.г с.584

