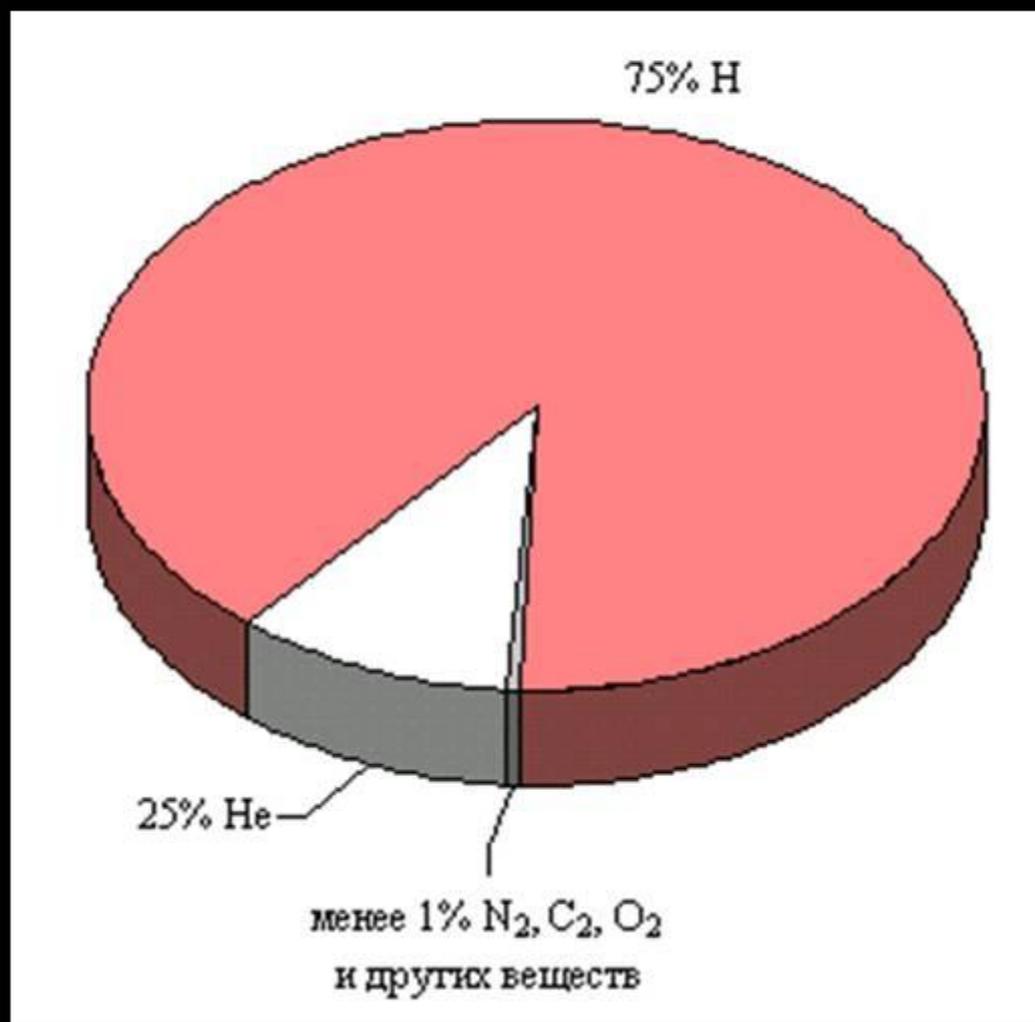


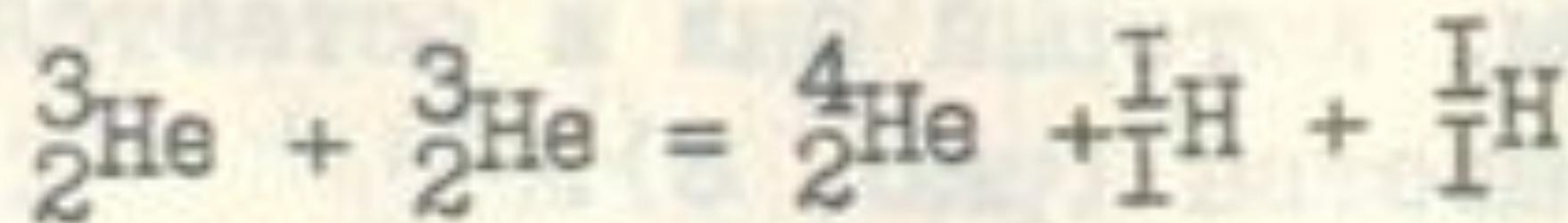
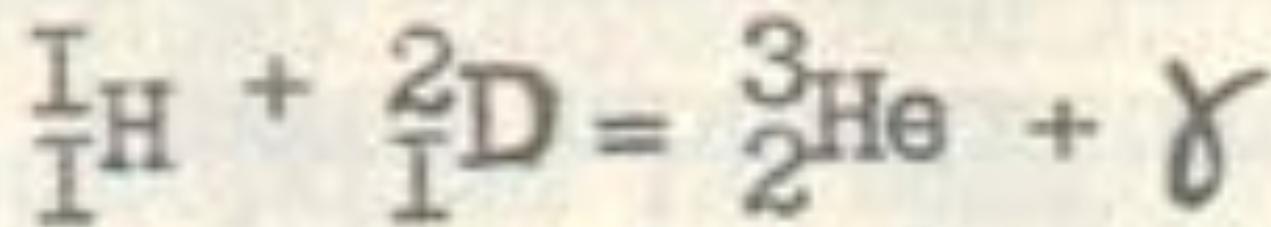
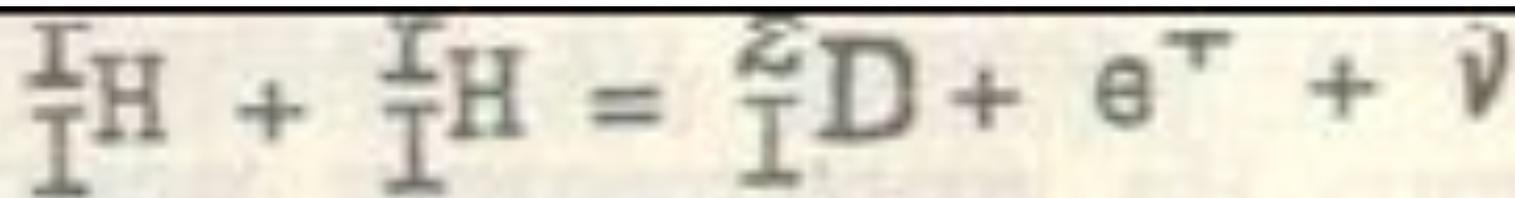
Земля и ее космические связи

Источники энергии	Среднее количество поступающей на всю поверхность Земли,	
	$N \cdot 10^{-20}$ Дж/год	%
<b>Полное солнечное излучение</b>	<b>5553</b>	<b>97,2</b>
Радиоактивность общая	1,21	$2 \cdot 10^{-4}$
Вулканизм	0,063	$1 \cdot 10^{-5}$
Метеориты	0,21	$3 \cdot 10^{-5}$
Молнии	0,21	$3 \cdot 10^{-5}$
Космическое излучение	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-8}$
Всего:	5713,1	100

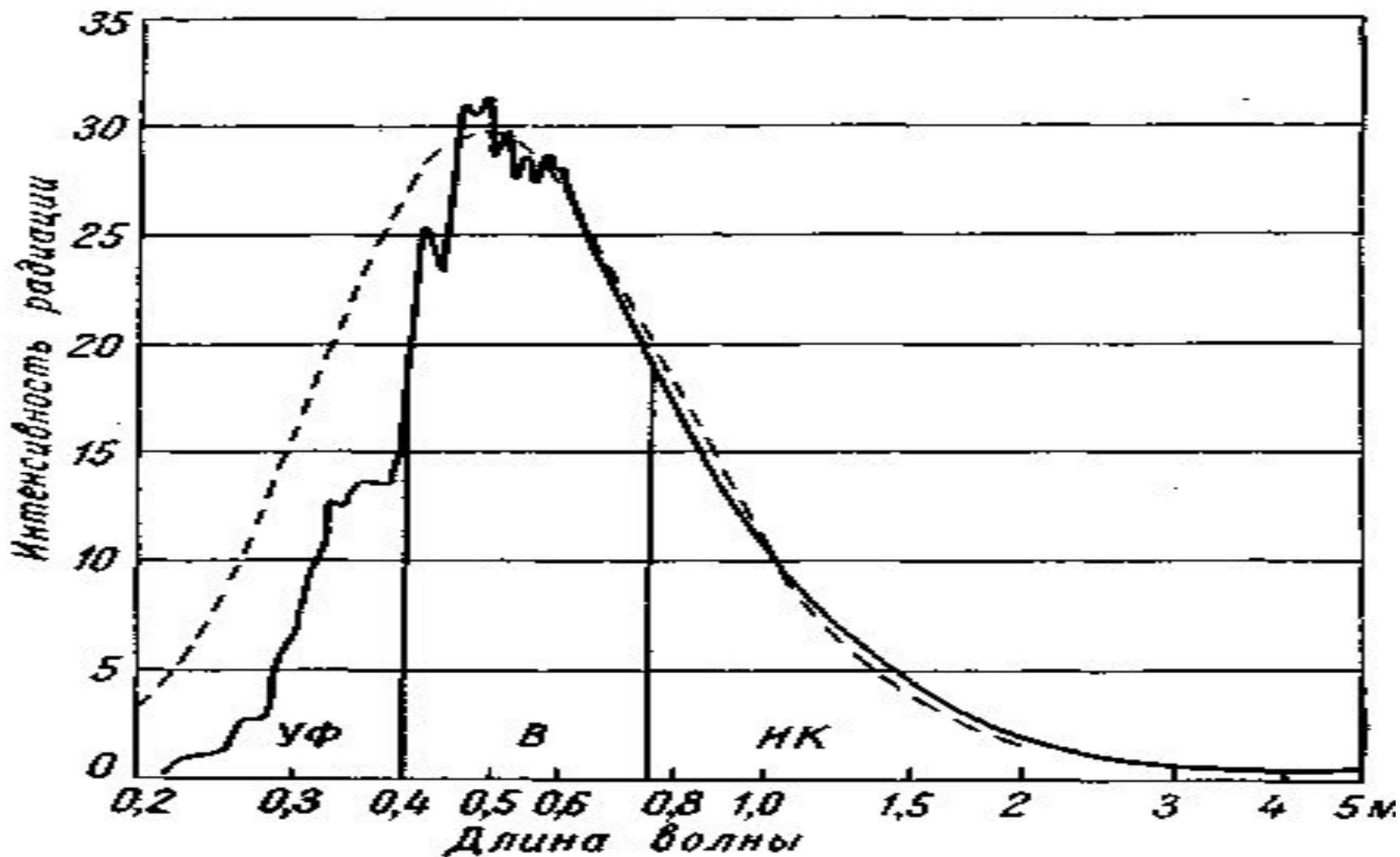
Химический состав Солнца примерно такой же, как и у большинства других звезд.

Примерно 75% – это водород, 25% – гелий и менее 1% – все другие химические элементы (в основном, углерод, кислород, азот и т.д.).

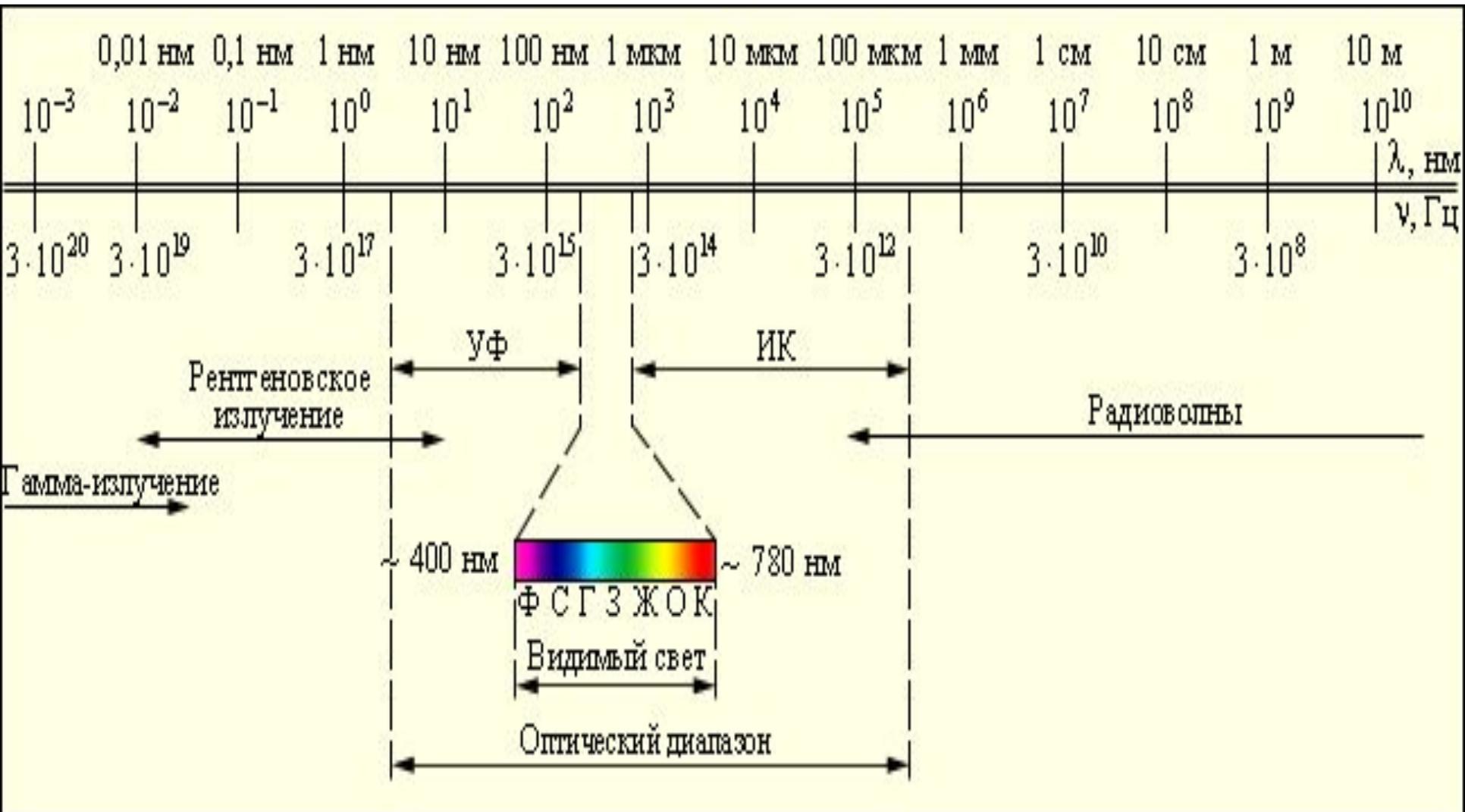




Распределение лучистой энергии в спектре солнечной радиации до поступления в атмосферу (сплошная линия) и в спектре абсолютно черного тела при температуре  $6000^{\circ}$  (прерывистая линия).



# Шкала электромагнитных волн



# Спектральный состав электромагнитной солнечной радиации

На интервал длин волн между 0,1 и 4 мк приходится 99% всей энергии солнечной радиации.

Всего 1% остается на радиацию с меньшими и большими длинами волн, вплоть до рентгеновых лучей и радиоволн.

Видимый свет занимает узкий интервал длин волн, всего от 0,40 до 0,75 мк.

Однако в этом интервале заключается почти половина всей солнечной лучистой энергии (46%). Почти столько же (47%) приходится на инфракрасные лучи, а остальные 7% — на ультрафиолетовые.

Термином радиация называют также явление совсем другого рода, именно — **корпускулярную радиацию**,  
или **солнечный ветер**

т. е. потоки электрически заряженных элементарных частиц вещества, преимущественно протонов и электронов, движущихся со скоростями в сотни километров в секунду, хотя и большими, но все-таки очень далекими от скорости света.

Энергия корпускулярной радиации в среднем в  $10^7$  раз меньше, чем энергия температурной радиации Солнца.

Однако она сильно меняется с течением времени в зависимости от физического состояния Солнца, от солнечной активности.

# Солнечный ветер

Это истечение плазмы солнечной короны в межпланетное пространство.

На уровне орбиты Земли средняя скорость частиц солнечного ветра (протонов и электронов) около 400 км/с, число частиц – несколько десятков в 1 см<sup>3</sup>.

# Радиационные пояса Земли

Внутренние области земной магнитосферы, в которых магнитное поле

Земли удерживает заряженные частицы (Протоны, Электроны, Альфа-частицы), обладающие кинетической энергией от десятков *кэВ* до сотен *МэВ*

- Выходу заряженных частиц из Р. п. З. мешает особая конфигурация
  - силовых линий геомагнитного поля, создающего для, заряженных частиц,
    - магнитную ловушку.

# Электронвольт

внесистемная единица энергии,  
равная энергии, приобретаемой частицей,  
несущей один элементарный заряд  
(заряд электрона) при перемещении  
в ускоряющем электрическом поле  
между двумя точками с разностью  
потенциалов 1 в.

Обозначения: русское — эв, международное — eV.

$$1 \text{ эв} = 1,60219 \cdot 10^{19} \text{ Дж.}$$

Применяются кратные единицы килоэлектронвольт (кэв, keV), равный  $10^3$  эв, мегаэлектронвольт (Мэв, MeV), равный  $10^6$  эв.

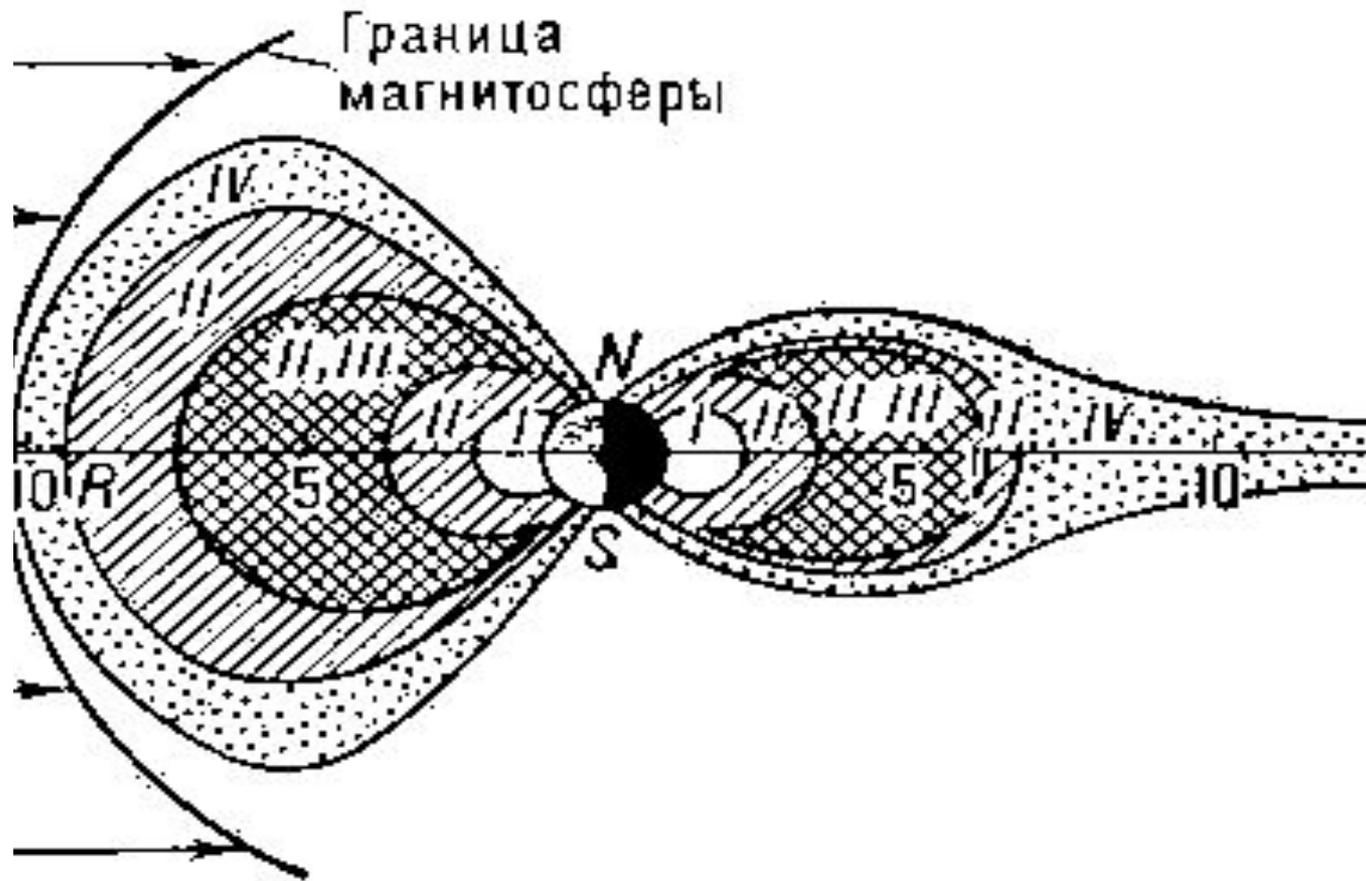
# Радиационные пояса Земли

## Р.п.З.

Захваченные в магнитную ловушку Земли частицы совершают сложное движение, которое можно представить как колебательное движение по спиральной траектории вдоль силовой линии магнитного поля из Северного полушария в Южное и обратно.

Одно колебание, вдоль силовой линии из Северного полушария в Южное, протон с энергией  $100 \text{ Мэв}$  совершает за время  $0,3 \text{ сек.}$

Время нахождения («жизни») такого протона в геомагнитной ловушке может достигать  $3 \cdot 10^9 \text{ сек}$  или примерно 100 лет за это время он может совершить до  $10^{10}$  колебаний.



**Структура радиационных поясов Земли  
(сечение соответствует полуденному меридиану):**

**I — внутренний пояс:**

**II — пояс протонов малых энергий;**

**III — внешний пояс;**

**IV — зона квазизахвата.**

# Внутренний радиационный пояс

Характеризуется наличием  
протонов высоких энергий  
(от 20 до 800 Мэв)

Присутствуют также электроны  
с энергиями от 20 до 1 Мэв

# Внешний радиационный пояс

Для него характерны электроны  
с энергиями 40—100 кэв,

Среднее время «жизни» частиц внешнего  
Р. п. З. составляет  $10^5 - 10^7$  сек.

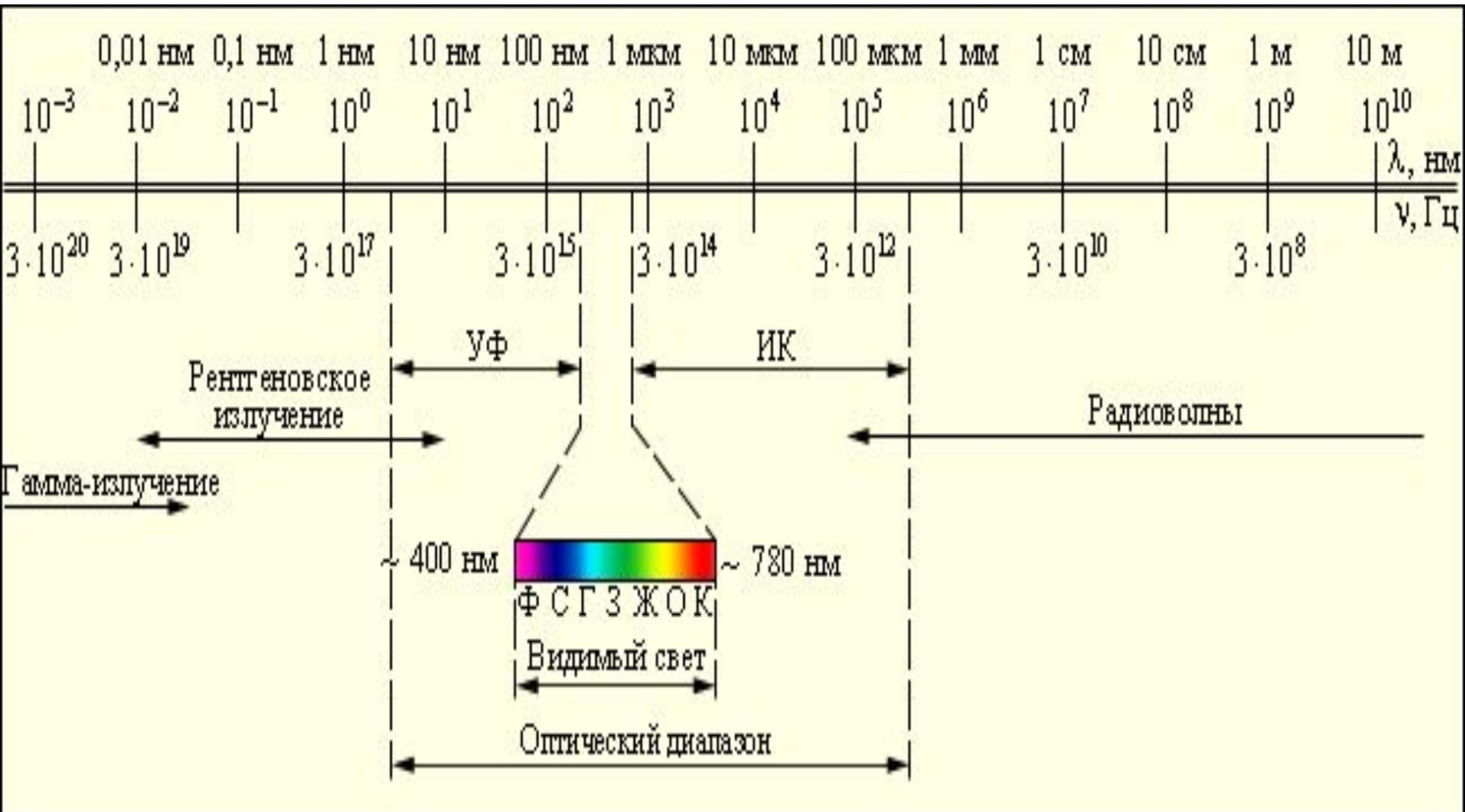
В периоды повышенной солнечной активности  
во внешнем поясе присутствуют также  
электроны больших энергий (до 1 Мэв и выше).

# Пояс протонов малых энергий от 0,03 до 10 Мэв

**Зона квазизахвата, или авроральной радиации, расположена за внешним поясом, она имеет сложную пространственную структуру, обусловленную деформацией магнитосферы солнечным ветром**

Основной составляющей частиц зоны квазизахвата являются электроны и протоны с энергиями  $E < 100$  кэв. На широты выше  $60^\circ$  проецируется зона квазизахвата совпадает с областью максимальной частоты появления полярных сияний

# Шкала электромагнитных волн



Температурную радиацию с длинами волн от 0,002 до 0,4 *мк* называют **ультрафиолетовой**. Она невидима, т. е. не воспринимается глазом.

Радиация от 0,40 до 0,75 *мк* — **видимый свет**, воспринимаемый глазом.

Свет с длиной волны около 0,40 *мк* — фиолетовый, с длиной волны около 0,75 *мк* — красный.

Радиация с длинами волн больше 0,75 *мк* и до нескольких сотен микронов называется **инфракрасной**;

она, так же как и ультрафиолетовая, невидима.

# Закон смещения Вина

Длина волны — на которую приходится максимум энергии в спектре равновесного излучения, обратно пропорциональна абсолютной температуре излучающего тела



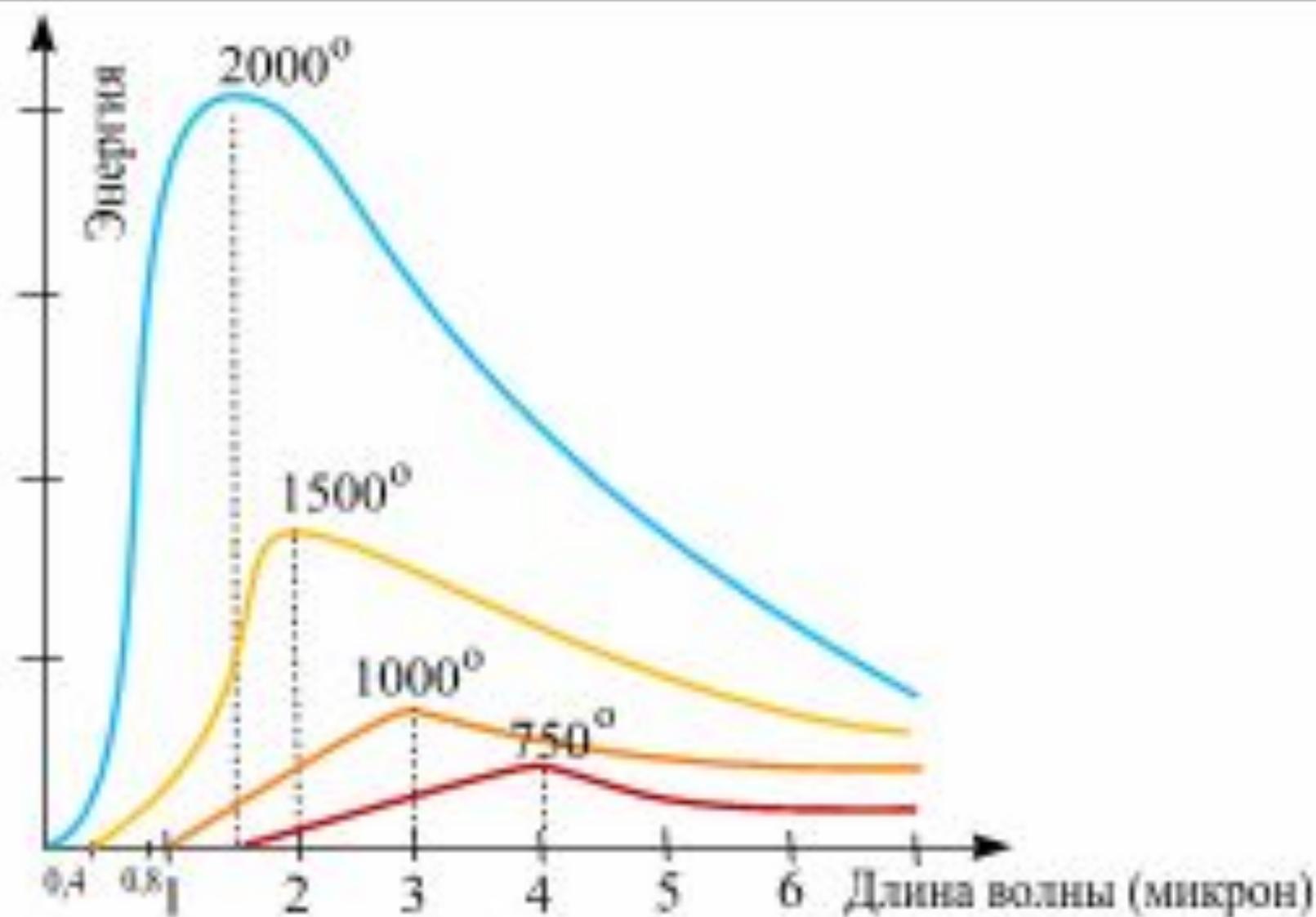
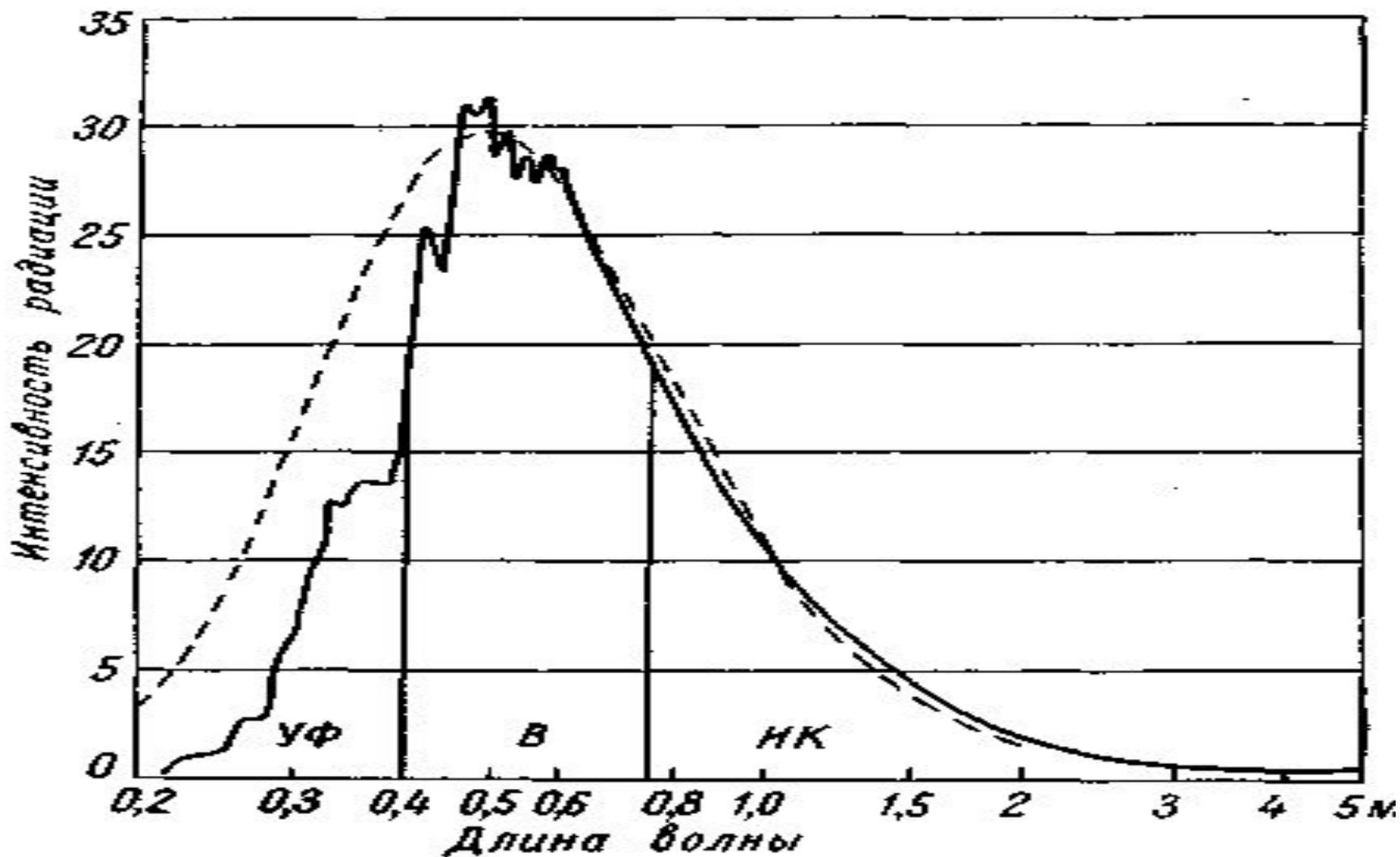


Рис.368. Зависимость максимума излучения от абсолютной температуры.

Распределение лучистой энергии в спектре солнечной радиации до поступления в атмосферу (сплошная линия) и в спектре абсолютно черного тела при температуре  $6000^{\circ}$  (прерывистая линия).



# Спектральный состав солнечной радиации

На интервал длин волн между 0,1 и 4 мк приходится 99% всей энергии солнечной радиации.

Всего 1% остается на радиацию с меньшими и большими длинами волн, вплоть до рентгеновых лучей и радиоволн.

Видимый свет занимает узкий интервал длин волн, всего от 0,40 до 0,75 мк.

Однако в этом интервале заключается почти половина всей солнечной лучистой энергии (46%). Почти столько же (47%) приходится на инфракрасные лучи, а остальные 7% — на ультрафиолетовые.

Тело, испускающее температурную радиацию,  
охлаждается;  
его тепловая энергия переходит в энергию  
радиации, в **лучистую энергию**.

Когда же радиация падает на другое тело и  
поглощается им, лучистая энергия переходит в другие  
виды энергии, главным образом в теплоту.

Это значит, что температурная радиация нагревает  
тело, на которое она падает.

## **Интенсивность прямой солнечной радиации**

Радиацию, приходящую к земной поверхности непосредственно от солнечного диска, называют прямой солнечной радиацией, в отличие от радиации, рассеянной в атмосфере.

Солнечная радиация распространяется от Солнца по всем направлениям.

Но расстояние от Земли до Солнца так велико, что прямая радиация падает на любую поверхность на Земле в виде пучка параллельных лучей, исходящего как бы из бесконечности.

Приток прямой солнечной радиации на земную поверхность или на любой вышележащий уровень в атмосфере характеризуется интенсивностью радиации  $I$ , т. е. количеством лучистой энергии, поступающим за единицу времени (одну минуту) на единицу площади (один квадратный сантиметр), перпендикулярной к солнечным лучам.

Эту величину называют еще потоком радиации, а также плотностью потока радиации.

Приток прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность часто называют **инсоляцией**.

# СОЛНЕЧНАЯ ПОСТОЯННАЯ

Полное количество лучистой энергии Солнца, падающее вне атмосферы Земли на площадку единичной площади, расположенную перпендикулярно солнечным лучам на ср. расстоянии от Земли до Солнца.

В СИ С. п. равна  $(1369 \pm 14)$  Вт/м<sup>2</sup>. В нач. 1980-х гг. была обнаружена переменность С. п. с амплитудой 0,1-0,2% , связанная с солнечным ЦИКЛОМ.

Солнечные лучи, распространяясь в мировом пространстве со скоростью  $300\,000\text{ км/сек}$ , проходят путь от Солнца до Земли, равный около  $150\,000\,000\text{ км}$ ,  
  
за  $8,3$  минуты.

В среднем на каждый квадратный километр земной поверхности приходится за год  $2,6 * 10^{15}$  кал. Чтобы получить такое количество тепла искусственно, нужно было бы сжечь свыше 400 тыс. *t* каменного угля. Все существующие на Земле запасы каменного угля равноценны тридцатилетнему притоку солнечной радиации к Земле.

За 1,5 суток Солнце дает Земле столько же энергии, сколько дают электростанции всех стран в течение года.

# Виды солнечной радиации

- 1) прямая,
- 2) поглощенная,
- 3) рассеянная,
- 4) отраженная,
- 5) суммарная



- *Прямая солнечная радиация* – радиация,
- приходящая к земной поверхности
- непосредственно от диска Солнца

Поступление прямой солнечной радиации к поверхности Земли

зависит от:

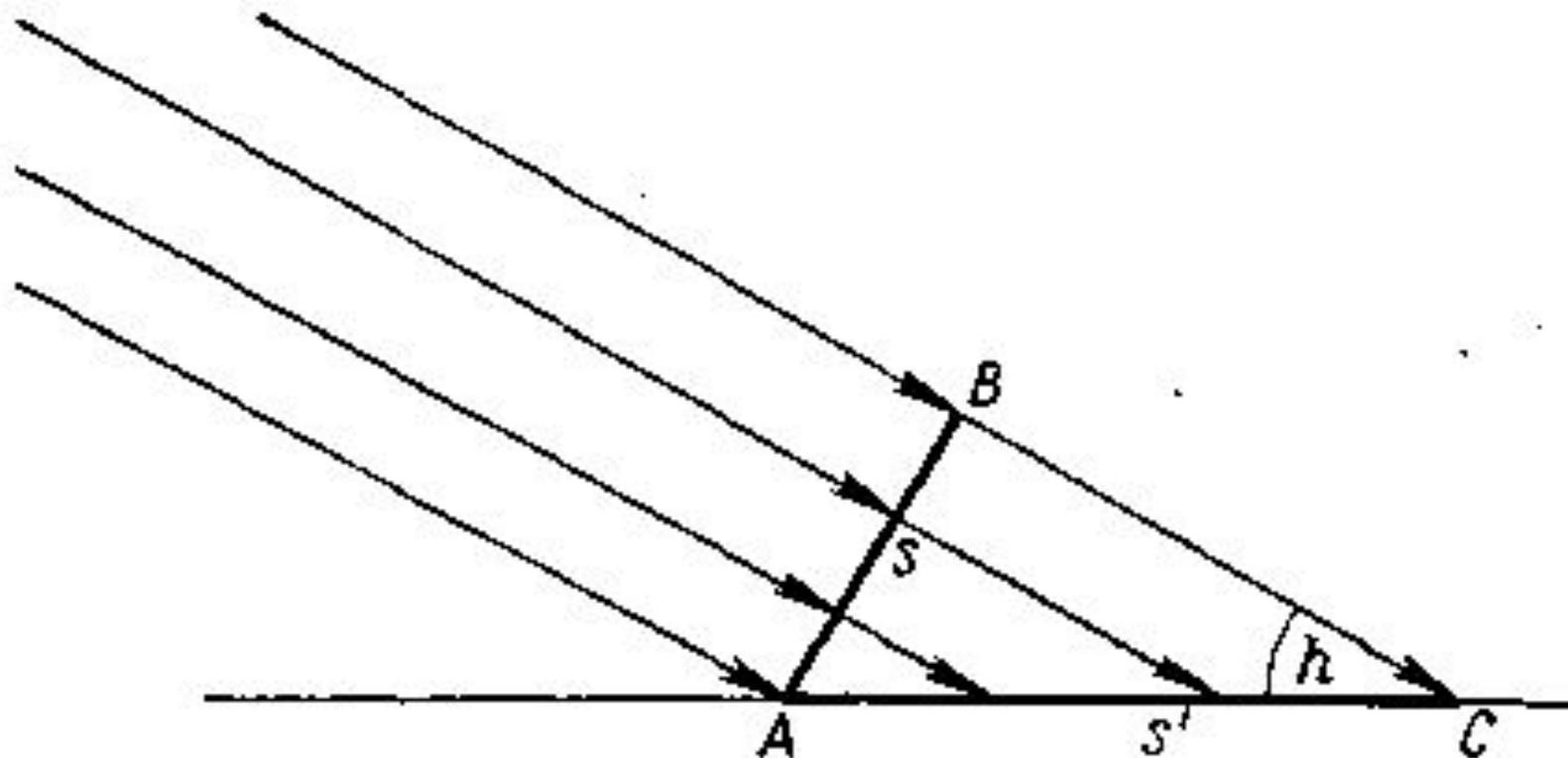
угла наклона солнечных лучей, т.е. от

географической широты и

продолжительности солнечного

сияния,

облачности



Приток солнечной радиации на поверхность, перпендикулярную к лучам ( $AB$ ), и на горизонтальную поверхность ( $AC$ ).

$$I' s' = I s.$$

$$I' = I \frac{AB}{AC}; \quad I' = I \sin h.$$

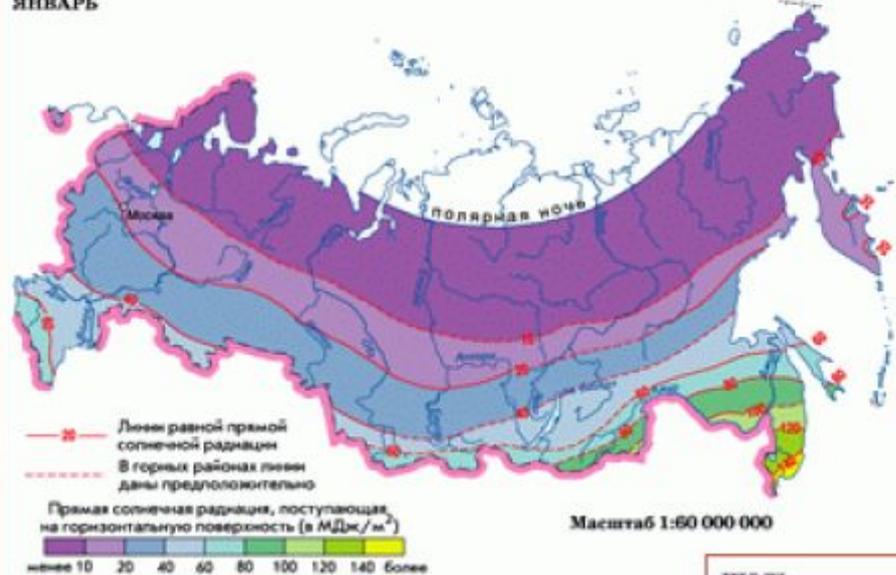
# Прямая солнечная радиация

ГОД



# Прямая солнечная радиация

ЯНВАРЬ



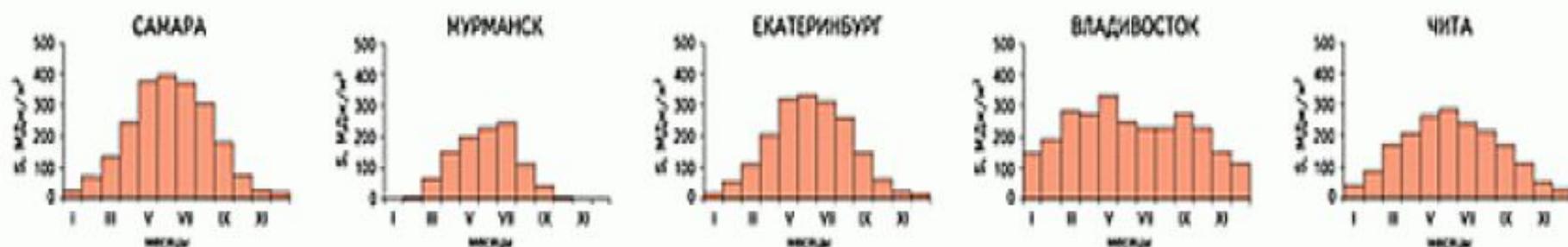
ИЮЛЬ



## Месячные и годовые суммы прямой солнечной радиации при безоблачном небе (МДж/м<sup>2</sup>)

Северная широта	Европейская часть России					Азиатская часть России				
	месяцы				Год	месяцы				Год
	I	IV	VII	X		I	IV	VII	X	
50°	123	527	684	305	4870	138	574	748	326	5350
60°	38	480	698	185	4230	43	492	752	197	4450
70°	Полярная ночь	383	730	75	3570	Полярная ночь	383	743	72	3600

Годовой ход прямой солнечной радиации



# **Рассеянная солнечная радиация**

**Радиация, возникающая в результате преобразования части прямой солнечной радиации в виде параллельных лучей в радиацию, идущую по всем направлениям**

Встречаясь с молекулами и посторонними частичками в атмосфере, солнечные лучи теряют прямолинейное направление распространения, рассеиваются.

# Рассеянная солнечная радиация

Рассеяние происходит в оптически неоднородной среде, т. е. в среде, где показатель преломления меняется от точки к точке.

Такой оптически неоднородной средой является атмосферный воздух, содержащий мельчайшие частички жидких и твердых примесей — капельки, кристаллы, ядра конденсации, пылинки.

Оптически неоднородной средой является и чистый, свободный от примесей воздух, так как в нем вследствие теплового движения молекул постоянно возникают сгущения и разрежения, колебания плотности.

# Рассеяная солнечная радиация

Радиация распространяется от рассеивающих частичек таким образом, как если бы они сами были источниками радиации.

**Около 25% энергии общего потока солнечной радиации превращается в атмосфере в рассеянную радиацию.**

Значительная доля рассеянной радиации ( $2/3$  ее) также приходит к земной поверхности.

Но это будет уже особый вид радиации, **существенно отличный от прямой радиации.**

# Отличие рассеянной и прямой радиации

1. Рассеянная радиация приходит к земной поверхности не от солнечного диска, а от всего небесного свода.

Поэтому приходится измерять ее приток на горизонтальную поверхность.

# Отличие рассеянной и прямой радиации

2. Рассеянная радиация отличается от прямой по спектральному составу.

Лучи различных длин волн рассеиваются в разной степени.

Соотношение энергии лучей разных длин волн в рассеянной радиации изменено в пользу более коротковолновых лучей.

При этом, чем меньше размеры рассеивающих частичек, тем сильнее рассеиваются коротковолновые лучи в сравнении с длинноволновыми.

# Закон Релея

**В чистом воздухе, где рассеяние производится только молекулами газов (размеры которых более чем в 10 раз меньше длин волн света), рассеяние обратно пропорционально четвертой степени длины волны рассеиваемых лучей:**

$$i_{\lambda} = \frac{a}{\lambda^4} I_{\lambda}, \quad (1)$$

где  $I_{\lambda}$  — интенсивность прямой радиации с длиной волны  $\lambda$ ,  
 $i_{\lambda}$  — интенсивность рассеянной радиации с той же длиной волны,  $a$  — коэффициент пропорциональности.

# Отличие рассеянной и прямой радиации

Длина крайних волн красного света почти вдвое больше длины крайних волн фиолетового света, первые лучи рассеиваются молекулами воздуха в 14 раз меньше, чем вторые.

Поэтому в рассеянной радиации лучи коротковолновой части видимого спектра, т. е. фиолетовые и синие, будут преобладать по энергии над оранжевыми и красными, а также и над инфракрасными лучами. которые будут рассеиваться в совсем ничтожной степени.

# **Отличие рассеянной и прямой радиации**

**Максимум энергии в  
прямой солнечной радиации  
у земной поверхности приходится на  
область желто-зеленых лучей видимой  
части спектра.**

**В рассеянной радиации он смещается на  
синие лучи.**

# Отличие рассеянной и прямой радиации

Рассеяние более крупными частичками, т. е. пылинками, мельчайшими капельками и кристалликами, происходит

**не по закону Релея,**

а обратно пропорционально меньшим степеням длины волны, например второй или первой.

Поэтому радиация, рассеянная крупными частичками, будет не так богата наиболее коротковолновыми лучами, как радиация, рассеянная молекулами.

При частичках диаметром больше 1,2 мк будет уже не рассеяние, а диффузное отражение, при котором радиация отражается частичками, как маленькими зеркалами (по закону — угол отражения равен углу падения), без изменения спектрального состава.

# Явления, связанные с рассеянием радиации

Голубой цвет неба — это цвет самого воздуха, обусловленный рассеянием в нем солнечных лучей.

Воздух прозрачен в тонком слое, как прозрачна в тонком слое вода.

Но в мощной толще атмосферы воздух имеет голубой цвет, подобно тому, как вода уже в сравнительно малой толще, в несколько метров, имеет зеленоватый цвет.

Голубой цвет воздуха можно видеть, не только глядя на небесный свод, но и рассматривая отдаленные предметы, которые кажутся окутанными голубоватой дымкой.

С высотой, по мере уменьшения плотности воздуха, т. е. количества рассеивающих частиц, цвет неба становится темнее и переходит в густо-синий, а в стратосфере — в черно-фиолетовый.

# Явления, связанные с рассеянием радиации

Чем больше в воздухе примесей более крупных размеров, чем молекулы воздуха, тем больше доля длинноволновых лучей в спектре солнечной радиации и тем белесоватее становится окраска небесного свода.

Частицами тумана, облаков и крупной пыли, диаметром больше 1,2 мк, лучи всех длин волн диффузно отражаются одинаково; поэтому отдаленные предметы при тумане и пыльной мгле заволакиваются уже **не голубой, а белой или серой завесой.**

Облака, на которые падает солнечный свет, кажутся поэтому же белыми.

# Явления, связанные с рассеянием радиации

Рассеяние меняет **окраску** прямого солнечного света.

Вследствие рассеяния особенно понижается энергия наиболее коротковолновых солнечных лучей видимой части спектра — синих и фиолетовых.

Поэтому «уцелевший» от рассеяния прямой солнечный свет становится желтоватым.

Солнечный диск кажется тем желтее, чем ближе он к горизонту, т. е. чем длиннее путь лучей через атмосферу и чем больше рассеяние.

У горизонта солнце становится почти красным, особенно когда в воздухе много пыли и мельчайших продуктов конденсации (капелек или кристаллов).

# Явления, связанные с рассеянием радиации

Солнечный свет, отраженный облаками, рассеиваясь по пути к земной поверхности, становится беднее синими лучами. Поэтому, когда облака близки к горизонту и путь отраженных лучей света, идущих от них сквозь атмосферу к наблюдателю, велик, они приобретают вместо белой желтоватую окраску.

# Явления, связанные с рассеянием радиации

Рассеяние солнечной радиации в атмосфере обуславливает рассеянный свет в дневное время.

В отсутствии атмосферы на Земле было бы светло только там, куда попадали бы прямые солнечные лучи или солнечные лучи, отраженные земной поверхностью и предметами на ней.

А вследствие рассеянного света вся атмосфера днем служит источником освещения: днем светло также и там, куда солнечные лучи непосредственно не падают, и даже тогда, когда солнце скрыто за облаками.

При этом вследствие большего процентного содержания синих лучей рассеянный свет белее прямого солнечного света.

С рассеянной радиацией связаны явления:

- сумерки и заря,
- «белые ночи»



# Сумерки и заря

После захода солнца вечером темнота наступает не сразу.

Небо, особенно в той части горизонта, где зашло солнце, остается светлым и посылает к земной поверхности рассеянную радиацию с постепенно убывающей интенсивностью.

Аналогичным образом утром небо светлеет и посылает рассеянный свет еще до восхода солнца.

Это явление неполной темноты носит название сумерек, вечерних или утренних.

Причиной его является освещение солнцем, находящимся под горизонтом, высоких слоев атмосферы.

# Сумерки и заря

**Астрономические сумерки** продолжаются вечером до тех пор, пока солнце не зайдет под горизонт на  $18^\circ$ .

К этому моменту становится настолько темно, что различимы самые слабые звезды.

Утренние сумерки начинаются с момента, когда солнце имеет такое же положение под горизонтом.

Первая, часть вечерних или последняя часть утренних астрономических сумерек, когда солнце находится под горизонтом не ниже  $8^\circ$ , носит название **гражданских сумерек**.

# Сумерки и заря

Продолжительность астрономических сумерек меняется в зависимости от широты и от времени года.

В средних широтах она от полутора до двух часов, в тропиках меньше, на экваторе немногим дольше одного часа.

В высоких широтах летом солнце может не опускаться под горизонт вовсе или опускаться очень неглубоко.

Если солнце опускается под горизонт менее чем на  $18^\circ$ , то полной темноты вообще не наступает и вечерние сумерки сливаются с утренними.

Это явление называют **белыми ночами**.

## Сумерки и заря

Сумерки сопровождаются красивыми, иногда очень эффектными изменениями окраски небесного свода в стороне солнца. Эти изменения начинаются еще до захода или продолжаются после восхода солнца. Они имеют довольно закономерный характер и носят название зари. Характерные цвета зари — пурпурный и желтый; но интенсивность и разнообразие цветовых оттенков зари меняются в широких пределах в зависимости от содержания аэрозольных примесей в воздухе. Разнообразны и тона освещения облаков в сумерках.





# Сумерки и заря

**Явления зари объясняются рассеянием света мельчайшими частицами атмосферных аэрозолей и дифракцией света на более крупных частицах.**

Попутно заметим о явлении зодиакального света. Так называют нежное сияние в виде наклоненного конуса, направленного по эклиптике.

Оно наблюдается над солнцем, находящимся под горизонтом, но уже на темном небе, т. е. после конца или до начала астрономических сумерек. Сквозь это сияние просвечивают звезды. В тропических широтах зодиакальный свет наблюдается лучше, чем в умеренных.

Причину зодиакального света видят в **рассеянии солнечного света внеземной (метеорной) пылью.**