

М.И. Баранов

АНТОЛОГИЯ ВЫДАЮЩИХСЯ ДОСТИЖЕНИЙ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ. ЧАСТЬ 29: ПЕРВООТКРЫВАТЕЛИ ТАЙН ГЛОБАЛЬНЫХ ПРИРОДНЫХ СВЕТОВЫХ ЯВЛЕНИЙ

Наведено короткий науково-історичний нарис про розкриття вітчизняними і зарубіжними вченими-першопроходцями електрофізичних і електрохімічних таємниць ряду природних світлових явищ, що носять для людства глобальний планетарний характер і які супроводжують протікання в навколосемному атмосферному просторі полярного сяйва, веселки і фотосинтезу. Бібл. 31, рис. 15.

Ключові слова: історія, планета Земля, полярне сяйво, веселка, фотосинтез, видатні наукові досягнення.

Приведен краткий научно-исторический очерк про раскрытие отечественными и зарубежными учеными-первопроходцами электрофизических и электрохимических тайн ряда природных световых явлений, носящих для человечества глобальный планетарный характер и сопровождающих протекание в околоземном атмосферном пространстве полярного сияния, радуги и фотосинтеза. Библ. 31, рис. 15.

Ключевые слова: история, планета Земля, полярное сияние, радуга, фотосинтез, выдающиеся научные достижения.

Введение. С появлением и прогрессивным развитием на нашей планете наук ученые-естествоиспытатели стали активно трудиться над разгадкой тайн многих явлений, протекающих в околоземном пространстве. К числу таких физических явлений на первых этапах изучения ими природы, прежде всего, относились те, которые человеком-исследователем можно было наблюдать в земной атмосфере невооруженным глазом. Позже любознательных людей и специалистов стали интересовать физико-химические процессы, протекающие в растительном мире на микро- и макроуровнях и сопровождающие рост и развитие земной флоры. Они понимали, что в этих процессах определяющим внешним фактором является дневной свет, несущий с собой поток энергии. Каким образом этот природный энергетический поток приводит к рождению в клетках растений их строительного материала – углеводов (явление *фотосинтеза* [1]) ученым предстояло еще выяснить и подробно изучить. Аналогичные вопросы перед людьми вставали при наблюдении ими во время или после дождя в дневной атмосфере и другого не менее завораживающего человеческого взор цветного зрелища – *радуги*. Было ясно, что и здесь основной причиной подобного природного явления являются солнечные лучи света. Своей научной разгадки требовало и наблюдаемое людьми в течение столетий за полярными кругами (параллелями, отстоящими на север и юг от земного экватора на $66^{\circ}33'$ [1]) и другое красочное природное световое явление – *полярное сияние*, возникающее в земной атмосфере преимущественно в северных и южных приполярных областях Земли в виде быстро меняющегося многократного свечения отдельных участков ночного неба.

1. Краткие сведения о «солнечном ветре». В современной астрофизике под «*солнечным ветром*» (англ. название – «*solar wind*») понимается поток суперинионизированных частиц (в основном от гелиево-водородной плазмы), быстро истекающий из солнечной короны со скоростью (300-1200) км/с в окружающее космическое пространство [2]. Он (этот «ветер») является одним из основных компонентов межпланетной среды в Солнечной системе. Читателю

не следует путать понятия «солнечный ветер» (поток ионизированных частиц, долетающий от Солнца до Земли за 2-3 земных суток) и «солнечный свет» (поток фотонов, долетающий от Солнца до Земли за примерно 8 мин. 16 сек.) [2]. На рис. 1 приведено в упрощенном виде изображение «солнечного ветра», воздействующего на земную магнитосферу, имеющую размер по радиусу около 70 тыс. км [3]. Сейчас в отношении иных звезд Вселенной широко употребляется термин «звёздный ветер». В этой связи по отношению к «солнечному ветру» можно говорить о том, что это «звёздный ветер Солнца» [2]. В настоящее время учеными-астрофизиками установлено, что многие природные физические явления на Земле связаны с «солнечным ветром» (в том числе и такие явления космической погоды как геомагнитные бури и полярные сияния) [4]. Напомним, что геомагнитная буря – возмущение магнитного поля Земли (по индукции до 1 мкТл при геомагнитном поле на земном экваторе до 50 мкТл и земных полюсах до 90 мкТл) длительностью от нескольких часов до нескольких суток [4]. Небезынтересно, что из-за «солнечного ветра» наше космическое светило – Солнце теряет ежесекундно до четырех миллионов тонн вещества [2].

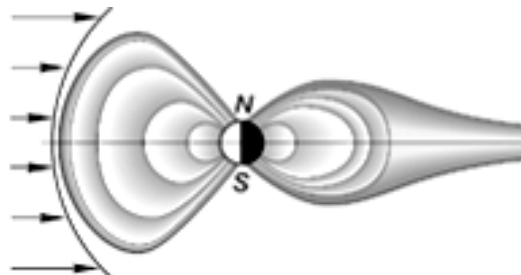


Рис. 1. Схематическое изображение потока «солнечного ветра» (показан слева стрелками) и магнитосферы Земли [2]

К указанному выше следует добавить, что около 20-ти лет тому назад ученые-астрофизики предположили, что в космосе есть ветер – «*космический ветер*». И вот совсем недавно ученые из Европейского союза наук о Земле (EGO) обнаружили «плазмосферный ветер», который способствует утечке материала

© М.И. Баранов

из плазмосферы Земли – области космоса, расположенной над земной атмосферой [2, 4]. Исследователи из EGO с помощью космического аппарата *Cluster* в 2010 году обнаружили медленный, но устойчивый «ветер», который надувает (вносит) около 90 т плазмы во внешнюю магнитосферу Земли каждый день. Причем, это движение плазмы в сторону нашей планеты происходит постоянно, даже когда биполярное магнитное поле Земли не бомбардируется «солнечным ветром» – энергетическими частицами (ионами, протонами, электронами и др.), исходящими от Солнца. Отметим, что плазмосфера Земли – самое важное хранилище плазмы в магнитосфере нашей планеты, играющее важную роль в управлении поясами радиации Земли, которые опасны как для спутников, так и астронавтов (космонавтов), пролетающих через них [4].

При рассмотрении указанных «космического и солнечного ветров» нам не следует забывать и о *космических лучах* [1, 2], приходящих на Землю из необъятного космического пространства нашей Вселенной и представляющих собой поток элементарных частиц сверхвысоких энергий (до 10^{15} – 10^{18} эВ, что в миллионы раз больше энергии заряженных частиц – протонов, ускоряемых ныне физиками в самом мощном ускорителе мира – Большом адронном коллайдере), состоящий главным образом из атомных ядер и протонов (*первичное излучение*). Это излучение создает в атмосфере Земли *вторичное излучение*, включающее в себя все известные нам элементарные частицы [5-7]. Открыты космические лучи были в 1912 году В.Ф. Гессом в опытах по исследованию ионизированных газов, проводимых в Радиевом институте Австрии (г. Вена) и связанных с подъемом в атмосфере Земли на воздушном шаре детектора ионизации [8]. При подъеме на воздушном шаре данного детектора-электроскопа он обнаружил, что по мере увеличения высоты над Землей растет и ионизация атомов воздуха, регистрируемая его прибором. Такой рост ионизации с высотой мог быть вызван только высокоэнергетическими частицами внеземного происхождения. За данное научное открытие в 1936 году австрийскому физическому Виктору Гессу была присуждена Нобелевская премия по физике [7]. В 1947 году Ф. Хойлом была выдвинута гипотеза, что источником космических лучей являются сверхновые звезды (позже к этому пришли также Д. Тер Хаар и С. Хаякава) [7, 9]. На комплексное изучение возникающих каскадов вторичных частиц в земной атмосфере, вызванных космическими лучами сверхвысоких энергий, была направлена в бывшем СССР и ныне в Российской Федерации деятельность одной из сильнейшей в мире научной школы физиков-ядерщиков, сформировавшейся в середине 20-го столетия в МГУ им. М.В. Ломоносова и возглавляемой в то время академиком АН СССР Дмитрием Владимировичем Скобельцыным [7, 8].

Здесь следует отметить и то, что впервые поток плазмы солнечного происхождения («солнечный ветер») был зарегистрирован аппаратурой советской космической станции «Луна-1» в 1959 году, а полученные на ней научные данные были обработаны в Институте космических исследований АН СССР Константином Грингаузом [10].

Истечения плазмы из короны Солнца было экспериментально установлено также в результате многомесячных измерений, выполненных аппаратурой американской автоматической межпланетной станции «Маринер-2» в 1962 году (данные этой станции были представлены в печати Марсией Нейгебауэр) [10].

2. Краткие сведения о солнечном излучении.

Известно, что Солнце, отстоящее от Земли примерно на 150 млн. км, состоит из водорода (71 %), гелия (27 %) и твердой материи (2 %) [11]. Плотность вещества Солнца составляет около 1408 кг/м^3 . Температура вблизи солнечного ядра составляет примерно $16 \cdot 10^6 \text{ К}$, а на его поверхности (фотосфере) – около 5770 К [5, 11]. Мощность лучистой энергии, излучаемой Солнцем, приблизительно составляет 63 МВт с каждого квадратного метра его поверхности [11]. Поэтому его полная мощность составляет около $3,72 \cdot 10^{20} \text{ МВт}$. Плотность потока мощности *солнечного излучения*, достигающего атмосферы Земли, составляет в среднем $1,367 \text{ кВт/м}^2$ [11]. Эту величину принято называть солнечной постоянной [5]. Различные процессы внутри Солнца и на его поверхности (например, солнечные пятна и вспышки) приводят к флуктуациям этой величины, не превышающим 0,1 % [11]. За счет Солнца на нашу планету поступает 99,98 % всей необходимой для существования на ней биологической жизни энергии (остальная энергия – геотермальная) [11]. В безоблачный день плотность потока мощности солнечного излучения, достигающего земной поверхности в местный полдень, обычно находится в интервале от 700 до 1300 Вт/м^2 в зависимости от широты, долготы, высоты над уровнем моря и времени года [11]. Солнечное излучение включает в себя ультрафиолетовое излучение, видимый свет и ближнее инфракрасное излучение. Максимальная интенсивность солнечного излучения приходится на диапазон видимого спектра (излучение с длиной электромагнитной волны от 400 до 800 нм [5]). Интенсивность ультрафиолетового и инфракрасного излучения, приходящего на Землю от Солнца, очень мала. При прохождении через земную атмосферу одна часть солнечного излучения рассеивается молекулами газов, аэрозольными частицами, каплями воды и кристаллами льда, а другая его часть достигает поверхности Земли. Молекулы газов и аэрозоли отвечают за большую часть поглощения солнечного излучения в земной атмосфере. Рассеивание солнечного излучения на каплях воды и кристаллах льда происходит во всем спектральном диапазоне. Молекулы же в основном рассеивают солнечное излучение коротких длин волн, а аэрозоли – более длинных. Считается, что когда Солнце находится у нас прямо над головой, оптическая масса атмосферы является минимальной и по определению имеет для этой местности атмосферную массу, равную 1,0. Когда же Солнце опускается к горизонту, то оптическая масса атмосферы увеличивается примерно в 11 раз и ее влияние на поглощение и рассеивание солнечного излучения становится значительно больше. Некоторые из этих природных световых процессов мы часто наблюдаем в атмосфере Земли. Молекулы земной атмосферы намного сильнее рассеивают короткие электромагнитные волны светового излучения, чем

более длинные (случай рэлеевского рассеивания [5]). Поэтому, когда Солнце находится высоко над горизонтом, то из-за прохождения солнечных лучей в сравнительно малой оптической массе земной атмосферы небо для нас выглядит сине-голубоватым. Когда же наше Солнце находится вблизи горизонта, то короткие электромагнитные волны солнечного излучения, проходя через толстый слой (сравнительно большую оптическую массу) атмосферы, испытывают полное рассеивание. Вот поэтому небосклон по утрам и вечерам выглядит для землян красноватым [5, 11]. Одна часть солнечного излучения, достигающего земной поверхности, отражается от нее, а другая часть – поглощается. Снег и лед имеют высокую отражательную способность (*альбедо*) для солнечных лучей, а темные и неровные участки поверхности Земли – более низкую. Определенная часть солнечного излучения, которая поглощается земной поверхностью, излучается обратно в атмосферу в ближнем инфракрасном диапазоне. Молекулы углекислого газа (CO_2), метана (CH_4) и водяного пара (H_2O), содержащиеся в атмосфере Земли, способны поглощать этот вид электромагнитного излучения, нагревая, в свою очередь, земную атмосферу в целом. Этим и определяется на Земле так называемый «парниковый эффект» [11].

3. Полярное сияние на Земле. Одним из первых ученых мира, обративших свой пылкий взор на физику северного *полярного сияния*, оказался выдающийся российский ученый и основоположник естествознания в Российской империи, академик Петербургской АН (РАН) и основатель Московского государственного университета – МГУ Михаил Васильевич Ломоносов (1711-1765 гг.) [7]. В своей работе «Сообщение о наблюдениях, подтверждающих электрическую природу северного сияния» (1753 год) он впервые в мире указал на электрическую природу этого крупномасштабного атмосферного явления [12]. В грубом виде он оценил даже высоту над поверхностью Земли, на которой возможно протекание этого природного светового явления [13]. Из научного наследия этого ученого следует, что он предпринимал попытки по нахождению физической связи между оптическими и электрическими явлениями в природе [12, 14]. На основе подобных подходов, ничего не зная в середине 18-го столетия о существовании и движении в нижних слоях магнитосферы Земли элементарных заряженных частиц (корпускул), он и попытался объяснить в общих чертах явление северного полярного сияния. Напомним, что в 1753 году им была разработана теория атмосферного электричества, основанная на движении микроскопических частиц окружающего эфира. Физическую природу происхождения в земной атмосфере этого рода электричества он связывал с движением теплых восходящих и холодных нисходящих потоков воздуха, приводящим к электризации воздушной атмосферы [12, 14]. Ему принадлежит «пальма» первенства в разработке теории цветов. Он был сторонником волновой природы дневного света (солнечного излучения).

После М.В. Ломоносова в исследованиях северного полярного сияния (южное полярное сияние в то

время из-за удаленности приантарктических районов было практически для европейских и американских ученых недоступно, а иных научных школ в мире тогда еще не существовало) наступило затишье на целых чуть ни 150 лет. Только в конце 19-го столетия «эстафетную палочку» в изучении полярного сияния на Земле подхватили скандинавские ученые-физики.

Норвежский физик Кристиан Биркеланд (рис. 2), являвшийся профессором университета в г. Осло (с 1898 года) и академиком Норвежской АН (с 1901 года), одним из первых оценил важность движения заряженных космических частиц в магнитном поле планет для физики космоса [15, 16]. Исходя из этого, он объяснил возможность возникновения полярного сияния вблизи северного полюса Земли [7]. К. Биркеланд оказался первым ученым, который на основе законов физики сумел объяснить суть явления полярного сияния на Земле. Он организовал несколько научных экспедиций в область высоких широт Норвегии, где им была установлена сеть физических обсерваторий в районах северного полярного сияния для сбора данных о магнитном поле в этих районах. Результаты норвежской полярной экспедиции, проводимой К. Биркеландом в период 1899-1900 гг., содержали первые результаты наземных измерений постоянного магнитного поля и глобальной структуры электрических токов в полярном регионе Земли [15]. Заметим, что К. Биркеланд одним из первых предсказал существование и «солнечного ветра» (1916 год), состоящего из электронов и положительно заряженных ионов [16].



Рис. 2. Известный норвежский физик Кристиан Олаф Бернхард Биркеланд (1867-1917 гг.), внесший большой вклад в изучение северного полярного сияния на Земле [16]

О чем свидетельствуют современные научные познания и достижения в области физики полярных сияний? Северное (южное) полярное сияние у планет Солнечной системы это свечение (люминесценция) верхних слоёв атмосфер планет, обладающих магнитосферой, вследствие их (этих разряженных слоев) взаимодействия с заряженными частицами «солнечного ветра» [17]. Кстати, согласно [1] термин «люминесценция» происходит от двух лат. слов «*luminis*» – «свет» и «*escent*» – «слабое действие» и обозначает холодное свечение веществ, возбуждаемое каким-либо внешним источником энергии (например, радиоизлучением, электрическим разрядом или химической

реакцией). При столкновении высокоэнергетичных частиц плазменного потока «солнечного ветра» с верхней атмосферой планет происходит возбуждение атомов и молекул газов, входящих в её состав. Именно излучение возбуждённых атомов этих слоев атмосферы обычно в видимом диапазоне и наблюдается нами как полярное сияние. Причем, спектры полярных сияний зависят от состава атмосфер тех или иных планет. Например, если для Земли наиболее яркими линиями свечения являются линии излучения возбуждённых атомов (O) и молекул (O₂) кислорода, а также атомов (N) и молекул (N₂) азота в видимом диапазоне, то для Юпитера – линии излучения атомов (H) и молекул (H₂) водорода в ультрафиолете [17]. Для земных полярных сияний самыми интенсивными являются линии излучения атомарного кислорода (O) и ионизированных молекул азота (N₂). Высота появлений полярных сияний достаточно сильно зависит от параметров атмосферы планеты. Так, для Земли с её достаточно сложным составом атмосферы красное свечение кислорода наблюдается на высотах (200-400) км, а совместное свечение азота и кислорода – на высоте примерно 110 км. Кроме того, эти факторы обуславливают и форму полярных сияний – размытая верхняя и достаточно резкая нижняя границы [17]. Полярные сияния наблюдаются преимущественно в высоких широтах обоих земных полушарий в овальных зонах-поясах (авроральных овалах), окружающих магнитные полюса. Диаметр авроральных овалов для Земли составляет около 3000 км во время спокойного Солнца. Причем, на ее дневной стороне граница зоны отстоит от магнитного полюса на 10-16°, а на ночной – на 20-23° [17]. Поскольку магнитные полюса Земли отстают от ее географических полюсов на около 12°, то полярные сияния обычно наблюдаются в широтах 67-70°. Однако, во времена солнечной активности авроральный овал расширяется и полярные сияния могут наблюдаться и в более низких широтах – на 20-25° южнее или севернее границ их обычного проявления [17]. Установлено, что спектр полярных сияний на Земле меняется с высотой над ее поверхностью. В зависимости от преобладающих в спектре этого сияния линий излучения земные полярные сияния делятся на два типа [17]: высотные полярные сияния типа А с преобладанием атомарных линий свечения и полярные сияния типа В на относительно небольших высотах (80-90) км с преобладанием молекулярных линий свечения в спектре вследствие столкновительного гашения атомарных возбужденных состояний в сравнительно плотной атмосфере Земли на этих высотах. В ходе изучения полярных сияний астрофизиками было обнаружено, что свечение кислорода обусловлено излучением его возбужденных атомов в метастабильных состояниях с длинами волн 557,7 нм (зелёная линия, время жизни ~0,74 с) и дублетом 630 и 636,4 нм (красная область, время жизни ~110 с) [17]. Вследствие этого красный дублет излучается на высотах (150-400) км, где вследствие высокой разреженности атмосферы низка скорость гашения возбужденных состояний этих атомов при столкновениях. Ионизированные молекулы азота излучают свет в диапазоне 391,4 нм (ближний

ультрафиолет), 427,8 нм (фиолетовый цвет) и 522,8 нм (зелёный цвет). Исследователи этого природного феномена на основе результатов своих многочисленных наблюдений отмечают то одно обстоятельство, что каждое явление полярного сияния на Земле (рис. 3) обладает своей неповторимой цветной гаммой и формой в силу непостоянства химического состава газов ее атмосферы и погодных земных факторов [18].



Рис. 3. Внешний вид северного полярного сияния зимой на Аляске (США), содержащего зеленые «всполохи» света [17]

На рис. 4 приведен потрясающий человеческое воображение вид северного полярного сияния на Земле. При наблюдении с поверхности Земли полярное сияние проявляется в виде общего быстро меняющегося свечения неба или движущихся лучей, полос, корон и «занавесей». При наблюдении полярного сияния на Земле с космоса оно может принимать вид, показанный на рис. 5 (северное) и рис. 6 (южное) [17].



Рис. 4. Сказочная картина на Земле северного полярного сияния зимой на Севере России с преобладанием зеленого свечения (снимок сделан в пригороде г. Архангельска) [17]

Во время полярного сияния в земной атмосфере за короткое время выделяется огромное количество энергии. Так, за одно из зарегистрированных физиками в 2007 году возмущений атомов и молекул при подобном природном световом явлении в атмосфере Земли выделилась энергия, равная около $5 \cdot 10^{14}$ Дж [17]. Для сравнения заметим, что эта величина энергии примерно соответствует той, которая выделяется во время землетрясения магнитудой в 5,5 баллов [17].



Рис. 5. Внешний вид фрагмента северного полярного сияния на Земле, снятого с орбитального космического аппарата и содержащего преимущественно зеленое свечение [19]

Длительность земных полярных сияний составляет от десятков минут до нескольких суток. Раньше считалось, что полярные сияния в северном и южном полушариях Земли являются симметричными. Однако, одновременные наблюдения из космоса полярного сияния в мае 2001 года со стороны северного и южного полюсов показали, что северное и южное полярные сияния существенно отличаются друг от друга [19].

Из уникальных данных (рис. 6) видно, что светящийся авроральный овал кольцевой формы южного полярного сияния полностью охватывает наш самый южный континент – Антарктиду (слева вверху от зеленоватого кольца данного аврорального овала виднеется пятый земной континент – далекая Австралия).

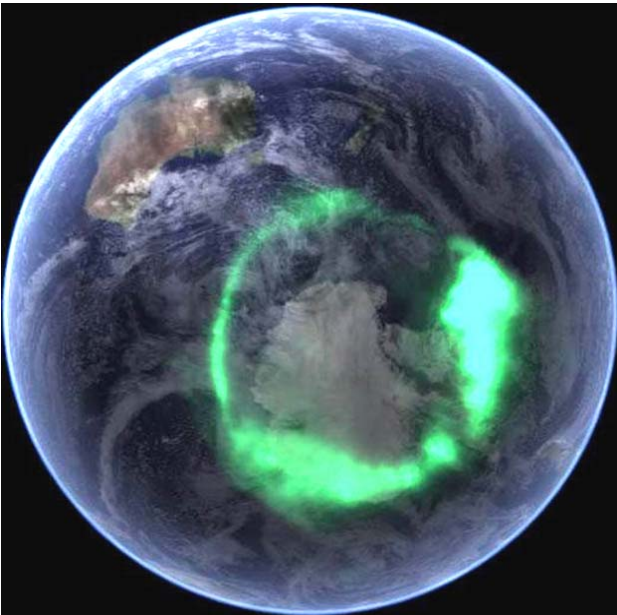


Рис. 6. Внешний вид полного южного полярного сияния на Земле, снятого с геостационарного искусственного спутника и содержащего неравномерное зеленое свечение [19]

Не менее потрясающий вид по сравнению с полярным сиянием на Земле имеет и южное полярное сияние на Сатурне (рис. 7), зарегистрированное с космоса 24, 26 и 28 января 2004 года американским космическим телескопом «Хаббл» [19, 20].

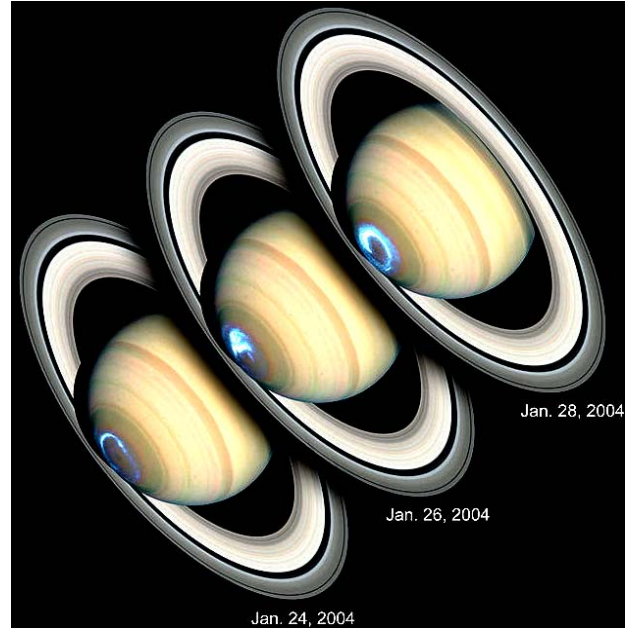


Рис. 7. Внешний вид динамики аврорального овала южного полярного сияния на Сатурне (комбинированный снимок астрономов США в ультрафиолете и видимом свете) [19]

4. Земная радуга. Из всемирной истории физической оптики следует, что в 1666 году выдающийся английский ученый и один из создателей классической механики и физики Исаак Ньютон (1643-1727 гг.) при помощи трехгранной стеклянной призмы (рис. 8) разложил видимый белый свет (солнечное излучение) на теперь хорошо известных всем нам семь цветов (в *цветной спектр*, содержащий красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый цвета) [7, 12].

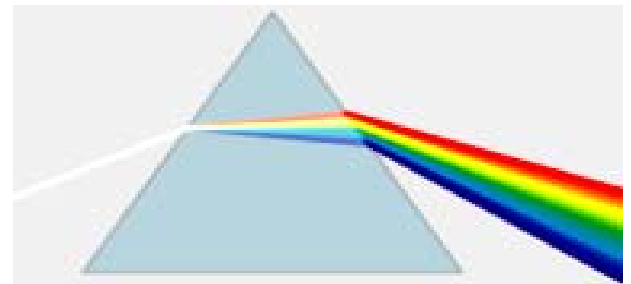


Рис. 8. Схематическое изображение преломления света при его переходе в среду с иной оптической плотностью [21]

Этими опытами И. Ньютон впервые в мире доказал сложность видимого дневного света и открыл **явление дисперсии света** (этот термин происходит от лат. слова «*dispersus*» – «*рассеянный*» [1]) – разложение белого света в спектр, вызванное зависимостью фазовой скорости распространения в среде входящих в него отдельных световых волн от их длины (частоты колебаний) [5]. Он впервые исследовал также для дневного света его **интерференцию** (это название происходит от лат. слов «*inter*» – «*между*» и «*ferens*» – «*несущий*» [1]) – явление, наблюдаемое при сложении когерентных световых волн и сопровождающееся усилением волн в одних точках пространства и их ослаблением в других в зависимости от разности фаз интерферирующих волн [5], а также и **дифракцию**

(этот термин происходит от лат. слова «*diffRACTus*» – «разломанный» [1]) – явление огибания световыми волнами препятствий на пути их распространения [5]. Почему автор акцентирует внимание читателя на этих классических физических понятиях? Ответ здесь прост – все эти физические понятия имеют прямое отношение к предмету нашего рассмотрения – *радуге* [21], сложному природному световому явлению, наблюдаемому людьми в земной дневной атмосфере.

На рис. 9 приведен общий вид земной радуги, наблюдаемой обычно в солнечный день в воздушной атмосфере Земли, содержащей водяные капельки [21].



Рис. 9. Земная первичная радуга в присутствии водяной мелкодисперсной пыли, образующейся в солнечный день в воздушной атмосфере от водопада Такаккау (Канада) [21]

Как образуется радуга? Данные рис. 10 поясняют основы физики этого сложного светового явления [5].

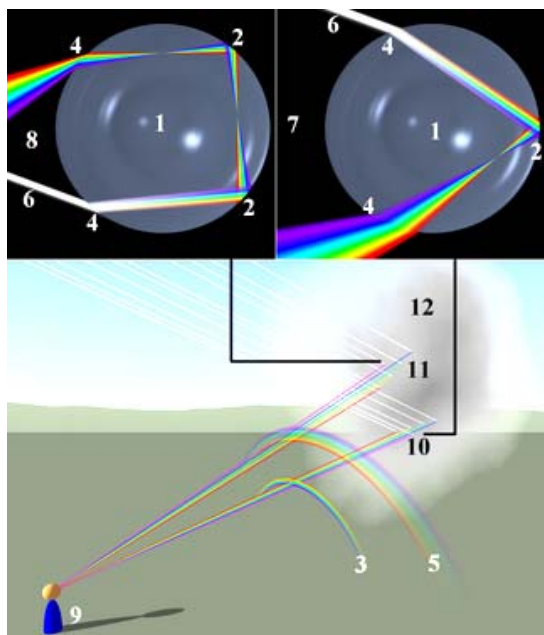


Рис. 10. Схема образования земной радуги (1 – сферическая капля воды; 2 – внутреннее отражение; 3 – первичная радуга; 4 – преломление; 5 – вторичная радуга; 6 – входящий луч света; 7 – ход лучей при формировании первичной радуги; 8 – ход лучей при формировании вторичной радуги; 9 – наблюдатель радуги; 10 – область формирования первичной радуги; 11 – область формирования вторичной радуги; 12 – объемное облако из сферических мелких капелек воды) [21]

Прежде всего, укажем то, что радуга это комплексное (оптическое плюс метеорологическое) атмосферное явление, наблюдаемое при освещении Солнцем (иногда

Луной) множества водяных капелек (дождя или тумана) [21]. Радуга выглядит как разноцветная дуга или окружность, состоящая из указанных цветов спектра (от ее внешнего края красный и далее оранжевый, желтый, зелёный, голубой, синий и фиолетовый). При этом следует иметь в виду то, что на самом деле спектр в радуге непрерывен. Его цвета плавно переходят друг в друга через множество промежуточных оттенков. Причем, центр окружности, описываемой радугой, лежит на прямой, проходящей через наблюдателя и Солнце (см. рис. 10). При наблюдении радуги Солнце всегда находится за спиной наблюдателя. Для наблюдателя, находящегося на земной поверхности, радуга обычно выглядит как разноцветная дуга (часть окружности). Чем выше точка ее наблюдения – тем она полнее (с высокой горы или самолёта можно увидеть и полную ее цветную окружность) [21]. Когда Солнце поднимается над горизонтом выше 42° , радуга с поверхности Земли становится не видной. Установлено, что радуга представляет собой *каустику*, возникающую при преломлении и отражении внутри сферических водяных каплей плоскопараллельного пучка света. Оптически прозрачная капля воды по-разному отклоняет дневной свет разных цветов (длин волн). Отметим, что показатель преломления воды для более длинноволновой (красной) волны света меньше, чем для коротковолновой (фиолетовой) волны света [5]. Поэтому красный свет в водяной капле (см. рис. 10) отклоняется на $137^\circ 30'$, а фиолетовый свет – на $139^\circ 20'$ [21]. Именно в результате этого белый солнечный свет каплей воды разлагается в спектр (*явление дисперсии света*) [5]. Поэтому наблюдатель, который стоит спиной к источнику света – Солнцу, будет видеть разноцветное свечение, исходящее из насыщенного водяными капельками атмосферного пространства обычно по концентрическим дугам окружности. При этом солнечные лучи разного цвета, идущие от дуги радуги, будут образовывать конус с вершиной в зрачке наблюдателя и осью, проходящей через наблюдателя и Солнце [21]. Причем, характер этого свечения будет зависеть от числа отражений дисперсионного пучка света, состоявшихся внутри сферической капли воды. Если в сферических каплях воды происходит одно такое внутреннее отражение света (поз. 7 на рис. 10), то будет наблюдаться только *первичная радуга* [21]. В первичной радуге красный цвет находится снаружи дуги (см. рис. 9), угловой радиус которой для наблюдателя составляет около $40\text{--}42^\circ$. В случае, когда в сферических каплях воды происходит два внутренних отражения света (поз. 8 на рис. 10), то нами будет наблюдаться и *вторичная радуга* [21]. На основе многочисленных наблюдений физиками было установлено, что во вторичной радуге наблюдается «перевернутый» порядок следования цветов: снаружи ее находится фиолетовый цвет, а внутри – красный. Для вторичной радуги угловой радиус ее цветной дуги по отношению к наблюдателю составляет примерно $50\text{--}53^\circ$. Небо между указанными двумя видами земной радуги (первичной и вторичной радугами) обычно заметно более тёмное, чем вне одиночной первичной радуги. Эта область в теории радуги получила название «*полосы Александра*» [21].

На рис. 11 приведен тот редкий случай, когда в дневной воздушной атмосфере Земли, содержащей мелкодисперсные капельки воды, одновременно проявляются первичная и вторичная радуги [5, 21].



Рис. 11. Редкое фото, на котором одновременно видны первичная (слева) и вторичная (справа) радуги в дневной воздушной атмосфере Земли, насыщенной каплями воды [21]

Научное объяснение явлению радуги в земной атмосфере впервые дал выдающийся французский математик и физик Рене Декарт (1596-1650 гг.) в 1637 году [7, 22]. Он объяснил радугу на основании законов преломления и отражения солнечного света в сферических каплях выпадающего дождя. В 1667 году И. Ньютон, открывший явление дисперсии белого света при его переходах и преломлениях в средах с различной оптической плотностью, дополнил указанную теорию Р. Декарта [22]. Несмотря на то, что теория радуги Декарта – Ньютона была создана около 350 лет тому назад, она в целом физически правильно на основе законов лишь геометрической оптики объясняет основные особенности радуги: положение ее главных цветных дуг, их угловые размеры относительно наблюдателя и расположение цветов в радуге. В действительности же, физическая проблема такого сложного природного светового явления в атмосфере Земли как радуга не ограничивается лишь рамками геометрической оптики. Ее решение требует привлечения всех наших знаний о природе света [23]. При протекании в земной атмосфере этого явления проявляются как волновые свойства света, включающие его интерференцию, дифракцию и поляризацию, так и его корпускулярные свойства. Поэтому для точного описания феномена земной радуги потребовались самые мощные современные методы математической физики. В заключение этого раздела отметим, что последовательная количественная теория земной радуги была разработана лишь в самое недавнее время [24]. Ее автором стал Х.М. Нуссенцвейг – профессор физики из университета г. Сан-Пауло (Бразилия) [24].

5. Фотосинтез в атмосфере Земли. На нашей планете явление фотосинтеза является основным природным источником образования практически всех органических веществ из неорганического сырья. Слово «фотосинтез» означает буквально «создание чего-то под действием солнечного света». Согласно [1] **фотосинтез** – образование в клетках зеленых

растений и водорослей, а также в некоторых микроорганизмах углеводов из углекислого газа (CO_2) и воды (H_2O) под действием солнечного света в диапазоне его видимого спектра электромагнитного излучения, поглощаемого светочувствительным пигментом (главным образом *хлорофиллом*). Зеленые растения (биологи называют их *автотрофами*) являются основной биологической жизни на планете Земля. Именно с них на нашей планете начинаются практически все пищевые цепи. Они (зеленые растения) превращают электромагнитную энергию, падающую на них в форме солнечного света, в химическую энергию, запасаемую в синтезированных ими углеводах, из которых важнейшим для жизнедеятельности животных и микроорганизмов является органическое соединение из класса моносахаридов в виде шестиуглеродного сахара – глюкозы (название этого термина происходит от греч. слова «*glykys*» – «*сладкий*» [1]) [25]. Вот именно этот процесс преобразования в природе энергии и называется фотосинтезом. Поедая зеленые растения, водоросли и указанные микроорганизмы, все другие живые организмы на нашей планете получают доступ к этой аккумулированной в них энергии. Таким путем на Земле создается пищевая цепь, поддерживающая планетарную экосистему [25]. Зеленые растения в процессе фотосинтеза поглощают из окружающей их атмосферы углекислый газ (CO_2), образовавшийся при дыхании животных, и выделяют кислород (O_2) – продукт жизнедеятельности этих растений [25]. Поэтому воздух, которым дышат все живые организмы, благодаря фотосинтезу насыщается кислородом. Кроме того, как оказалось в дальнейшем фотосинтез играет важнейшую роль в круговороте углерода в нашей природе, входящего в состав всего сущего на Земле [26]. Процесс фотосинтеза необходим для поддержания всех форм жизни на Земле [26].

На мой взгляд, удивительным фактом в мировом естествознании оказалось то, что при всей своей важности явления фотосинтеза для планеты Земля, ее флоры и фауны ученые-биологи, по-видимому, из-за сложности этого природного светового явления очень долго не приступали к его изучению. После первых экспериментов по косвенному изучению явления фотосинтеза, проведенных в 1624 году фламандским (нидерландским) врачом Ван Гельмонтом (при выращивании в течение ряда лет дерева в кадке с землей неизменного объема он пришел к выводу, что древесный строительный материал, из которого образовались ствол и ветви с листьями этого дерева, произошел из воды, использованной для полива) [26], на несколько столетий наступило затишье в разгадке тайн этого природного светового явления, носящего для нас глобальный планетарный характер. Отметим, что в то далекое от нас время в Нидерландах в семье мастера очков Ханса Янсена уже был изобретен прототип оптический микроскоп, являвшийся одним из физических инструментов при исследовании явлений природы [20]. Только в 1905 году известный английский физиолог растений Фредерик Блэкман (рис. 12) провел соответствующие экспериментальные исследования и установил основные процессы, протекающие при явлении фотосинтеза [26]. Он показал,

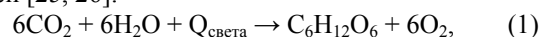
что для зеленых растений [26]: фотосинтез начинается уже при слабом солнечном освещении; скорость фотосинтеза возрастает с увеличением светового потока, но, начиная с определенного уровня, дальнейшее усиление освещения уже не приводит к повышению активности явления фотосинтеза. Ф. Блэкман установил, что повышение температуры при слабом освещении не влияет на скорость фотосинтеза у растений. При одновременном повышении температуры и освещения скорость фотосинтеза для растений возрастает значительно больше, чем при одном лишь усилении освещения [26]. На основании этих экспериментов Ф. Блэкман заключил, что при фотосинтезе в зеленых растениях происходят два процесса: один из них в значительной степени зависит от уровня солнечного освещения, но не от температуры, тогда как второй сильно определяется температурой независимо от уровня дневного света [18]. Эти два процесса получили названия «*световой и темновой фаз*». Именно это научное озарение Ф. Блэкмана легло в основу современных представлений о фотосинтезе на Земле [26].



Рис. 12. Известный английский ученый-ботаник Фредерик Блэкман (1866-1947 гг.), заложивший научные основы при изучении явления фотосинтеза в зеленых растениях [27]

Фотосинтез в атмосфере Земли применительно к зеленым растениям начинается с того, что излучаемые Солнцем фотоны дневного света попадают в особые пигментные молекулы – молекулы *хлорофилла*, находящиеся в их листьях [28]. Согласно [5] фотон (название этого термина происходит от греч. слова «*phōtos*» – «*свет*» [1]) является квантом электромагнитного поля или нейтральной элементарной частицей с нулевой массой и спином 1 [5]. Что касается *хлорофилла* (это специальное название произошло от двух греч. слов «*chlōros*» – «*зеленый*» плюс «*phyllon*» – «*лист*» [1]), то он представляет собой зеленый пигмент высших и низших растений, содержащийся в мембранах клеточных органелл соответственно их *хлоропластов* и *хроматофор* [28]. В этой связи можно говорить о том, что у высших растений органом фотосинтеза является их лист, а у организмов фотосинтеза – *хлоропласты*. В мембраны тилакоидов *хлоропластов* встроены фотосинтетические пигменты: *хлорофиллы* и *каротиноиды* [25]. В последние годы учеными-биологами было установлено, что существует несколько разных типов *хлорофилла*: *a*, *b*, *c* и *d*. Главным из них является *хлорофилл a*. В молекуле *хлорофилла* можно выделить порфириновую «головку»

с атомом магния Mg в центре и фитольный «хвост». Порфириновая «головка» представляет собой плоскую структуру. Она является гидрофильной и поэтому лежит на той поверхности мембраны, которая обращена к водной среде стромы [25]. Фитольный «хвост» является гидрофобным и за счет этого он и удерживает молекулу *хлорофилла* в мембране тилакоида *хлоропласта*. Молекулы *хлорофилла* поглощают красный и сине-фиолетовый цвета солнечного света, а отражают его зеленый цвет. Поэтому они из-за этой особенности в отражении волн солнечного излучения придают растениям характерную зеленую окраску. Молекулы *хлорофилла* в мембранах тилакоидов *хлоропластов* (*хроматофор*) высших (низших) растений организованы в фотосистемы. У всех растений и сине-зеленых водорослей имеются фотосистема-1 и фотосистема-2, а у фотосинтезирующих бактерий – только фотосистема-1. В ходе многолетних опытных исследований было установлено, что только фотосистема-2 может разлагать воду (H₂O) с выделением молекул кислорода (O₂) и отбирать электроны у атомов ее водорода (H) [26]. Биологическая роль *хлорофилла* заключается в поглощении электромагнитной энергии солнечного света и трансформации ее в химическую энергию органических веществ (углеводов), образующихся в листьях при явлении фотосинтеза [29]. Это важнейшее явление для земной природы описывается следующей интегральной физико-химической реакцией [25, 26]:



где $Q_{\text{света}}$ – электромагнитная энергия солнечного света, поступающая из атмосферы в листья растения.

Из (1) видно, что в конечном счете в результате фотосинтеза в листьях высших (низших) зеленых растений (рис. 13) из неорганических веществ (углекислого газа – CO₂ и воды – H₂O) образуется органическое соединение в виде глюкозы (C₆H₁₂O₆) и в атмосферу Земли выделяются молекулы кислорода (O₂).



Рис. 13. Аэроснимок зеленого леса (джунглей) в Центральной Америке в период затяжного тропического дождя [26]

В настоящее время основные представления ученых-биологов ведущих биохимических научных центров мира о протекании явления фотосинтеза в листьях зеленых высших (низших) растений базируются на том, что фотосинтез это сложный многоступенчатый процесс, реакции которого на микроскопическом уровне подразделяются на две группы: *реакции световой фазы* и *реакции темновой фазы* [25, 28].

• **Световая фаза фотосинтеза.** Данная фаза рассматриваемого нами природного светового явления происходит только в присутствии света в мембранах тилакоидов *хлоропластов* (*хроматофор*) при участии *хлорофилла*, белков-переносчиков электронов и фермента АТФ-синтетазы [25, 26]. Следует подчеркнуть, что в основе микропроцессов этой фазы фотосинтеза лежат, как и для большинства всех остальных биологических процессов в природе, **электрохимические и электрофизические процессы** [28]. Подтверждением тому является то, что под действием кванта белого света электроны *хлорофилла* листьев всех растений возбуждаются, покидают эту молекулу и попадают на внешнюю сторону мембраны тилакоида, которая в итоге заряжается отрицательно (рис. 14).

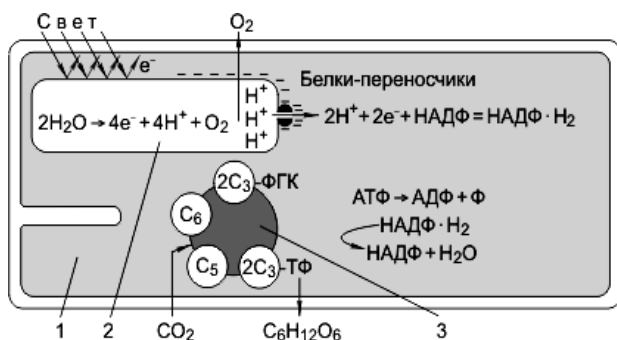
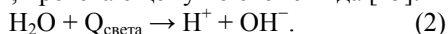


Рис. 14. Схемы процессов при протекании на Земле световой и темновой фаз фотосинтеза в мембранах тилакоидов *хлоропластов* листьев высших зеленых растений (1 – строма *хлоропласта*; 2 – элемент мембраны тилакоида *хлоропласта*; 3 – молекула фосфоглицериновой кислоты) [25]

Для пояснения данных, приведенных на рис. 14, напомним, что термин «*строма*» происходит от греч. слова «*strōma*» – «*подстилка*» [1] и обозначает биологическую основу в нашем случае *хлоропласта* листа. Далее окисленные (потерявшие электроны из-за внешнего энергетического действия света) молекулы *хлорофилла* восстанавливаются путем отбора электронов у воды (H_2O), находящейся во внутритилакоидном пространстве листа. Это приводит к распаду (фотолизу) воды, протекающему по схеме вида [25]:

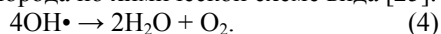


В дальнейшем отрицательно заряженные ионы гидроксила OH^- , образовавшиеся по (2) в тилакоидах *хлоропластов*, отдают свои электроны и превращаются в реакционноспособные радикалы $OH\cdot$ по схеме:



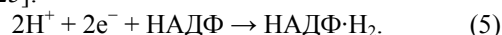
где e^- – свободный отрицательно заряженный электрон, поступающий в тилакоиды *хлоропластов*.

Затем радикалы $OH\cdot$ согласно (3) объединяются между собой, что приводит к образованию воды и свободного кислорода по химической схеме вида [25]:



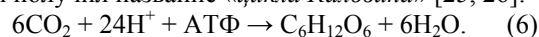
Свободный кислород (O_2), образующийся из-за протекания реакции (4), при этом удаляется во внешнюю воздушную среду, а протоны (ядра ионизированных атомов водорода H^+) накапливаются внутри тилакоидов *хлоропластов* листьев растений (см. рис. 14) в так называемом «протонном резервуаре» [25, 28]. В результате протекания в листьях растений реакций (2) – (4) мембраны их тилакоидов с одной сто-

роны за счет протонов H^+ заряжается положительно, а с другой стороны за счет электронов e^- – отрицательно. Когда разность электрических потенциалов между наружной и внутренней сторонами мембран тилакоидов *хлоропластов* достигает уровня 200 мВ, протоны H^+ начинают проталкиваться через каналы фермента АТФ-синтетазы и происходит фосфорилирование молекул аденозиндифосфата (АДФ) до молекул аденозинтрифосфата (АТФ), являющихся одними из основных переносчиков химической энергии в биологической клетке земных растений и животных [25, 26]. При этом ионизированный атомарный водород H^+ идет в дальнейшем на восстановление специфического белка-переносчика НАДФ (никотинамидадениндинуклеотидфосфата), априори присутствующего в тилакоидах *хлоропластов* листьев, до белка-переносчика $НАДФ \cdot H_2$ (см. данные рис. 14) по реакции вида [25]:



Таким образом, в световую фазу фотосинтеза в листьях высших (низших) растений под действием солнечного света по (2) происходит фотолиз воды, который сопровождается тремя важнейшими физико-химическими процессами: 1) синтезом АТФ; 2) образованием $НАДФ \cdot H_2$; 3) образованием кислорода O_2 . Свободный кислород (O_2) диффундирует в земную атмосферу. Молекулы белков-переносчиков АТФ и $НАДФ \cdot H_2$ транспортируются в стромы *хлоропластов* и участвуют в процессах темновой фазы фотосинтеза.

• **Темновая фаза фотосинтеза.** Для реакций этой фазы, протекающих в стромах *хлоропластов*, не нужна электромагнитная энергия солнечного света. Поэтому они происходят не только на свету, но и в темноте. Реакции темновой фазы фотосинтеза представляют собой цепочку последовательных преобразований углекислого газа (CO_2), поступающего в строму *хлоропласта* (см. рис. 14) из атмосферного воздуха, и приводящую к образованию в тилакоидах *хлоропластов* листьев растений глюкозы ($C_6H_{12}O_6$) и других органических веществ. Первой реакцией в этой цепочке является фиксация углекислого газа (CO_2). Акцептором углекислого газа в тилакоидах *хлоропластов* листьев растений является пятиуглеродный сахар рибулозобифосфат (РибФ) [25, 28]. Катализирует протекание данной реакции фермент рибулозобифосфат-карбоксилаза (РибФ-карбоксилаза) [25]. В результате карбоксилирования рибулозобифосфата образуется неустойчивое шестиуглеродное соединение, которое сразу же распадается на две молекулы фосфоглицериновой кислоты (ФГК), приведенной на рис. 14 [25]. Затем происходит цикл химических реакций, в которых через ряд промежуточных продуктов фосфоглицериновая кислота в итоге и преобразуется в глюкозу ($C_6H_{12}O_6$) [28]. В этих реакциях используется химическая энергия, запасенная в молекулах АТФ и $НАДФ \cdot H_2$, образованных, как было выше показано, в световую фазу фотосинтеза. Цикл этих реакций получил название «цикла Кальвина» [25, 26]:



Укажем, что основной механизм фотосинтеза углеводов в листьях зеленых растений был открыт выдающимся американским биологом Мелвином

Кальвином (рис. 15), проделавшим в 1940-е годы в биохимической лаборатории Калифорнийского университета (г. Беркли, США) серию экспериментов, ставшими классическими в области фотосинтеза [26]. Заметим, что в 1948 году он стал профессором этого университета, а за год до этого был назначен директором отдела биоорганики в Радиационной лаборатории им. Э. Лоуренса (г. Беркли, США), где им были использованы последние технологические достижения военных исследований времен Второй мировой войны (например, новые методы хроматографии для изучения темновой фазы фотосинтеза) [26]. М. Кальвин за фундаментальные достижения в раскрытии тайн явления фотосинтеза был удостоен Нобелевской премии в области химии за 1961 год [26, 30]. Отметим и то, что в ходе современных тонких физико-химических исследований явления фотосинтеза в листьях высших (низших) зеленых растений было установлено, что кроме глюкозы ($C_6H_{12}O_6$) при протекании этого сложного природного процесса образуются другие мономеры сложных органических соединений – аминокислоты, глицерин, жирные кислоты и нуклеотиды [25, 28].



Рис. 15. Выдающийся американский ученый-биолог Мелвин Кальвин (1911-1997 гг.), прославившийся изучением в XX веке явления фотосинтеза у земных зеленых растений [26]

А каков коэффициент полезного действия (КПД) рассматриваемого нами явления фотосинтеза в листьях высших (низших) земных зеленых растений? В данном случае под КПД будем понимать отношение количества энергии, запасенной в продуктах фотосинтеза или в образовавшейся фитомассе урожая, к количеству электромагнитной энергии, содержащейся в поглощенной при его (фотосинтезе) протекании активной солнечной радиации [30]. При этом под фотосинтетически активной солнечной радиацией (ФАСР) обычно понимается участок солнечного спектра, поглощаемый фотосинтетическими пигментами (как правило, *хлорофиллом*) зеленого листа растения и расположенный в диапазоне длин световых волн (380-740) нм [30]. Кстати, используемый здесь уже не один раз термин «пигмент» происходит от лат. слова «*pigmentum*» – «краска» и обозначает красящее вещество, содержащееся в растительных тканях и обуславливающее в нашем случае процесс протекания в них явления фотосинтеза [1]. Если рассматривать планету Земля в целом, то указанный КПД для фотосинтеза в

фитосреде составляет всего около 0,2 % [30]. Для разных растений и различных условий их выращивания КПД поглощенной ими ФАСР составляет следующие величины [30]: для кукурузы (2,5-5,7) %, а для ячменя (2,6-4,0) %. В этой связи задача повышения КПД использования солнечной энергии при фотосинтезе в растительном мире является одной из важнейших в физиологии, а также в селекции сельскохозяйственных культур. Поэтому можно говорить о том, что в среднем при фотосинтезе лист растений использует лишь около 1 % падающей на него солнечной энергии. Продуктивность же при фотосинтезе в листьях высших (низших) растений составляет около 1 г органического вещества на 1 м² поверхности в час [26].

В заключении укажем, что благодаря фотосинтезу в листьях растений, являющемуся основным источником образования на нашей планете многих органических веществ, ежегодно из атмосферы Земли поглощаются миллиарды тонн углекислого газа (CO_2) и выделяются миллиарды тонн кислорода (O_2) [25]. Кроме того, из этого двухатомного кислорода при сильноточных электрических разрядах в воздушной атмосфере во время грозы (мировая статистика в наблюдениях линейных молний свидетельствует о том, что каждую секунду на Земле происходит не менее 100 грозных разрядов [31]), а также под действием ультрафиолетовых лучей солнечного излучения вокруг Земли образуется озоновый слой, состоящий главным образом из трехатомного кислорода (O_3) и защищающий живые организмы и всю биосферу нашей планеты от вредного воздействия на них коротковолновой ультрафиолетовой солнечной радиации [5, 28].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Большой иллюстрированный словарь иностранных слов. – М.: Русские словари, 2004. – 957 с.
2. https://commons.wikimedia.org/wiki/Solar_Wind.
3. Баранов М.И. Избранные вопросы электрофизики. Том 3: Теория и практика электрофизических задач. – Х.: Изд-во «Точка», 2014. – 400 с.
4. <http://ikfia.ysn.ru/struktura/research-subdivision/143-lab-theory>.
5. Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики / Отв. ред. В.К. Тартаковский. – К.: Наукова думка, 1989. – 864 с.
6. Гинзбург В.Л. Космические лучи: 75 лет исследований и перспективы на будущее // Земля и Вселенная. – 1988. – №3. – С. 3-9.
7. Храмов Ю.А. История физики. – К.: Изд-во «Феникс», 2006. – 1176 с.
8. <http://elementy.ru/lib/430665>.
9. Мурзин В.С. Введение в физику космических лучей. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 316 с.
10. <http://www.astronet.ru/db/msg/1188678>.
11. <http://attex.net/RU/se2.php>.
12. Выдающиеся физики мира. Рекомендательный указатель. – М.: Типография б-ки им. В.И. Ленина, 1958. – 435 с.
13. Радковский М.И. Ломоносов и его исследования в области атмосферного электричества // Электричество. – 1939. – №1. – С. 69-72.
14. Баранов М.И. Избранные вопросы электрофизики: Монография в 2-х томах. Том 1: Электрофизика и выдающиеся физики мира. – Х.: Изд-во НТУ «ХПИ», 2008. – 252 с.
15. https://ru.wikipedia.org/wiki/Биркеланд_Кристиан.
16. Храмов Ю.А. Биркеланд Кристиан // Физики: Биографический справочник / Под ред. А.И. Ахиезера. – М.: Наука, 1983. – 400 с.

17. https://ru.wikipedia.org/wiki/Полярное_сияние.
18. Мизун Ю.Г. Полярные сияния. – М.: Наука, 1983. – 136 с.
19. <http://www.vseprokosmos.ru/planets26.html>.
20. Баранов М.И. Антология выдающихся достижений в науке и технике: Монография в 2-х томах. Том 2. – Х.: НТМТ, 2013. – 333 с.
21. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Радуга>.
22. <http://howitworks.iknowit.ru/paper1015.html>.
23. http://ufn.ru/ufn78/ufn78_7/Russian/r787e.pdf.
24. Nussenzweig H.M. The theory of the rainbow // *Scientific American*. – 1977. – vol.236. – no.4. – pp. 116-127.
25. <http://www.licey.net/bio/biology/lection12>.
26. <http://elementy.ru/trefil/21192>.
27. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC405861/?page=1>.
28. Лебедев С.И. Фотосинтез. – К.: УАСХН, 1960. – 275 с.
29. <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=56346>.
30. <http://fizrast.ru/fotosintez/intensivnost.html>.
31. Юман М.А. Молния. – М.: Мир, 1972. – 327 с.

REFERENCES

1. *Bol'shoj illjustrirovannyj slovar' inostrannyh slov* [Large illustrated dictionary of foreign words]. Moscow, Russkije slovari Publ., 2004. 957 p. (Rus).
2. Available at: https://commons.wikimedia.org/wiki/Solar_Wind (accessed 21 May 2012). (Rus).
3. Baranov M.I. *Izbrannye voprosy elektrofiziki. Tom 3: Teorija i praktika elektrofizicheskih zadach* [Selected topics of electrophysics. Vol. 3: Theory and practice of electrophysics tasks]. Kharkiv, Tochka Publ., 2014. 400 p. (Rus).
4. Available at: <http://ikfia.vsn.ru/struk-tura/research-subdivision/143-lab-theory> (accessed 10 April 2014). (Rus).
5. Kuz'michev V.E. *Zakony i formuly fiziki* [Laws and formulas of physics]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1989. 864 p. (Rus).
6. Ginzburg V.L. Cosmic rays: 75 years of research and future prospects. *Zemlia i Vselennaja – Earth and Universe*, 1988, no.3, pp. 3-9. (Rus).
7. Khramov Yu.A. *Istoriia fiziki* [History of Physics]. Kiev, Feniks Publ., 2006. 1176 p. (Rus).
8. Available at: <http://elementy.ru/lib/430665> (accessed 23 July 2013). (Rus).
9. Murzin V.S. *Vvedenie v fiziku kosmicheskikh luchej* [Introduction to the physics of space rays]. Moscow, MSU Publ., 1988. 316 p. (Rus).
10. Available at: <http://www.astronet.ru/db/msg/1188678> (accessed 06 December 2013). (Rus).
11. Available at: <http://attex.net/RU/se2.php> (accessed 21 May 2012). (Rus).
12. *Vydaiushchiesia fiziki mira. Rekomendatel'nyi ukazatel'* [Outstanding Physics in the World. Advisory pointer]. Moscow, Library them. V.I. Lenin Publ., 1958. 435 p. (Rus).
13. Radovskij M.I. Lomonosov and his research in the field of atmospheric electricity. *Elektrichestvo – Electricity*, 1939, no.1, pp. 69-72. (Rus).
14. Baranov M.I. *Izbrannye voprosy elektrofiziki: Monografija v 2-h tomah. Tom 1: Elektrofizika i vydajushchiesia fiziki mira* [Selected topics electrophysics: Monographs in 2 vols. Vol.1: Electrophysics and outstanding physics of the world]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2008. 252 p. (Rus).
15. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Биркеланд_Кристиан (accessed 15 August 2012). (Rus).
16. Khramov Yu.A. *Birkeland Kristian. Fiziki: Biograficheskij spravocchnik / Pod red. A.I. Ahiezer* [Kristian Birkeland. Physics: Biographical Directory. Edited by A.I. Ahiezer]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 400 p. (Rus).
17. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Полярное_сияние (accessed 10 April 2014). (Rus).
18. Мизун Ю.Г. *Poliarnye siianiia* [Aurora polaris]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 136 p. (Rus).
19. Available at: <http://www.vseprokosmos.ru/planets26.html> (accessed 12 May 2011). (Rus).

20. Baranov M.I. *Antologija vydaiushchikhsia dostizhenii v nauke i tekhnike: Monografiia v 2-kh tomakh. Tom 2.* [An anthology of outstanding achievements in science and technology: Monographs in 2 vols. Vol.2]. Kharkov, NTMT Publ., 2013. 333 p. (Rus).
21. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Радуга> (accessed 10 April 2014). (Rus).
22. Available at: <http://howitworks.iknowit.ru/paper1015.html> (accessed 12 May 2011). (Rus).
23. Available at: http://ufn.ru/ufn78/ufn78_7/Russian/r787e.pdf (accessed 18 September 2013). (Rus).
24. Nussenzweig H.M. The Theory of the Rainbow. *Scientific American*, 1977, vol.236, no.4, pp. 116-127.
25. Available at: <http://www.licey.net/bio/biology/lection12> (accessed 18 September 2013). (Rus).
26. Available at: <http://elementy.ru/trefil/21192> (accessed 10 April 2014). (Rus).
27. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC405861/?page=1> (accessed 21 May 2012). (Rus).
28. Lebedev S.I. *Fotosintez* [Photosynthesis]. Kiev, UARES Publ., 1960. 275 p. (Rus).
29. Available at: <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=56346> (accessed 11 April 2013). (Rus).
30. Available at: <http://fizrast.ru/fotosintez/intensivnost.html> (accessed 18 September 2013). (Rus).
31. Yuman M.A. *Molnii* [A lightning]. Moscow, Mir Publ., 1972. 327 p. (Rus).

Поступила (received) 10.06.2015

Баранов Михаил Иванович, д.т.н., гл.н.с.,
НИПКИ «Молния»
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
61013, Харьков, ул. Шевченко, 47,
тел/phone +38 057 7076841, e-mail: eft@kpi.kharkov.ua

M.I. Baranov
Scientific-&-Research Planning-&-Design Institute «Molniiya»
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
47, Shevchenko Str., Kharkiv, 61013, Ukraine.

An anthology of the distinguished achievements in science and technique. Part 29: Discoverers of secrets of global natural light phenomena.

Purpose. Scientifically-historical description of features of opening by scientists-discoverers of the world of electrophysics and electrochemical secrets of such natural light phenomena as *Aurora Borealis*, rainbow and photosynthesis, carrying global planetary character for the habitants of planet Earth. **Methodology.** Scientific approaches at treatment and systematization of physical knowledges about «solar wind» and sun radiation, causing flowing in the atmosphere of Earth of the indicated light phenomena. Methods of historical method at research of progressive development in the world of basic scientific knowledges about the examined natural light phenomena. **Results.** Basic information, touching forming of scientific bases of electrophysics and electrochemical processes, flows at a display in the earthly atmosphere of aurora north (south) polaris, primary (second) rainbow and photosynthesis domestic and foreign scientists in the leaves of higher (lower) plants, is resulted. **Originality.** First in area of history of scientific and technological bases of electrophysics and electrochemical processes, characteristic for aurora polaris, rainbow and photosynthesis in an earthly magnetic sphere and air atmosphere are presented in the short systematized form and historical development. **Practical value.** Scientific popularization of electrophysics and electrochemical knowledges and distinguished scientific achievements in area of such global for a planet Earth of the natural atmospheric light phenomena as *aurora Borealis*, rainbow and photosynthesis. References 31, figures 15.

Key words: history, planet Earth, *Aurora Borealis*, rainbow, photosynthesis, distinguished scientific achievements.