

Пятна на Солнце и солнечный спектр

Александр Коста, Беатрис Гарсия, Рикардо Морено

Международный астрономический союз

Средняя общеобразовательная школа Лоле, Португалия

ITeDA и Национальный технологический университет, Аргентина

Колледж Ретамар, Мадрид, Испания



Цели

- Понять природу солнечного спектра
- Понять как возникает солнечный спектр
- Понять природу пятен на Солнце
- Понять историческое значение работы Галилея по пятнам на Солнце



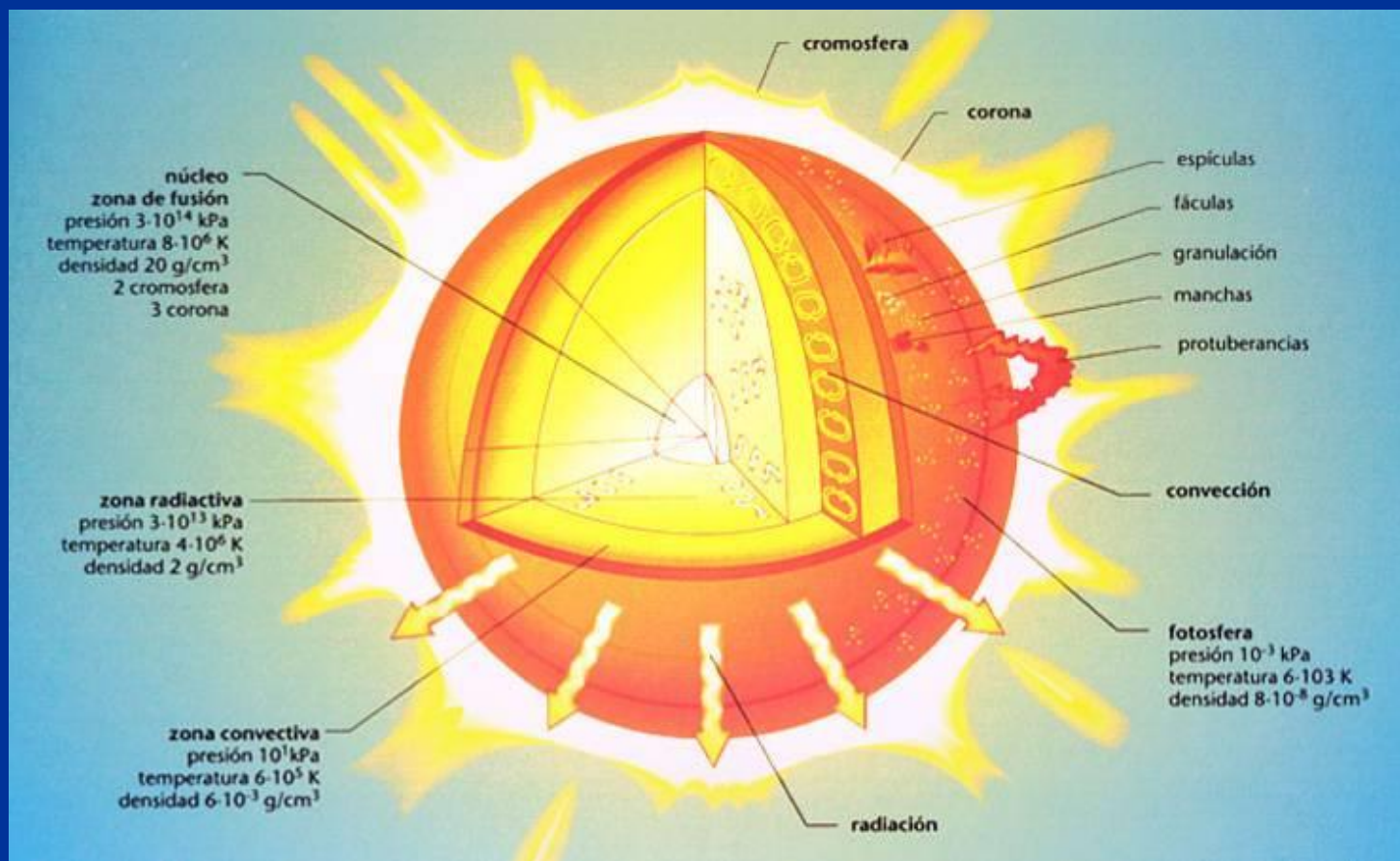
Солнечное излучение

Почти вся энергия (тепло и свет), которую мы используем на Земле, приходит или пришла от Солнца



Солнечное излучение

Излучение рождается в ядре Солнца при очень высоком давлении и температуре
15 миллионов градусов в результате реакции ядерного синтеза.



Солнечное излучение

- 4 протона (ядра водорода) объединяются, образуя атом гелия (синтез).



- Конечная масса меньше массы исходных 4 протонов, так как «оставшаяся» масса преобразуется в энергию:

$$E = mc^2$$

- Каждую секунду, 600 миллионов тонн водорода преобразуются в 595.5 миллионов тонн гелия. Оставшаяся масса преобразуется в энергию
- Солнце настолько массивно, что даже теряя массу с такой скоростью, оно просуществует еще миллиарды лет.

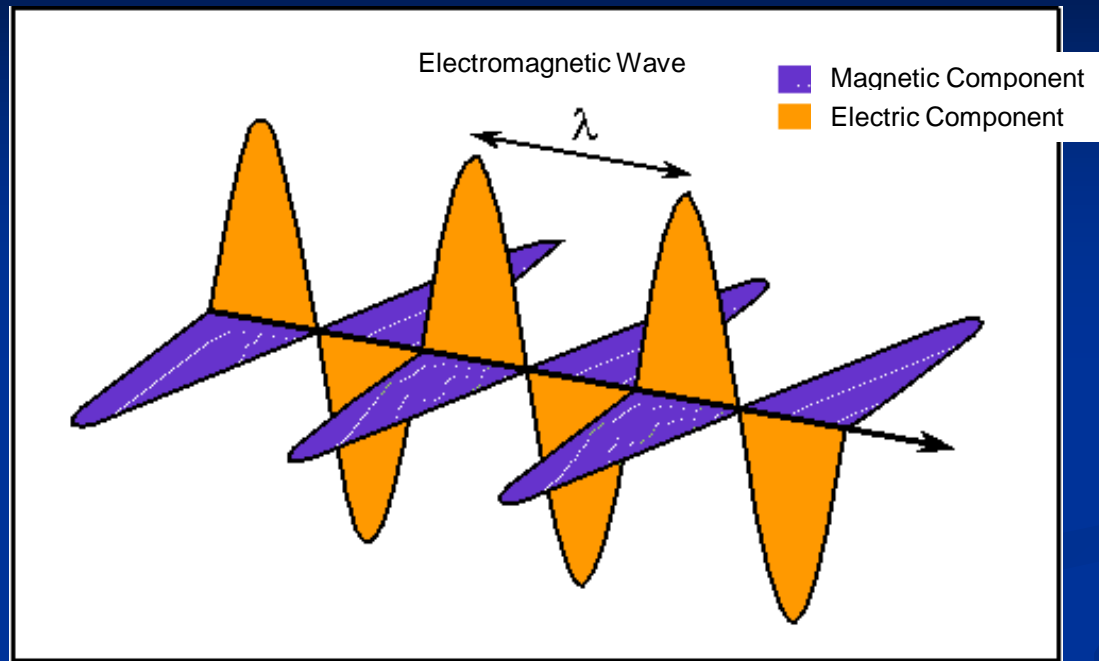


Солнечное излучение

Энергия распространяется с поверхности Солнца со скоростью $299,793$ км/с и за 8 минут достигает Земли.



Солнечный спектр: излучение

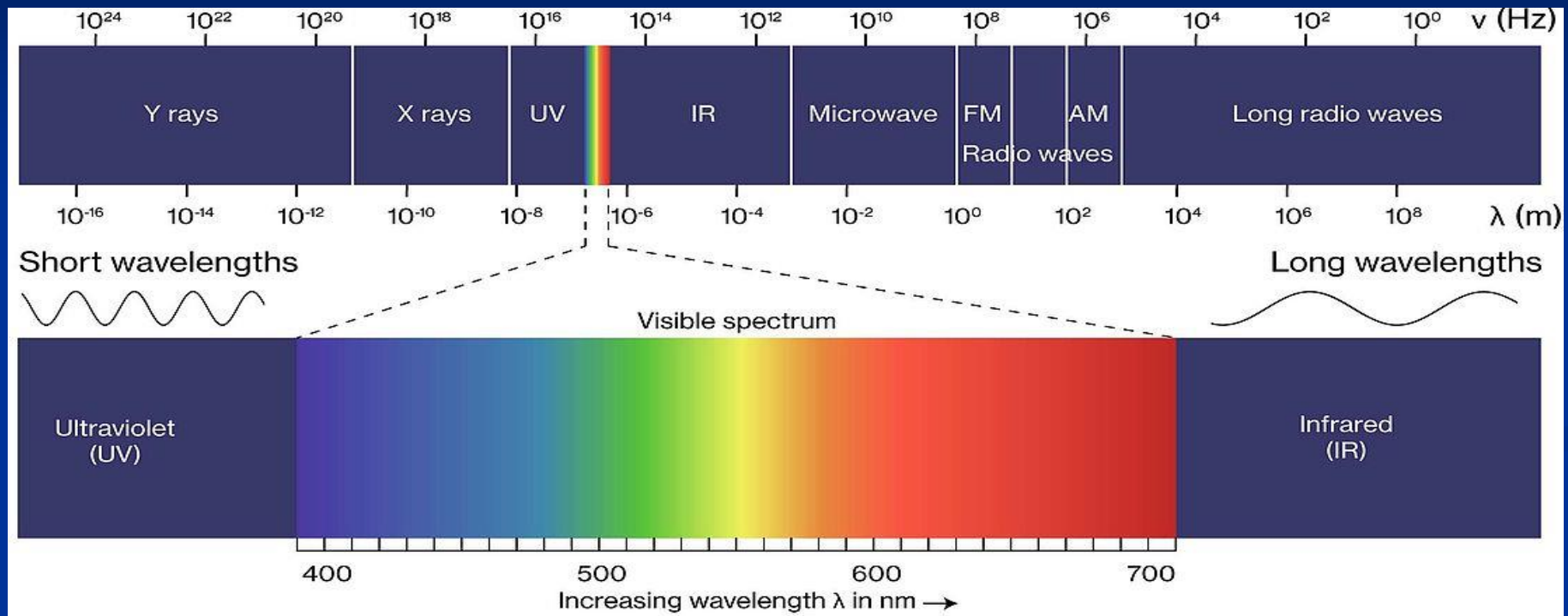


Длина волны λ , частота ν и скорость распространения электромагнитных волн c связаны посредством следующего уравнения:

$$c = \lambda \cdot \nu$$

Солнечный спектр: излучение

Электромагнитный спектр



**Гамма
лучи**



**Рентген
овские
лучи**



**Видим
ый
спектр**



**Инфракр
асные
лучи**

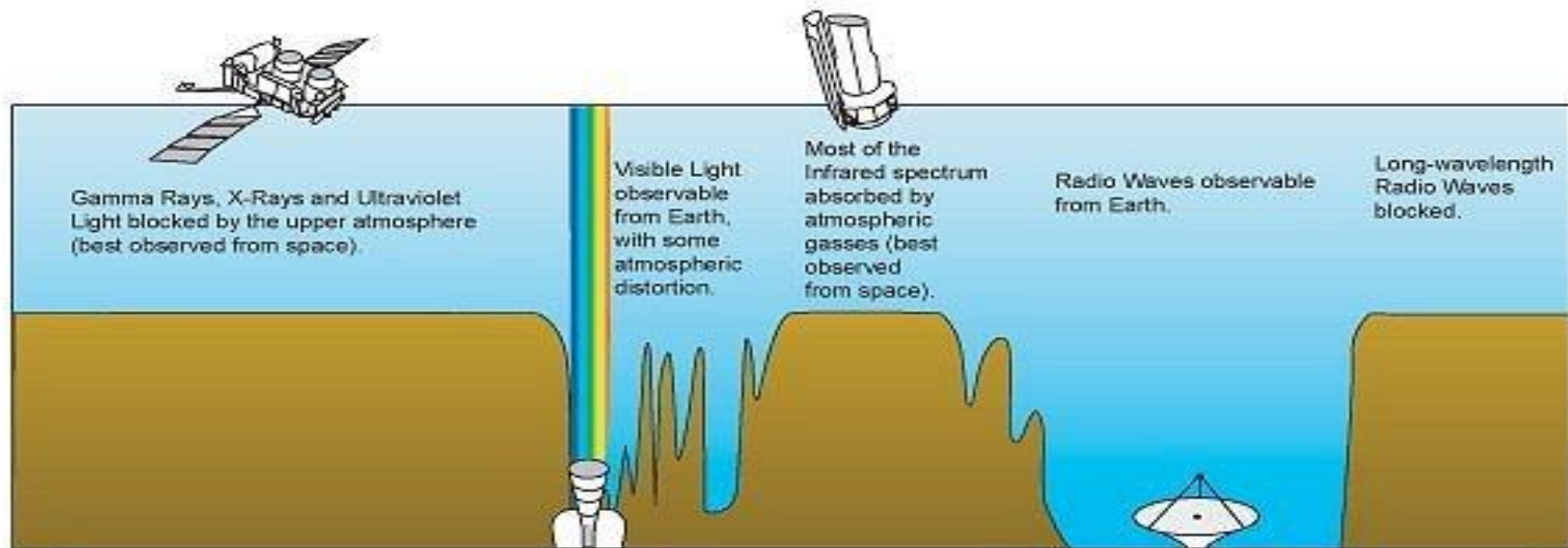
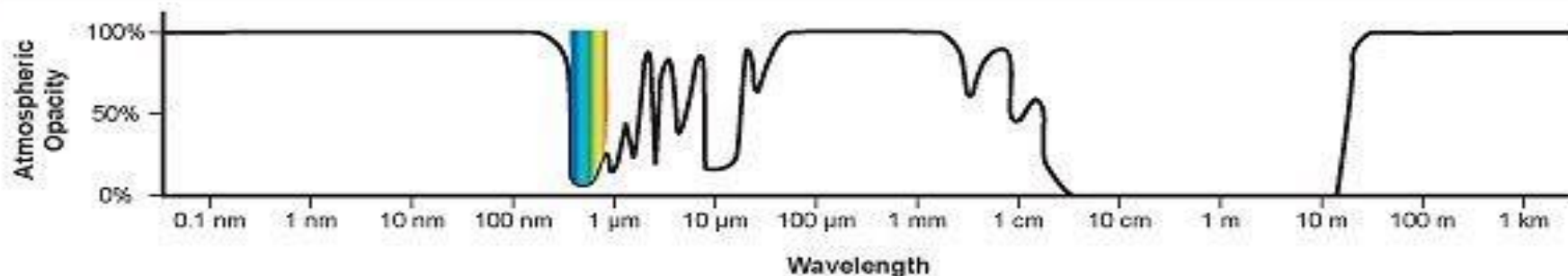


**Ради
оизлу
чение**

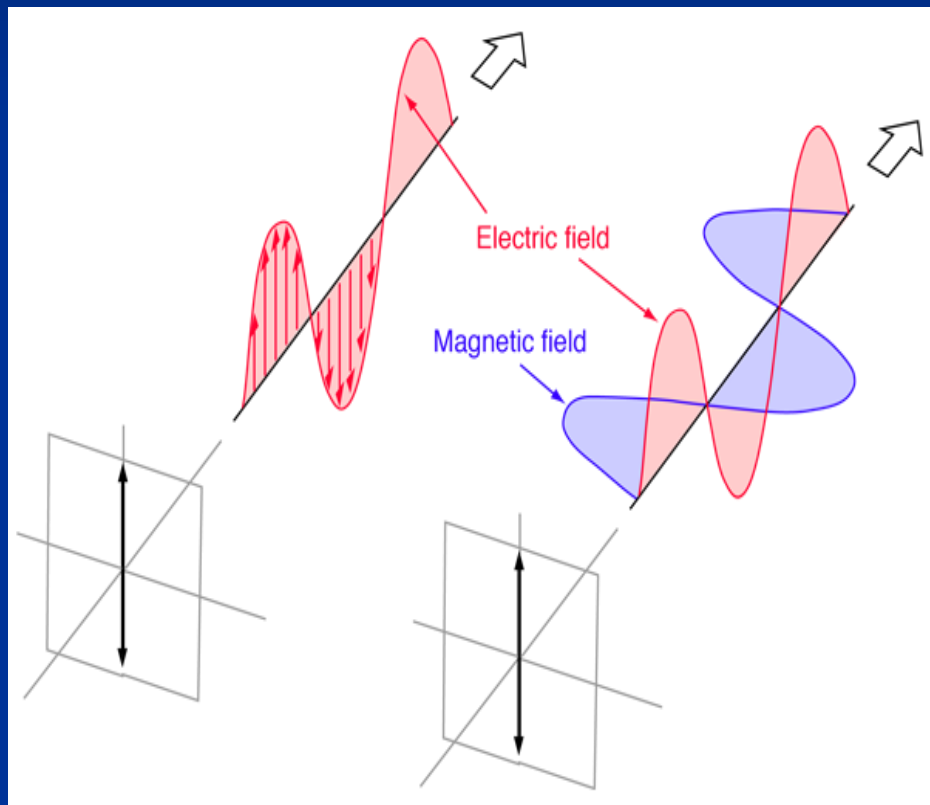


Солнечный спектр: излучение

Атмосфера Земли непроницаема для большинства типов излучения



Солнечное излучение: поляризация

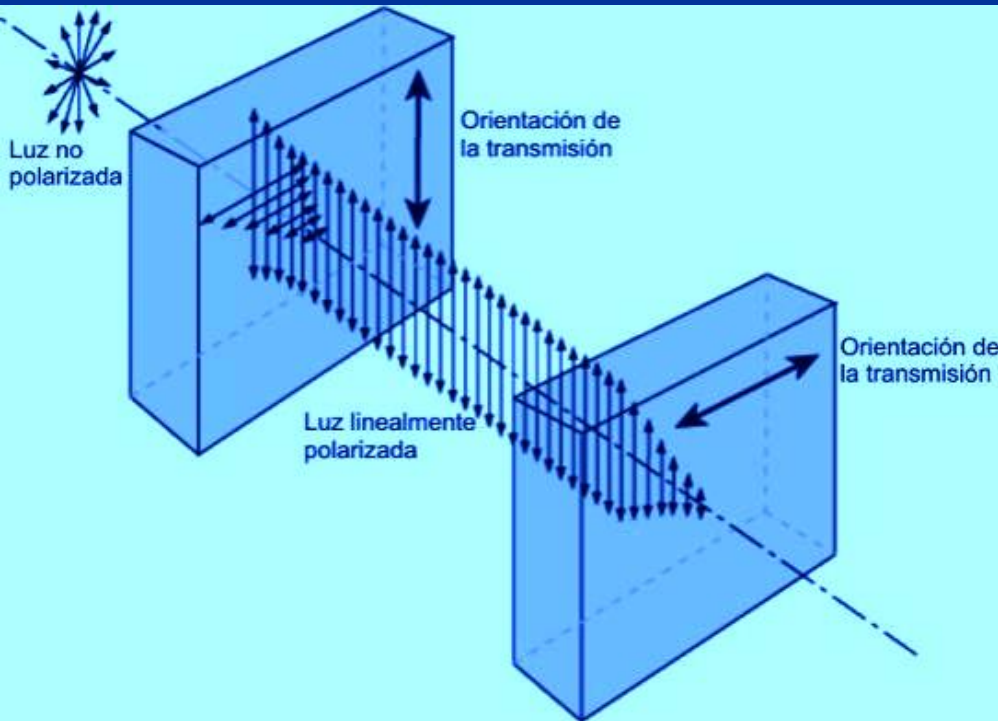


- Простое электромагнитное излучение имеет профиль как показано на рисунке.
- Вибрация электрического поля происходит в одном направлении, а магнитного – в другом.
- Эта волна поляризована горизонтально. В этом случае, она поляризована вертикально.
- У солнечного света нет никакого особого направления вибрации.

Солнечное излучение: поляризация

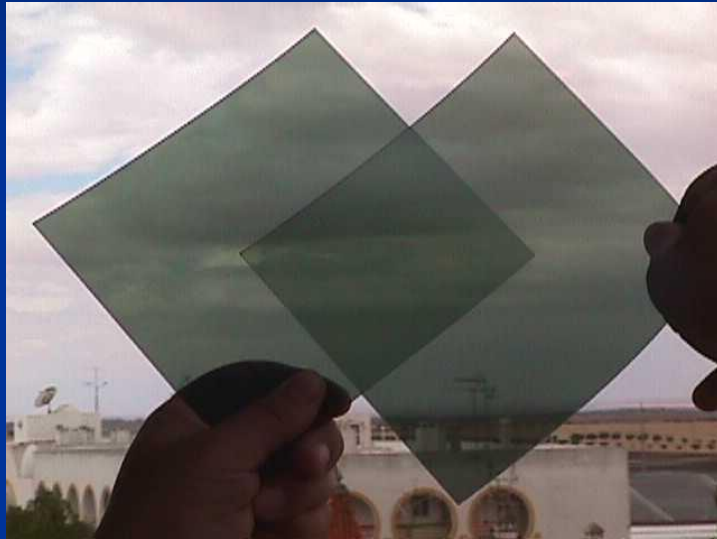
Солнечный свет может быть поляризован:

- Путем отражения
- Путем прохождения через поляризационный фильтр

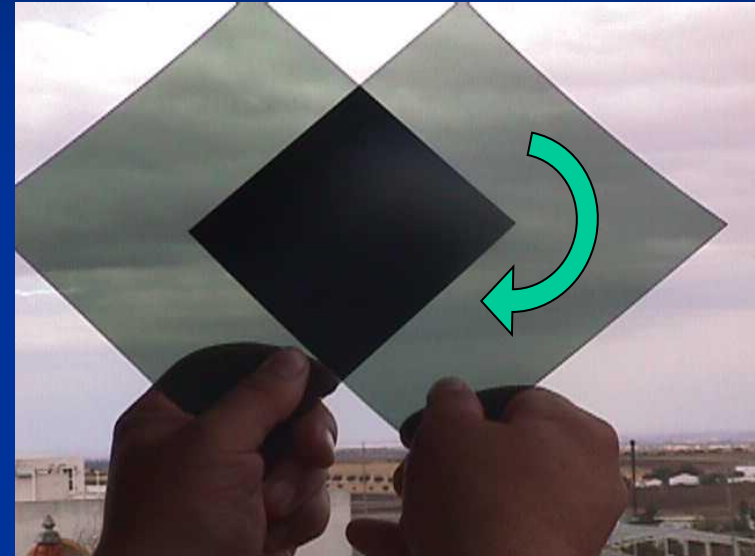


Когда два поляризационных фильтра имеют параллельные направления поляризации, свет проходит через них. Если их направления перпендикулярны, свет, который проходит через первый фильтр, блокируется вторым и не проходит.

Задание 1: Поляризация солнечного спектра



Если фильтры имеют одинаковую ориентацию, свет через них проходит.

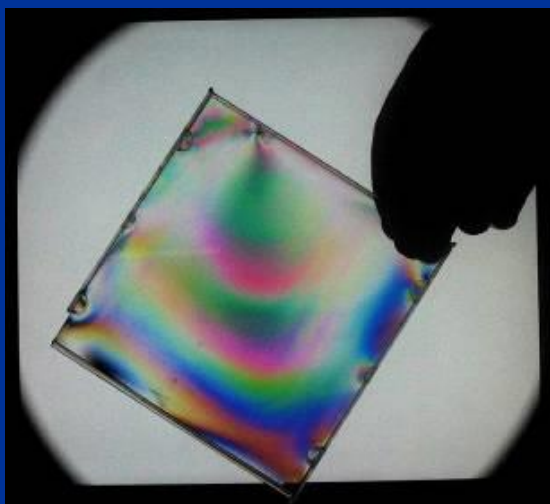


Если один из фильтров повернуть на 90° , это блокирует свет.

Задание 1: Поляризация солнечного спектра

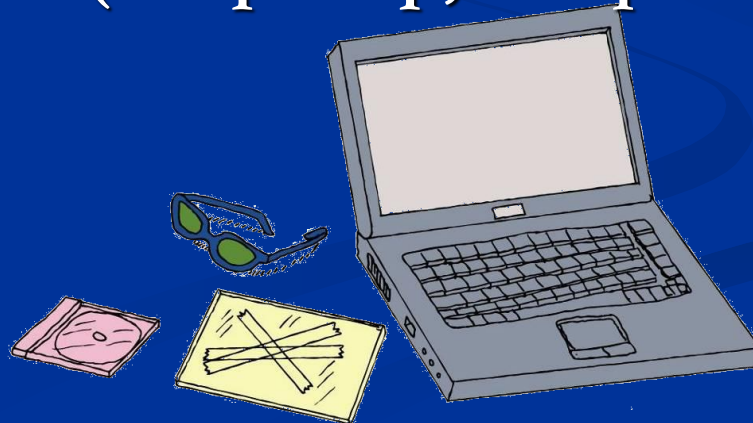


- Свет можно поляризовать путем отражения.
- Солнечные очки с поляризацией помогают вам избегать бликов.
- Поляризация используется в фотографии, а также в инженерном деле, чтобы увидеть внутреннее напряжение материала.



Задание 2: Поляризация света

- Дисплей ноутбука или телефона на жидких кристаллах излучает поляризованный свет.
- Пронаблюдайте плоскость поляризации при помощи поляризованных очков.
- Некоторые объекты вращают плоскость поляризации: пленка на пластике.
- Пронаблюдайте внутреннее напряжение в куске прозрачного пластика (например, в коробке из-под CD)



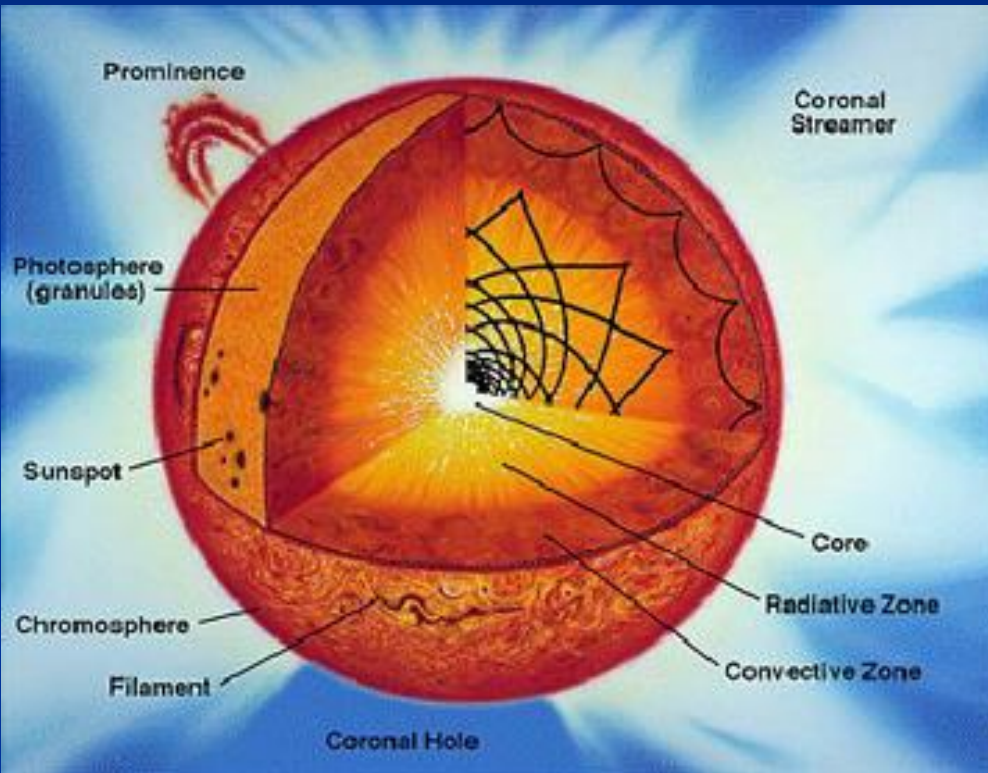
Строение Солнца

- Ядро:
15 миллионов
Кельвинов

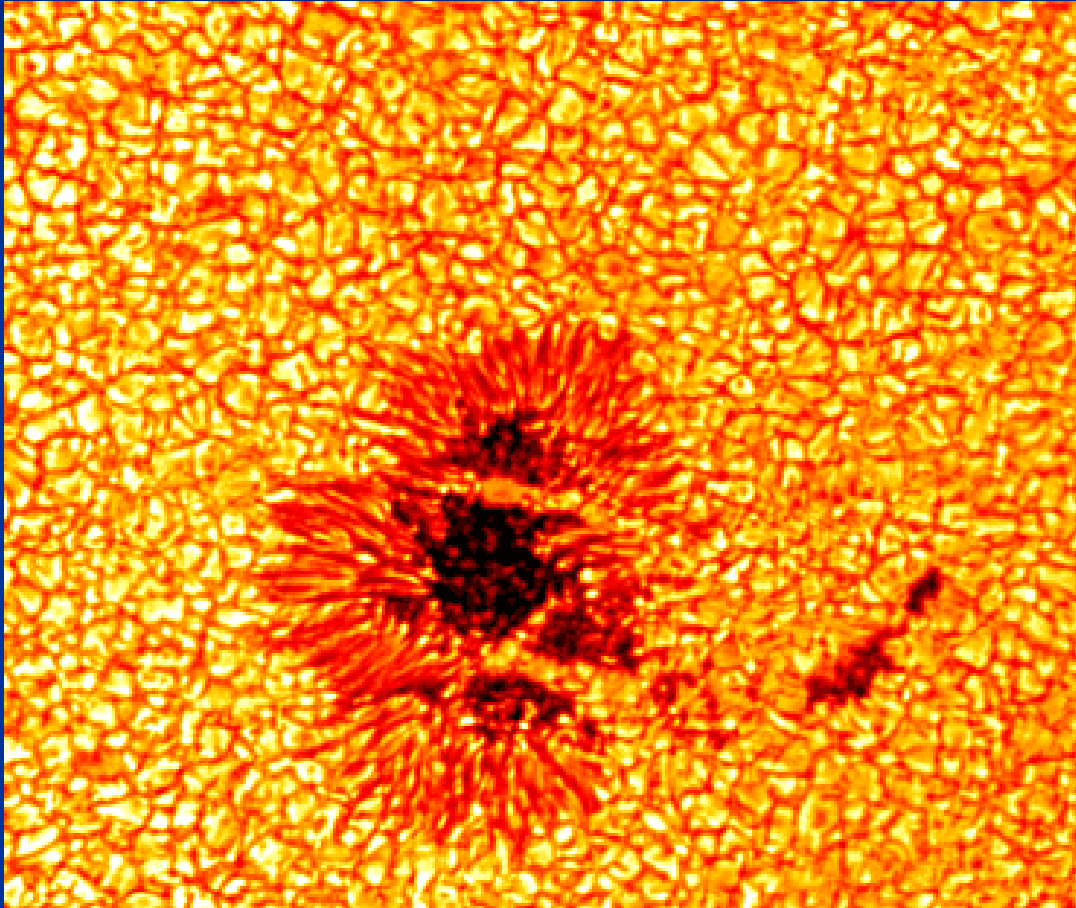
- Зона переноса
лучистой энергии:
8 миллионов К

- Зона конвекции:
500 000 К

В лежащих ближе к
поверхности зонах
Солнца происходит
конвекция (движение
вещества)



Строение Солнца



- Фотосфера:

6 400 – 4 200 К

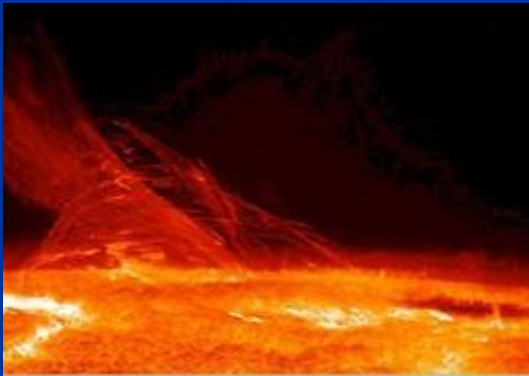
Это «поверхность» Солнца.

Содержит гранулы размером около 1000 км

Строение Солнца

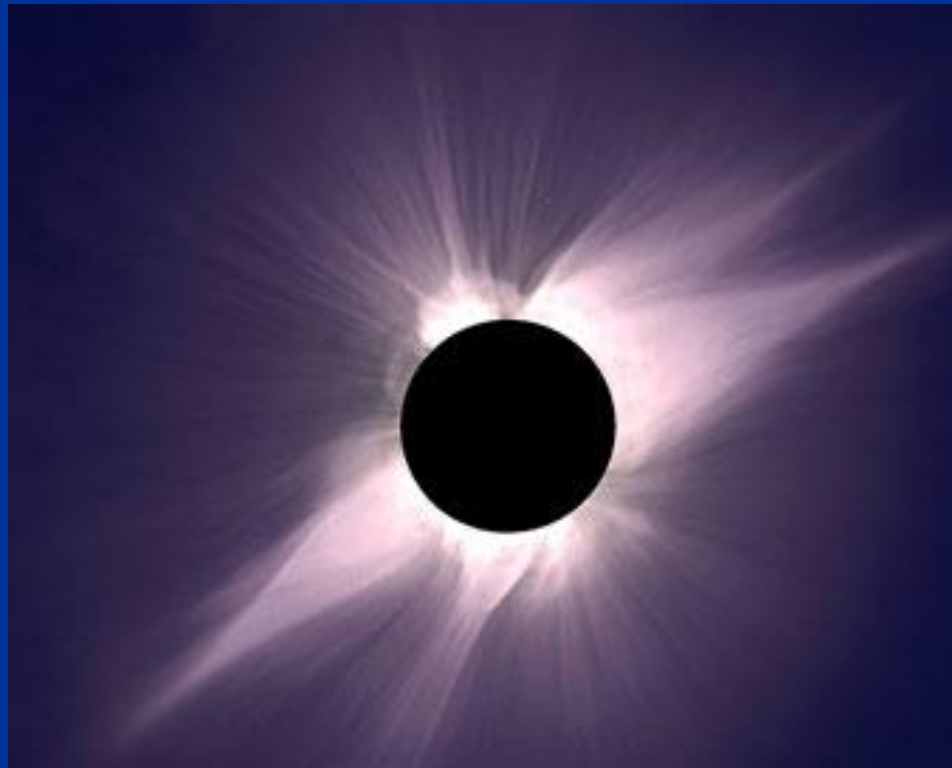


- Хромосфера: “горящая прерия” с температурой от 4 200 до 1 000 000 К. Здесь видны протуберанцы и вспышки.

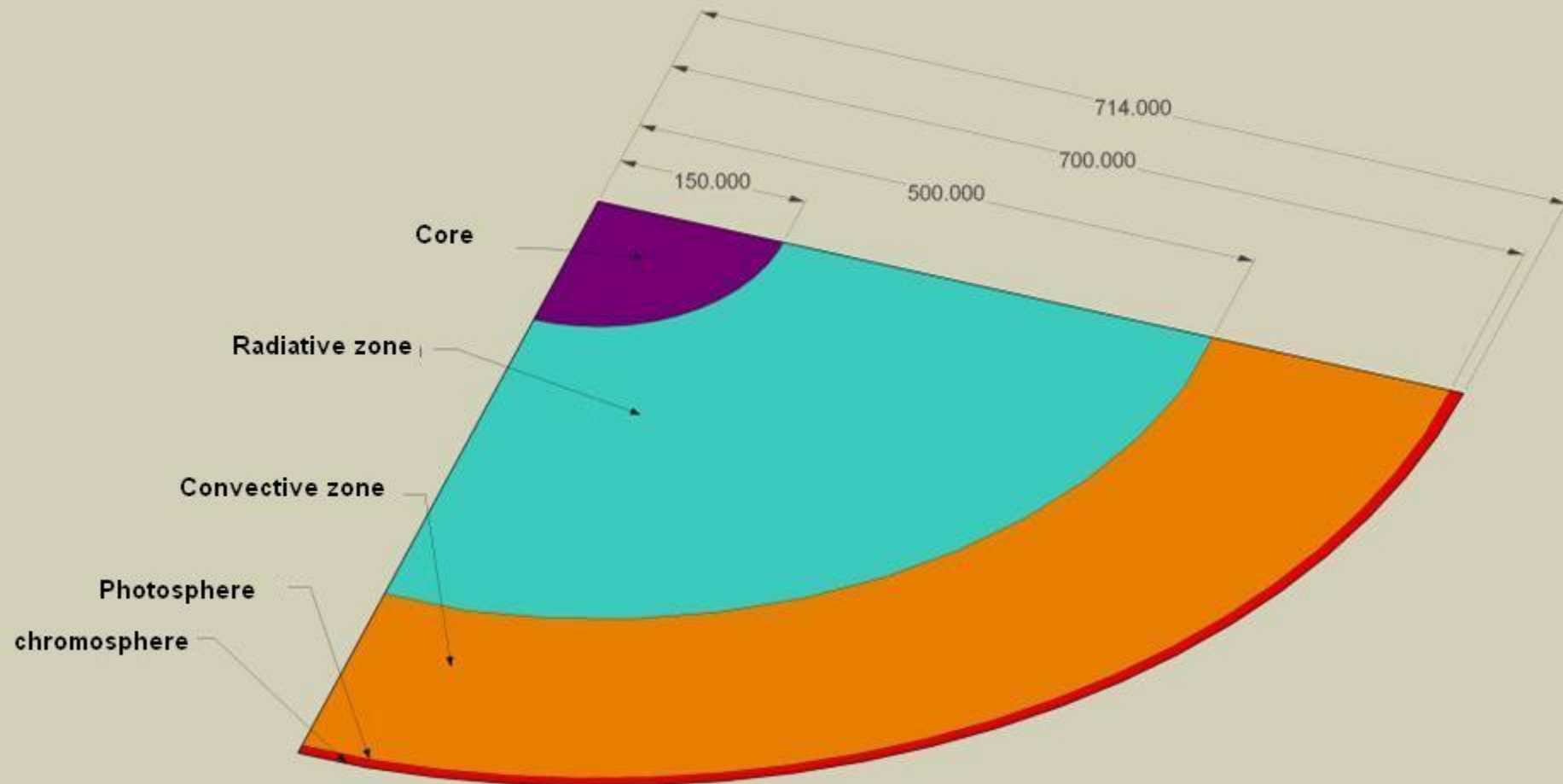


Строение Солнца

- **Корона:** солнечный ветер, температура от 1 to 2 000 000 К.
- Видна только во время затмения или при помощи специального прибора (коронографа).



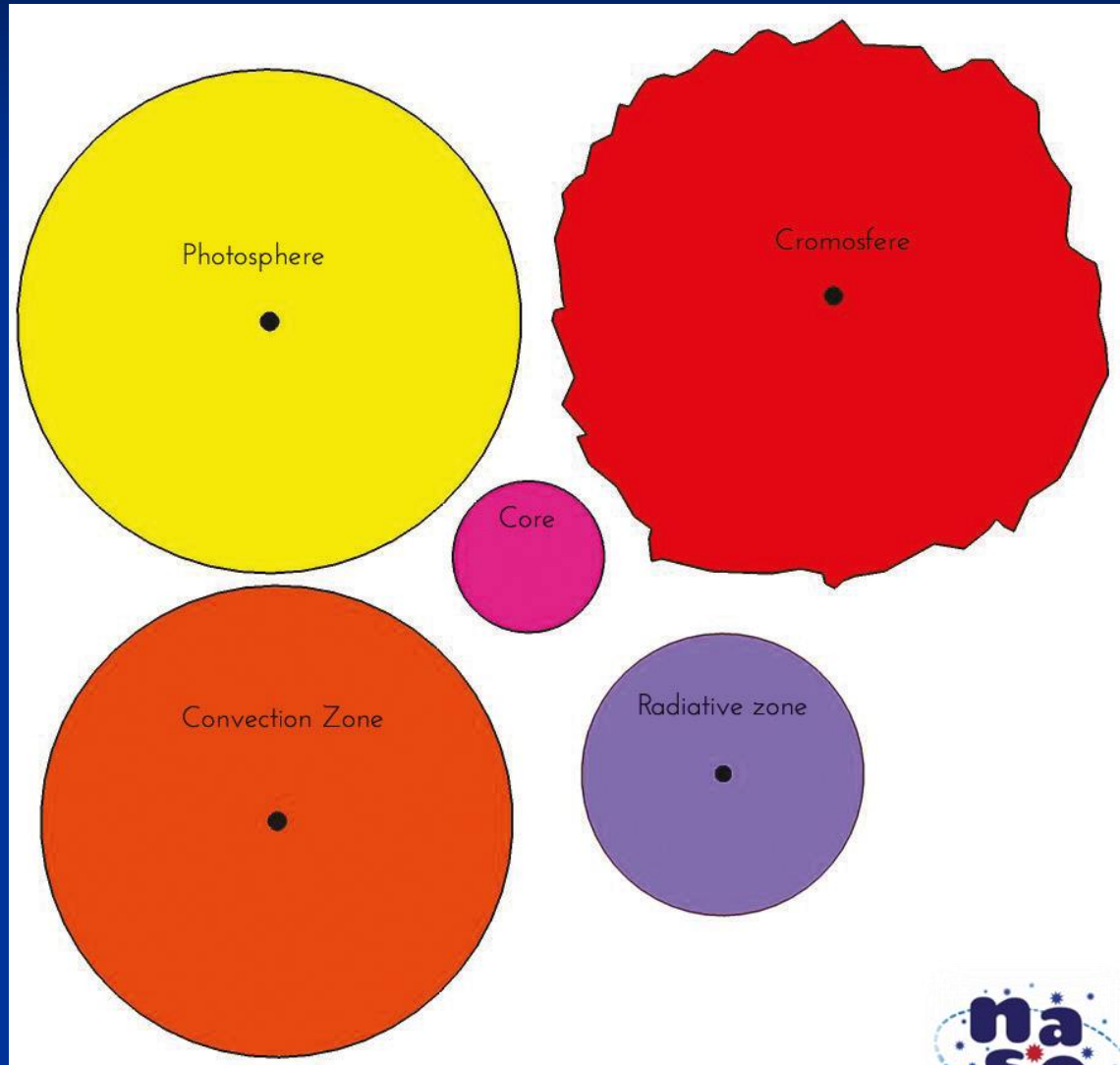
Строение Солнца



Задание 3: Строение Солнца

Создайте простую модель слоев Солнца.

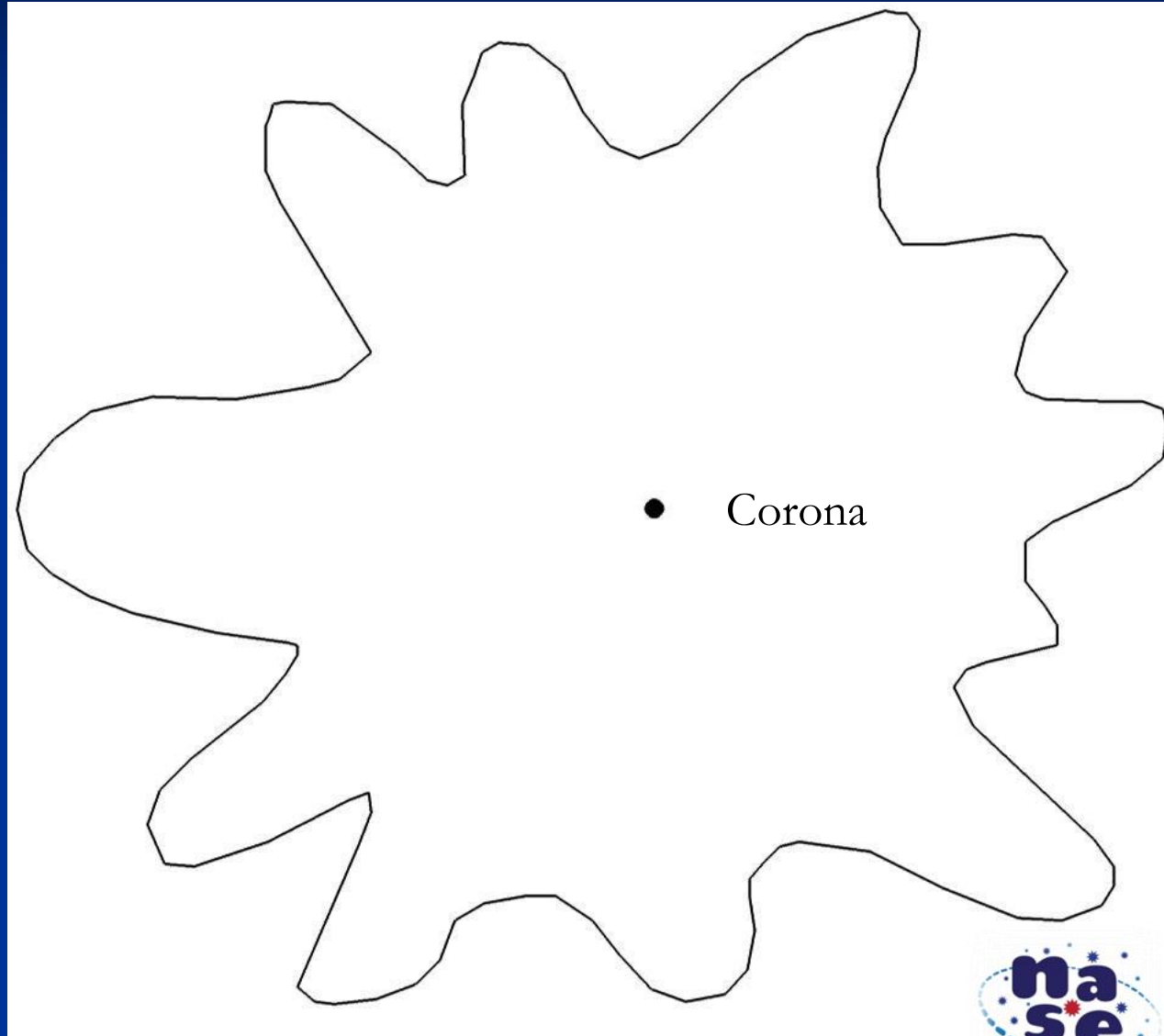
Задача в том, чтобы вырезать разные формы. Их можно вырезать из бумаги разного цвета, либо выкрасить в разные цвета.



Задание 3: Строение Солнца

Корону можно
сделать из
пленок для
кодоскопа.

Наконец вы
располагаете
одну форму
поверх другой в
нужном
порядке.



Задание 3: Строение Солнца

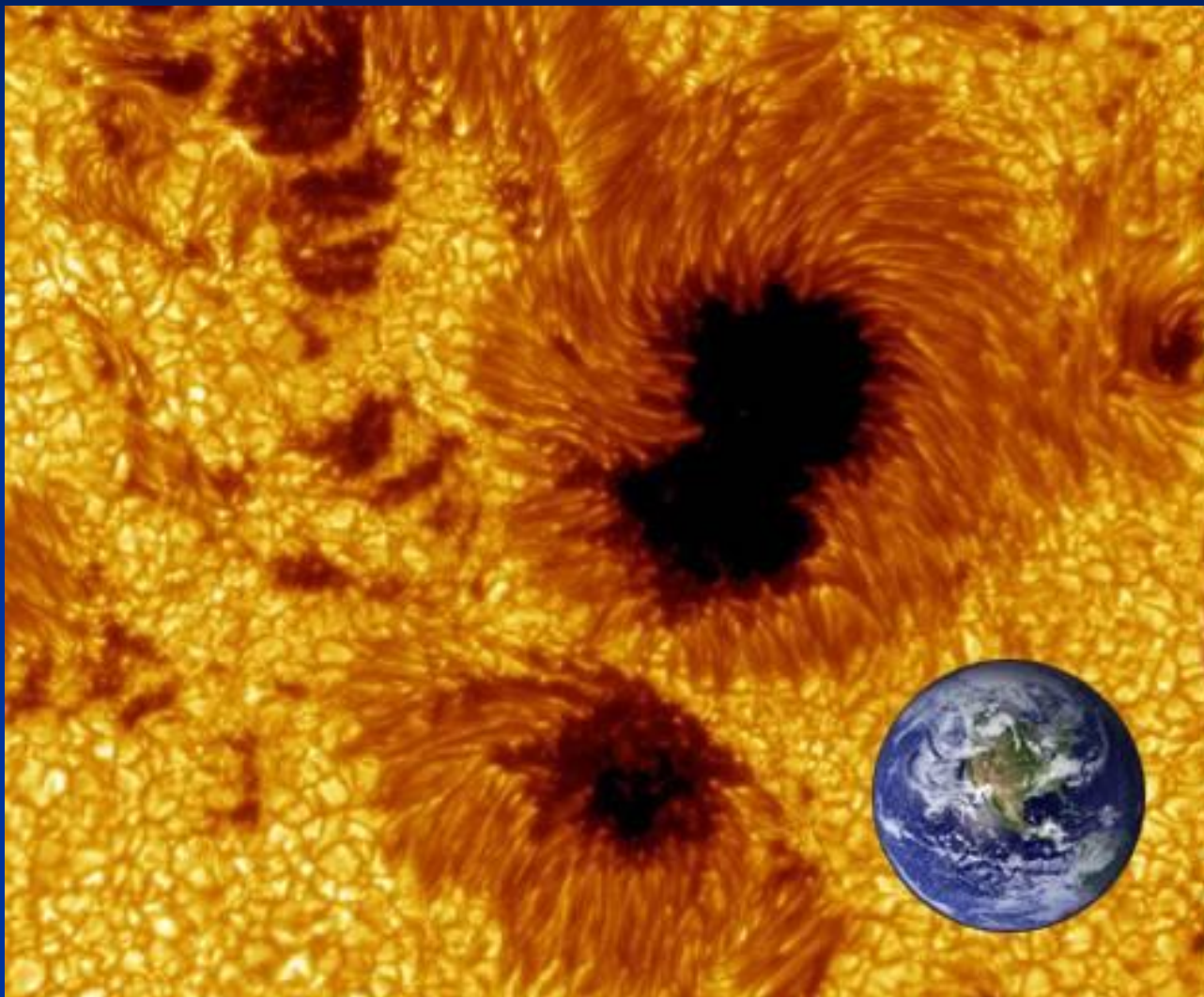


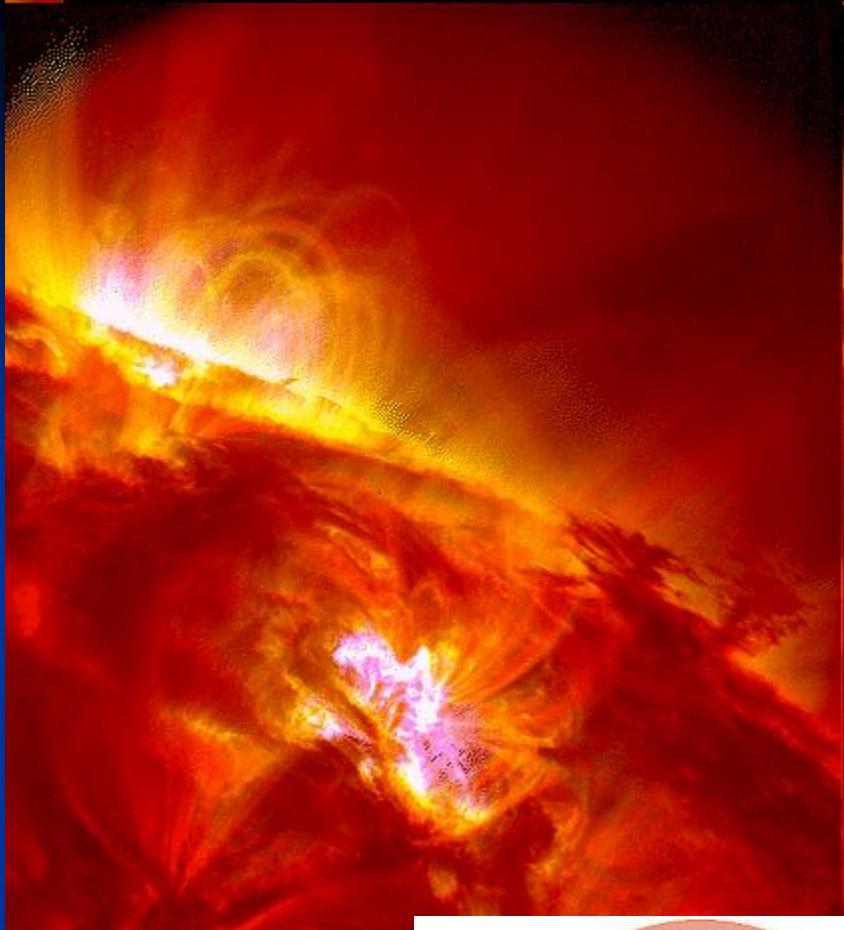
Пятна на Солнце

- Темные пятна на поверхности фотосферы имеют температуру $\sim 4\,200\text{ K}$ вместо $6\,000\text{ K}$.
- Каждое пятно имеет две области: тень (центральная часть) и полутень (внешняя часть).



Пятна на Слънце

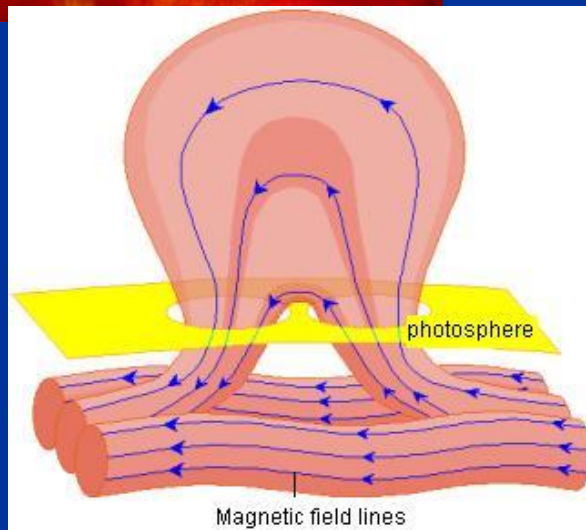




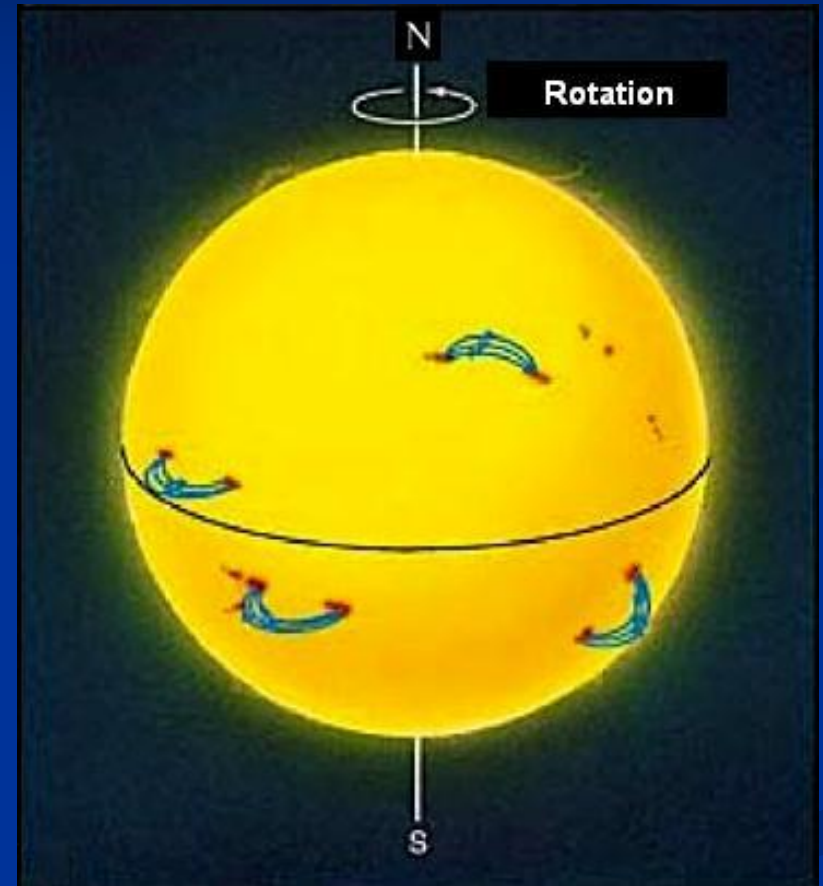
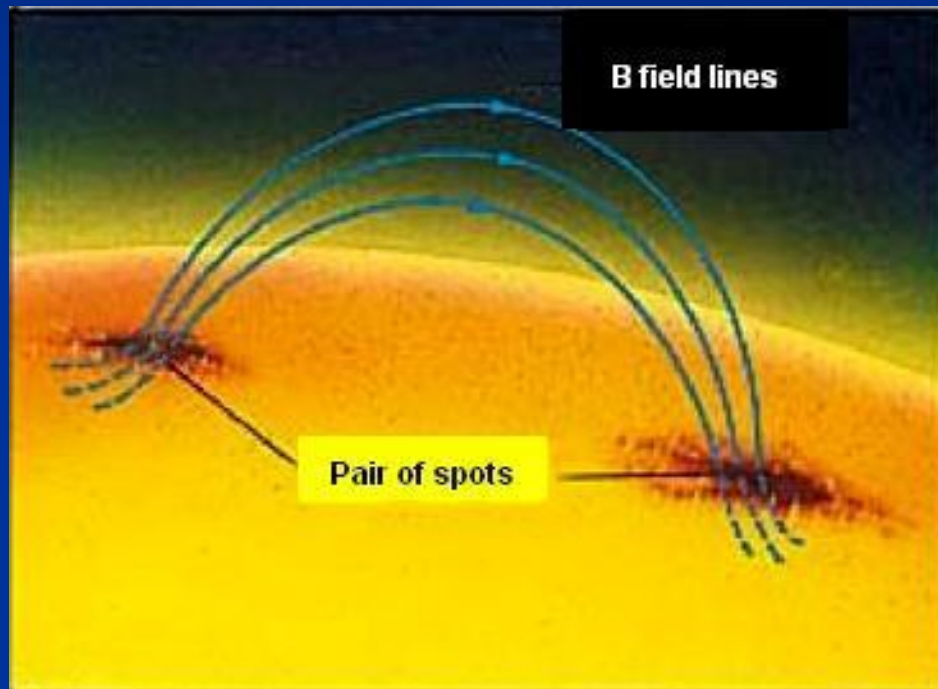
Пятна на Солнце

- Через них проходят сильные магнитные поля.

- Их вызывают прорывы магнитного поля сквозь фотосферу. Вот петля, поднимающаяся из пятна.

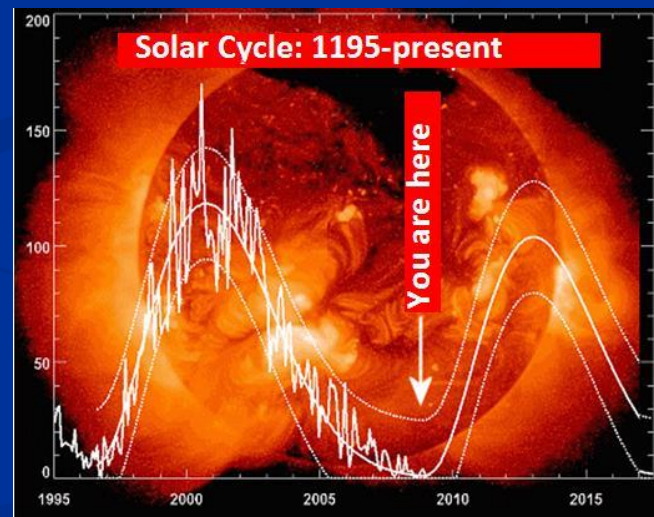
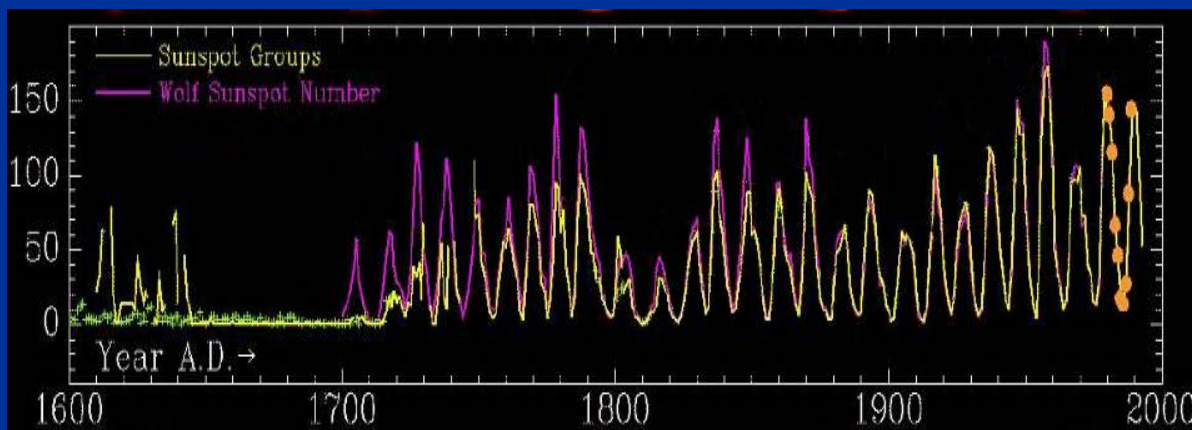


Пятна на Солнца



Пятна на Солнце

- Число пятен на Солнце показывают солнечную активность.
- Число Вольфа = $10G + F$
(G = группы; F = общее число пятен)
- Существует 11-летний цикл развития пятен.

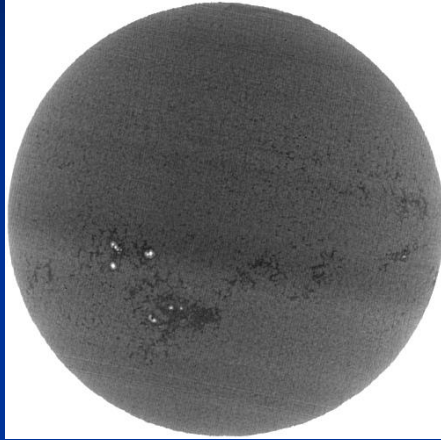


В 2008 году наступил минимум солнечной активности, продолжавшийся дольше обычного.

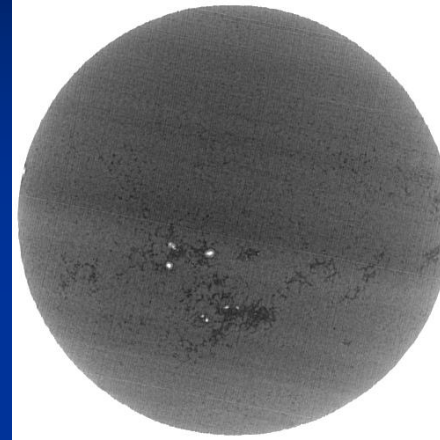


Пятна на Солнце и вращение Солнца

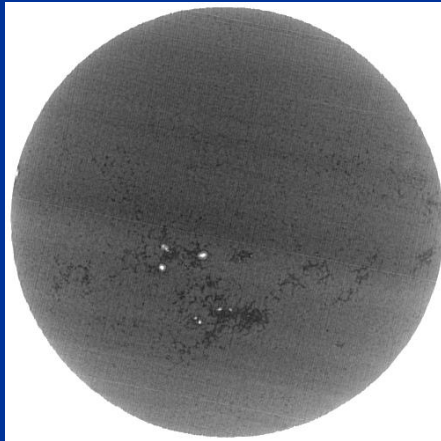
21 ноября 1992



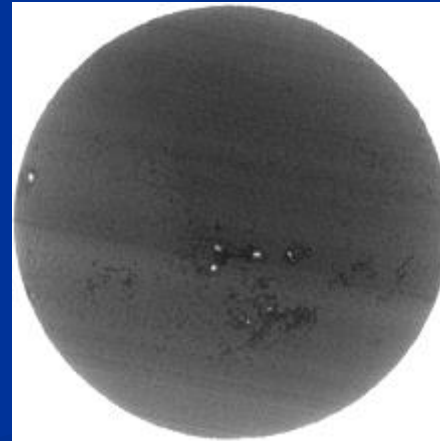
22 ноября 1992



23 ноября 1992



24 ноября 1992



Изображения предоставлены Астрономической Обсерваторией Университета Коимбры



Пятна на Солнце и вращение Солнца

SOHO/MDI Full-Disk
Continuum Image



Observed:
August 1999

LS

- Пятна можно использовать для измерения вращения Солнца.
- Галилей был одним из первых, кто увидел пятна на Солнце при помощи телескопа. Он использовал их, чтобы измерить период вращения Солнца.
- Дифференциальное вращение: от 25 дней на экваторе до 38 дней на полюсах.



Задание 4:

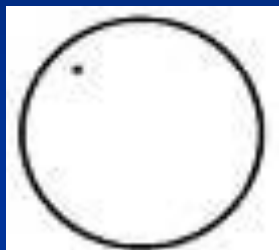
Определение периода вращения Солнца

- Наблюдения Солнца всегда нужно проводить с использованием проекции, полученной через телескоп или бинокляр. Никогда непосредственно.

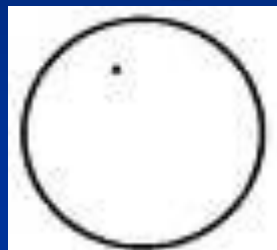


Задание 4: Определение периода вращения Солнца

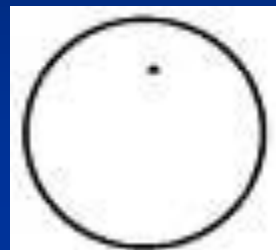
- Пятна на Солнце рисуют в течение нескольких дней. Время t – дни.



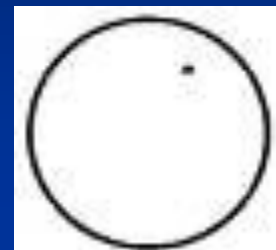
День 1



День 4

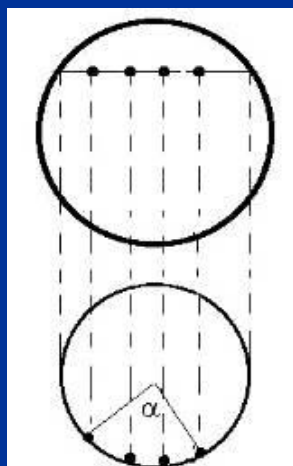


День 6



День 8

- Начертите пройденный путь, длину окружности и угол α . Тогда период T можно измерить в днях.

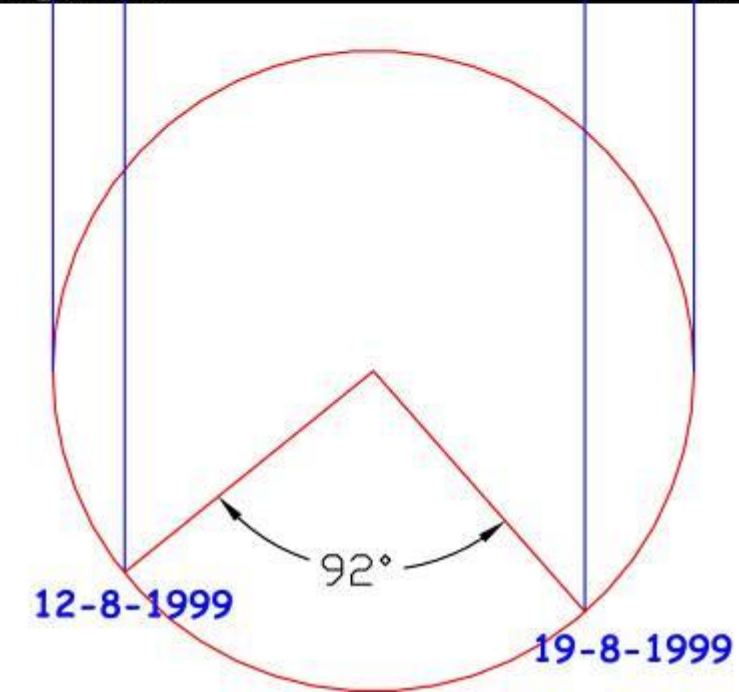


$$\frac{360^\circ}{\alpha^\circ} = \frac{T}{t}$$



Observed:
August 1999

LS



Задание 4: Определение периода вращения Солнца

$$T = \frac{360^\circ \times 7 \text{ days}}{92^\circ} = 27,3 \text{ days}$$

Солнечное излучение

- Солнце - это большой ядерный реактор, производящий фотоны, каждый из которых имеет частоту (цвет) и энергию $E = h\nu$
- Яркость (мощность в ваттах) Солнца огромна: каждую секунду оно излучает эквивалент триллионов атомных бомб.
- Эта энергия передается через пространство, как пузырь, который становится все больше и больше со временем.
- Площадь поверхности пузыря составляет $4\pi R^2$.
- На расстоянии R от Солнца энергия, поступающая каждую секунду на площадь 1 м^2 , равна:
(где P - полная мощность Солнца)

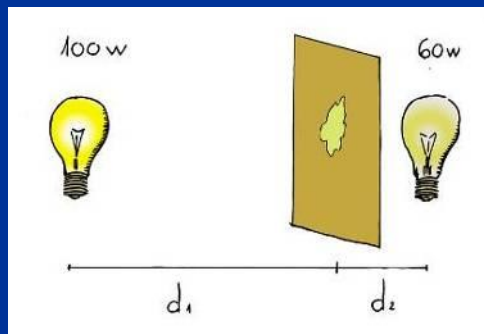
$$\frac{P}{4\pi R^2}$$



Задание 5: Измерение светимости Солнца

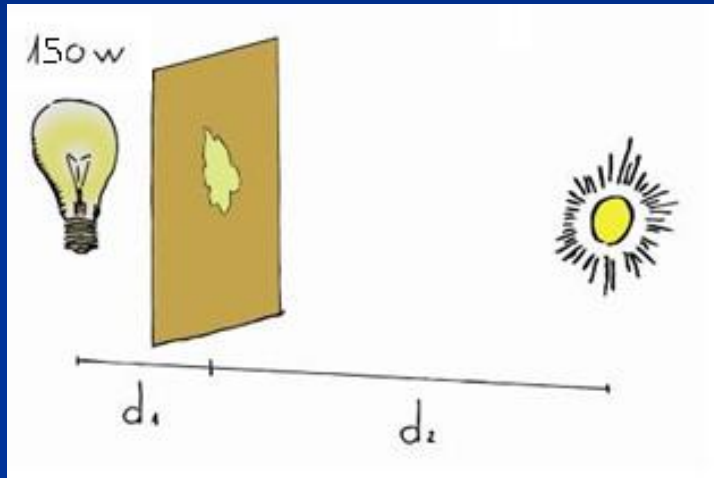
- Энергия передается как обратный квадрат расстояния. Если мы знаем расстояние от Солнца, мы можем рассчитать его мощность.
- Делаем фотометр на основе масляного пятна. Когда свет с обеих сторон бумаги одинаков, пятно не видно; то есть с каждой стороны поступает равное количество энергии. Затем:

$$\frac{P_1}{4 \cdot \pi \cdot d_1^2} = \frac{P_2}{4 \cdot \pi \cdot d_2^2}$$



Задание 5: Измерение светимости Солнца

Сравниваем лампочку в 150 ватт с Солнцем, находящемся на расстоянии в 150 млн. км (1.5×10^{11} м), и измеряем P .

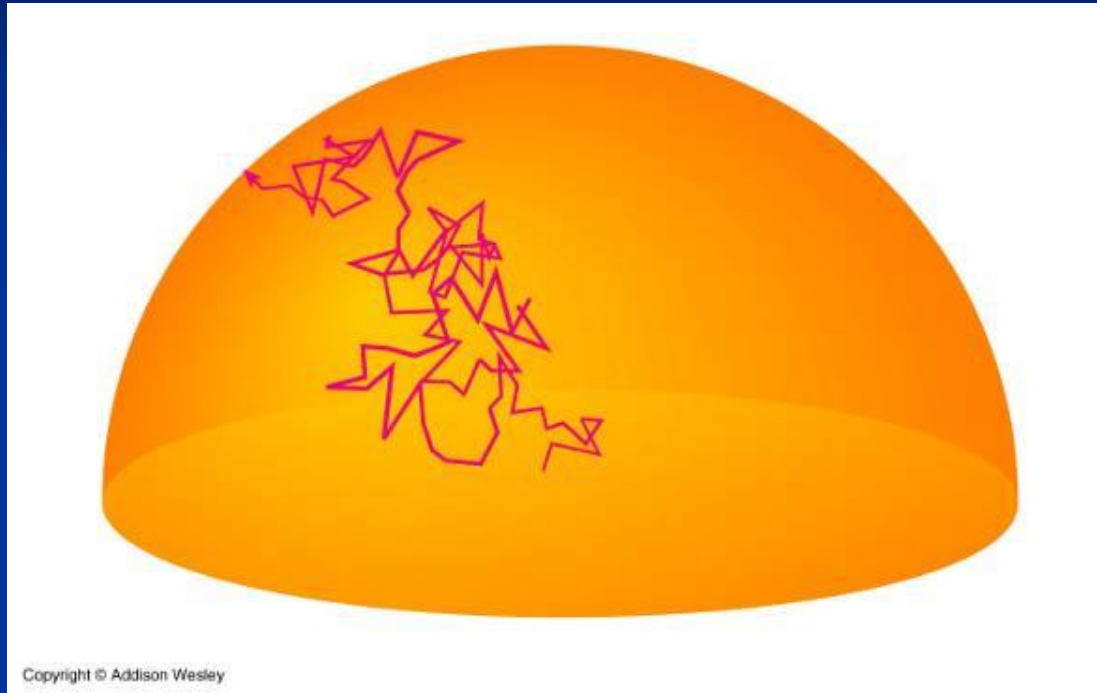


$$\frac{150W}{d_1^2} = \frac{P}{d_2^2}$$



- Результат должен быть приблизительно 3.8×10^{26} ватт

Солнечный спектр: непрозрачность



Фотоны производятся в самом центре Солнца и взаимодействуют с очень плотным материалом в этой области. Фотон добирается из недр Солнца до его фотосферы в течение 1 миллиона лет.

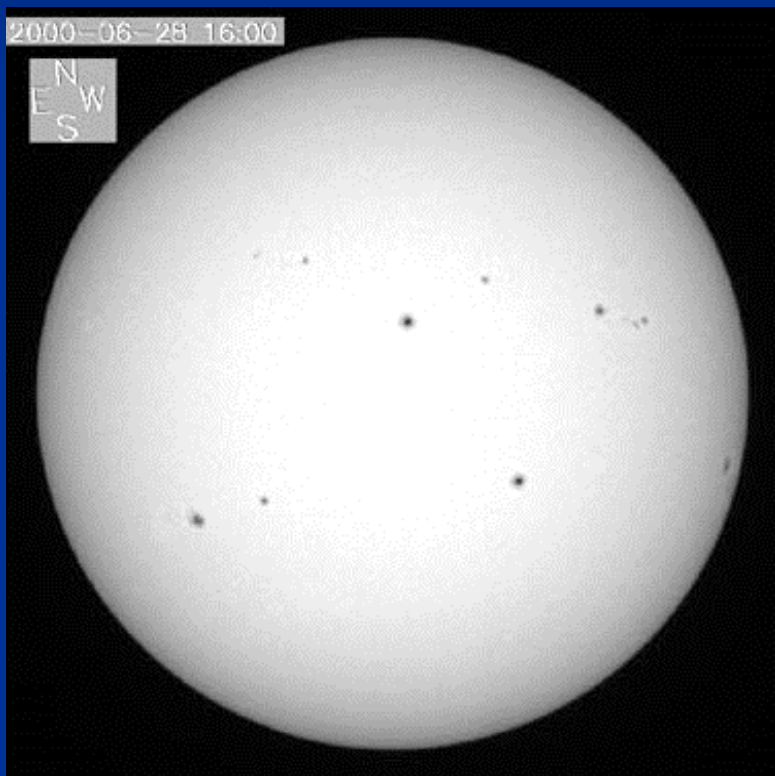


Солнечный спектр: непрозрачность

Внутренние части Солнца непрозрачны (много взаимодействий, как в твердом веществе).

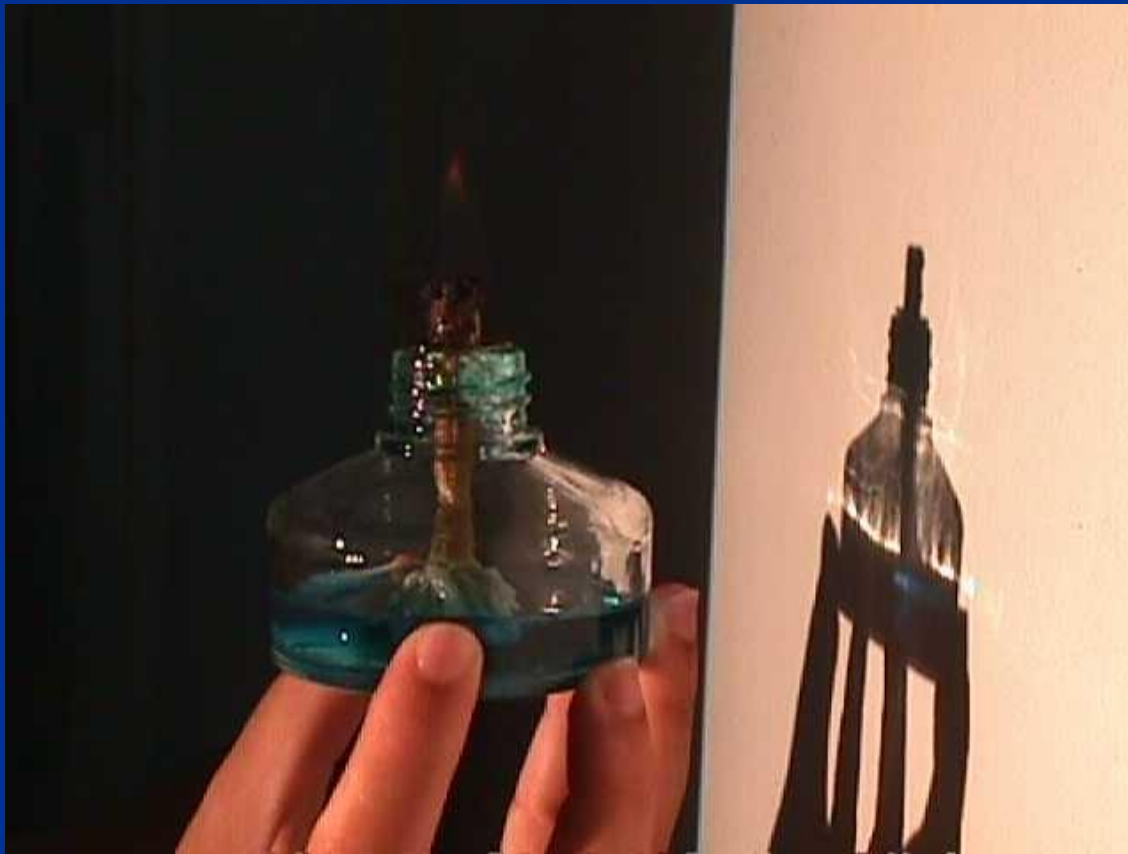
Внешние части прозрачны.

Доказательство: затемнение диска – по краю, где Солнце менее яркое, так как более прозрачное.



Задание 6: Прозрачность и непрозрачность

Прозрачный – не то же самое, что невидимый!



Спектр



Fuente: Deutsche Bundespost 1993



В 1701, Ньютон использовал призму и разложил свет на цвета.

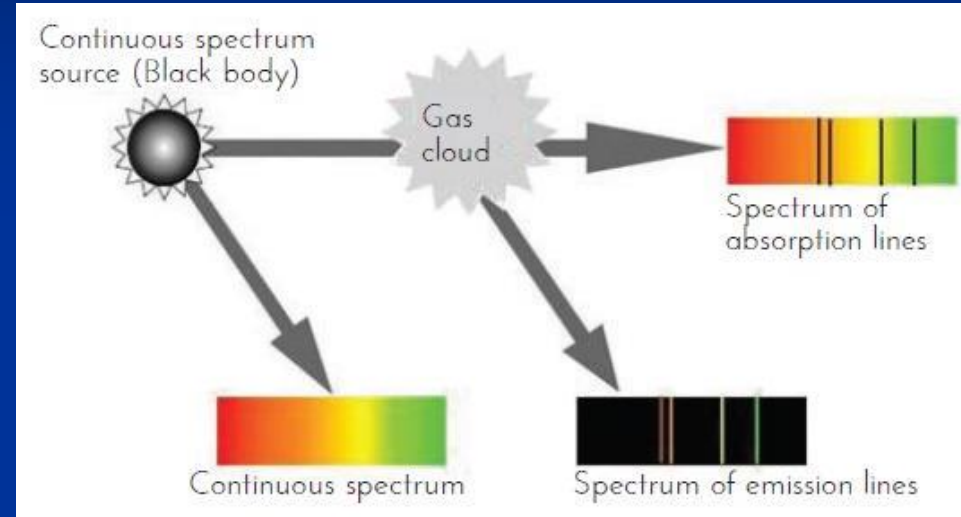
Любой свет можно при помощи призмы или дифракционной решетки разложить. В результате получается спектр.



Законы Кирхгофа и Бунзена

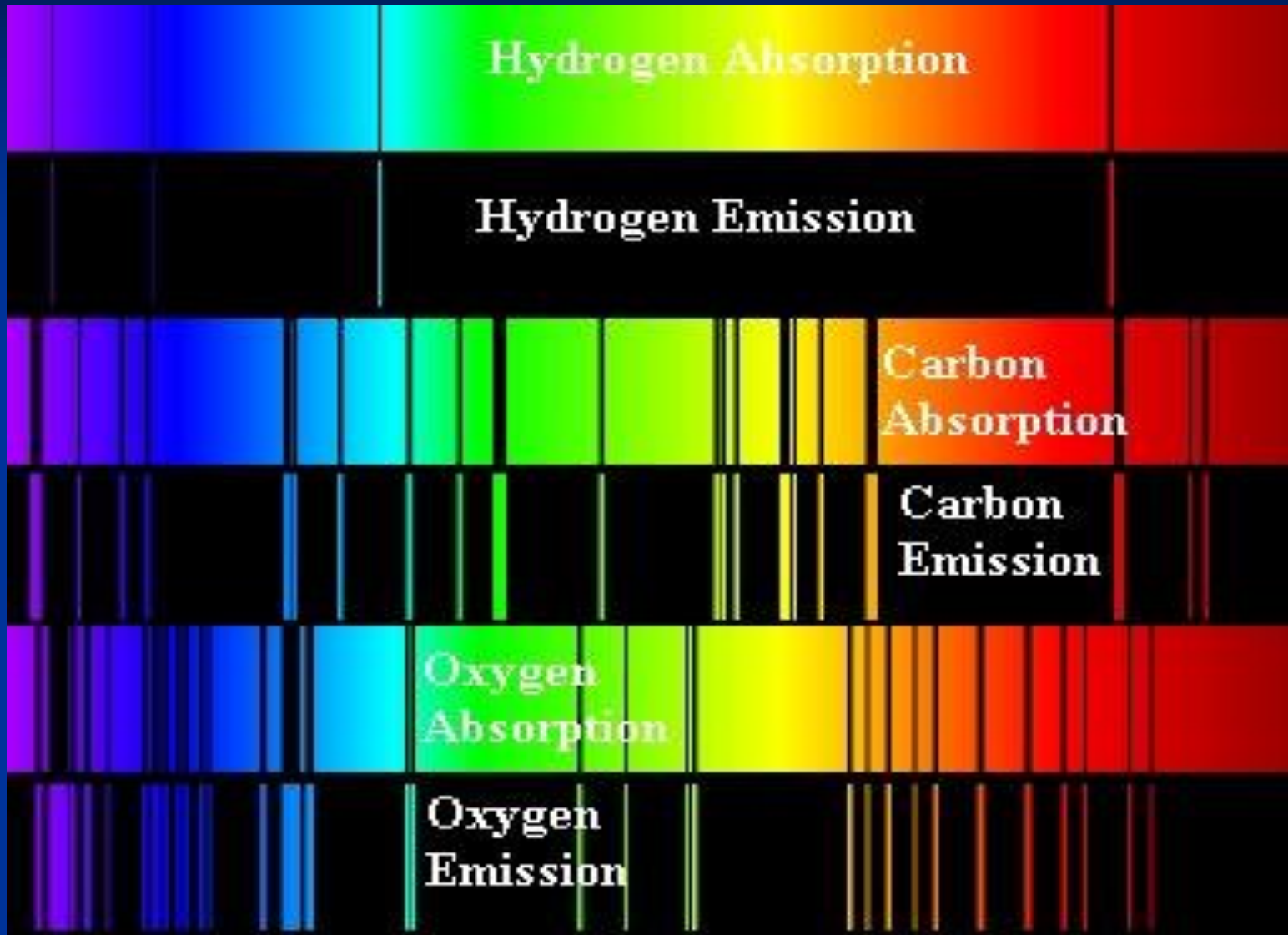
1-й закон – раскаленное непрозрачное твердое тело продуцирует свет с непрерывным спектром

2-й закон – горячий разреженный газ продуцирует свет только определенных длин волн, которые определяются химическим составом газа.

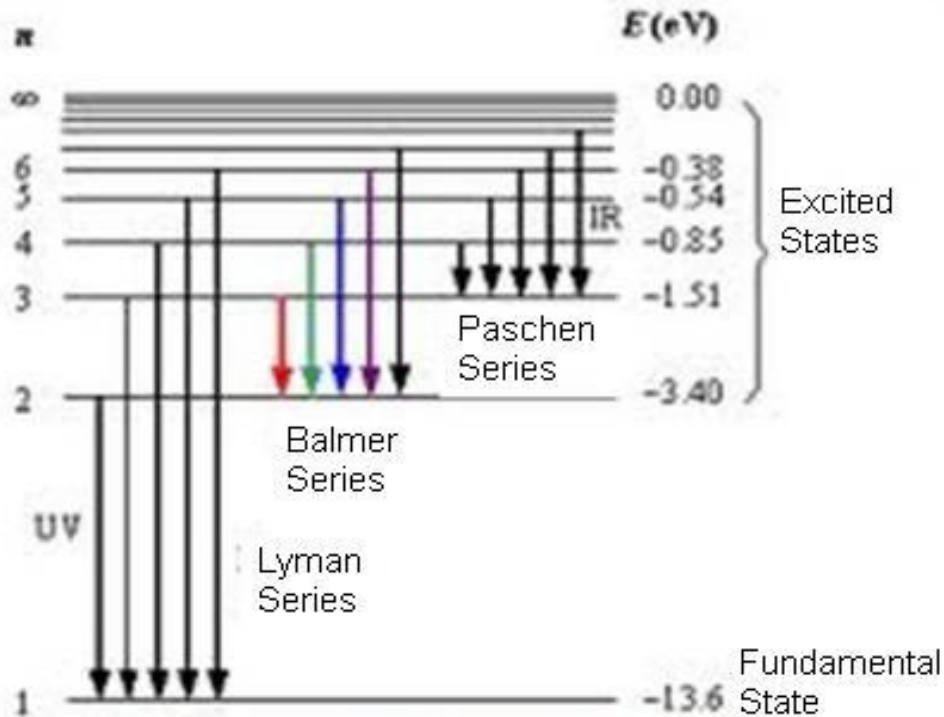


3-й закон – раскаленное непрозрачное твердое тело окруженное газом с низким давлением испускает непрерывный спектр с промежутками, соответствующими длинам волн, определяемыми 2-м законом.

Спектр



Спектр



Energy levels of the hydrogen atom, with some of the transitions which produce the spectral lines indicated

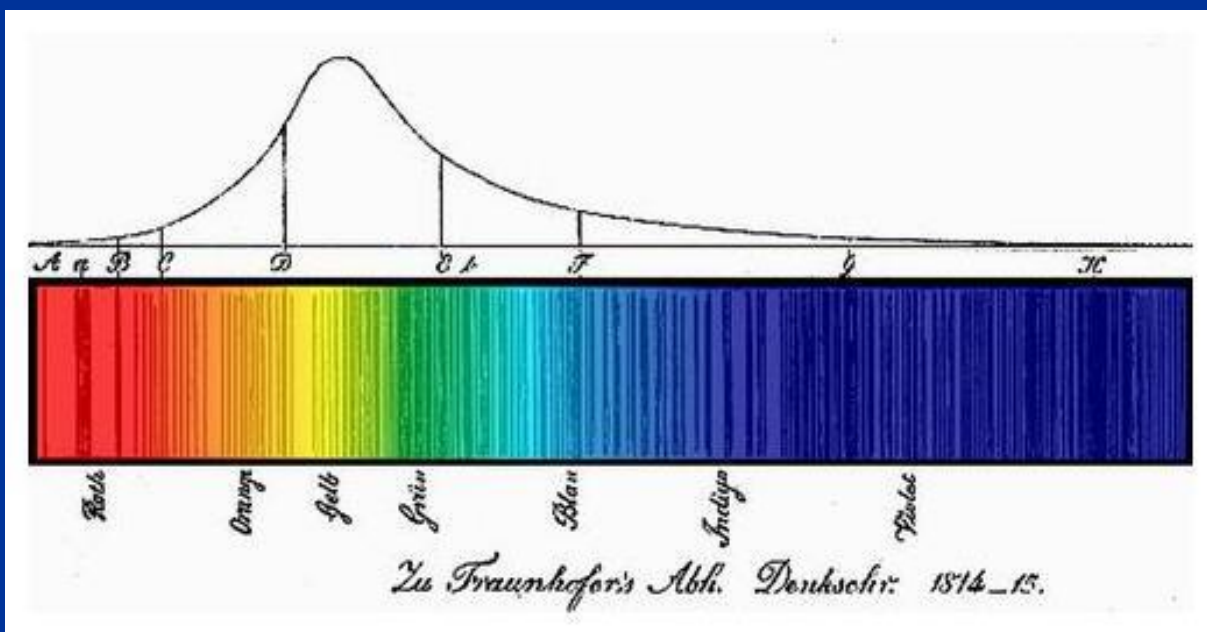
Линии излучения и поглощения образуются благодаря скачкам электронов между двумя энергетическими уровнями.



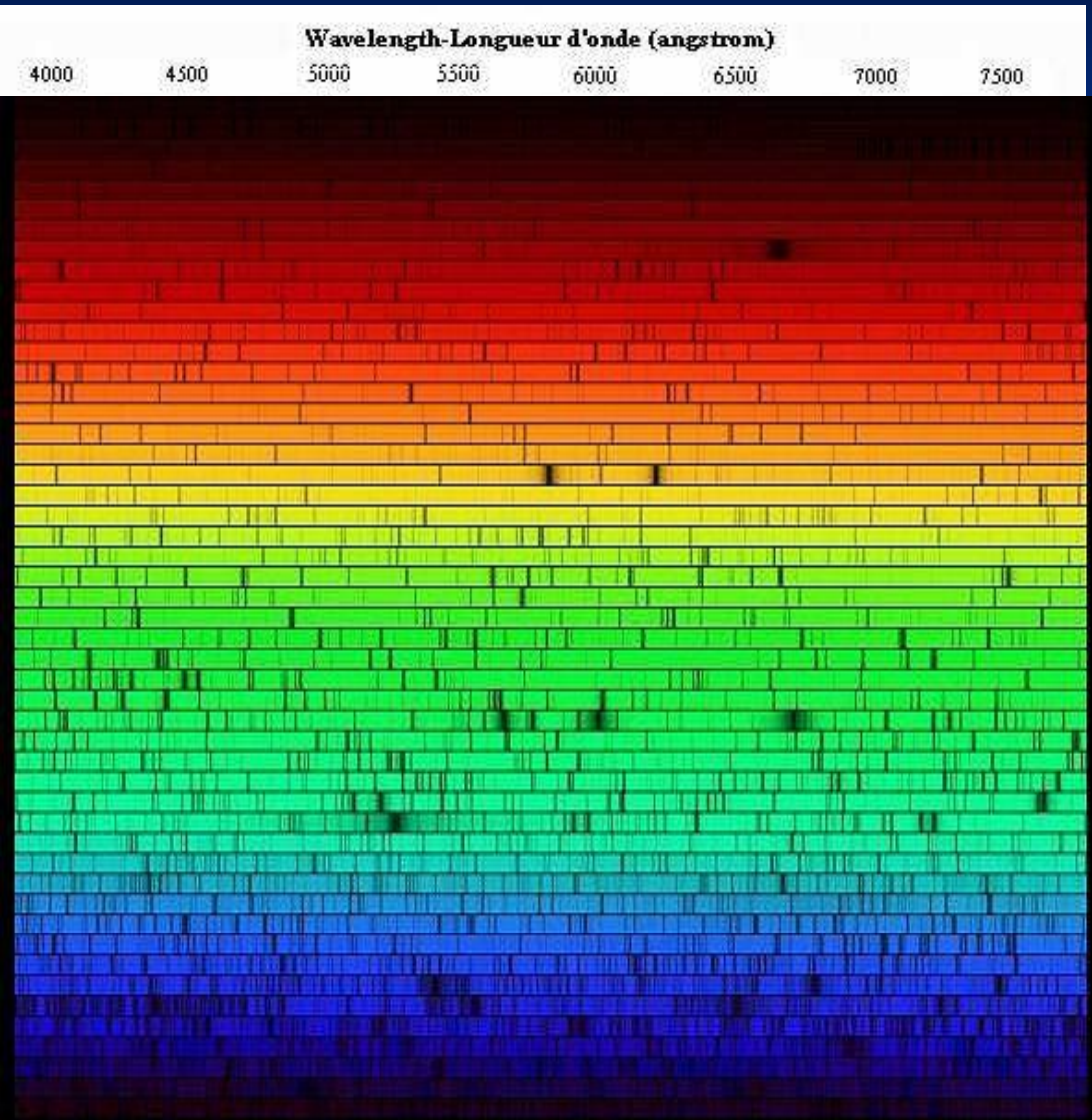
Солнечный спектр: спектр поглощения

В 1802 году Уильям Воластон наблюдал черные линии в солнечном спектре.

В 1814 Йозеф Фраунгофер тщательно изучил спектр Солнца и обнаружил около 700 темных линий.



Солнечный спектр: спектр поглощения



- Темные линии возникают из-за присутствия охлажденных газов прямо над поверхностью Солнца.
- Мы можем узнать состав Солнца не залезая внутрь него.
- Сегодня спектры высокого разрешения показывают гораздо больше линий.



Излучение черного тела



По мере того, как железо разогревается в печи, испускаемый им свет меняет окраску следующим образом:

- Красный
- Желтый
- Белый
- Голубоватый



Излучение черного тела

Любое “черное тело”, будучи нагретым, испускает свет многих длин волн.

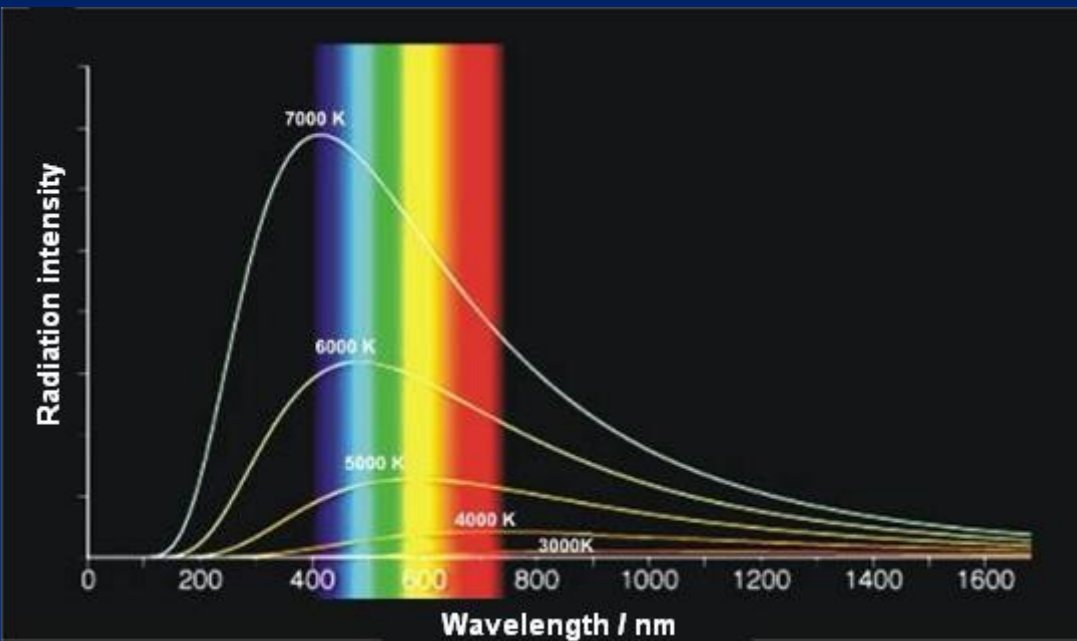
Существует λ_{\max} при которой энергия максимальна.

Эта λ_{\max} зависит от температуры T :

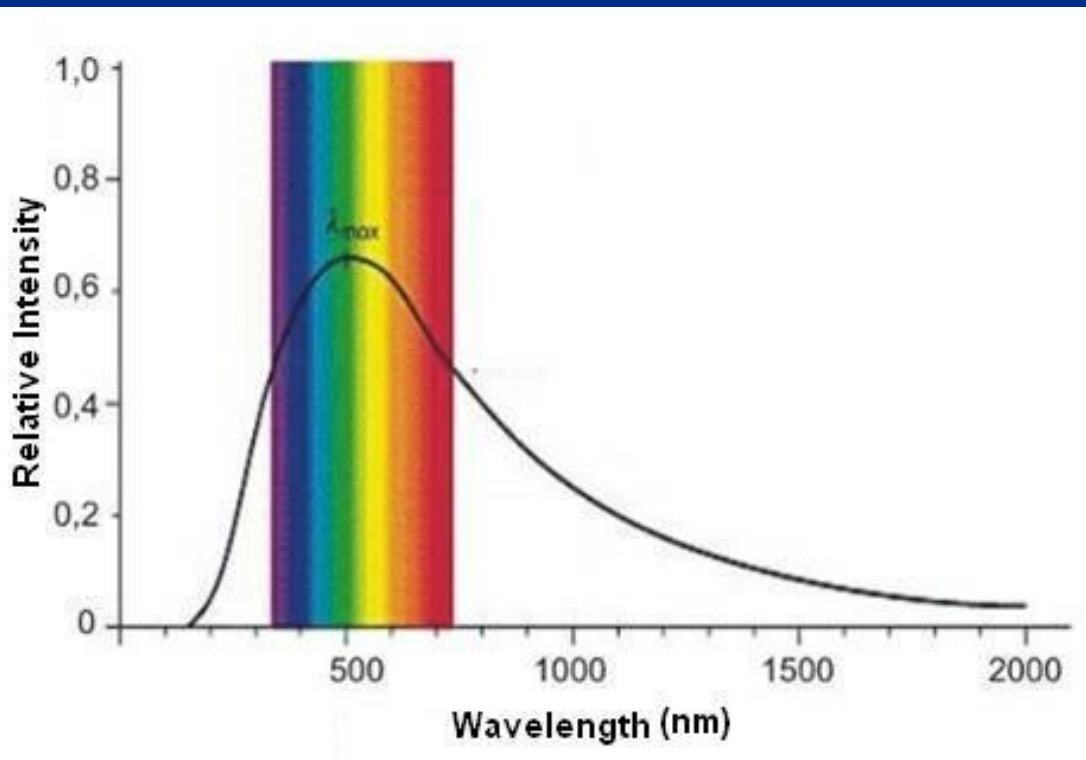
$$\lambda_{\max} = \frac{2.898 \times 10^{-3}}{T} \quad (\text{m})$$

Исследуя излучение отдаленного объекта, можно измерить его температуру, не отправляясь к нему.

Закон Вина



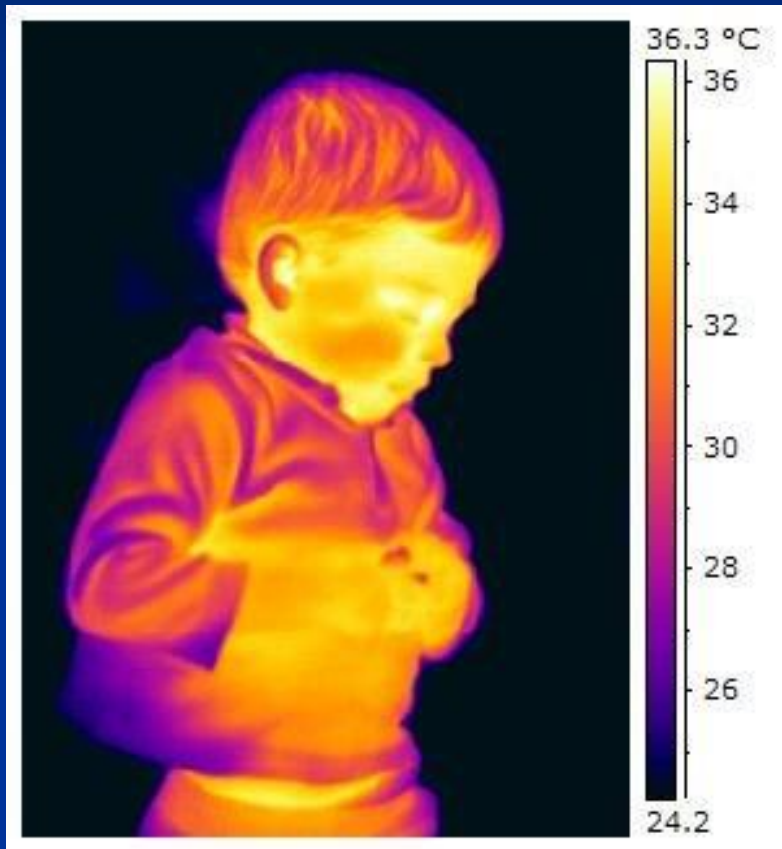
Излучение черного тела



У Солнца λ_{max} составляет 500 нм.

Это значит, что его поверхностная температура 5,800 К.

Излучение черного тела



Температура
человеческого тела
составляет

$$T = 273 + 37 = 310 \text{ К.}$$

Тело человека испускает
большую часть энергии
при $\lambda_{\text{max}} = 9300 \text{ нм}$. Это
дальний инфракрасный.

Приборы ночного
видения используют эти
длины волн.



Рассеивание света



- Если белый свет проходит сквозь газ с крупными частицами, все цвета будут равно рассеяны (белое облако).
- Если размеры частиц намного меньше, чем длины волн λ падающих фотонов, фотоны с более короткими длинами волн рассеиваются сильнее, чем более длинноволновые фотоны (рассеивание Рэяли).
- В нашей атмосфере, голубые фотоны рассеиваются лучше красных, и они приходят со всех сторон:

Вот почему мы видим голубое небо.

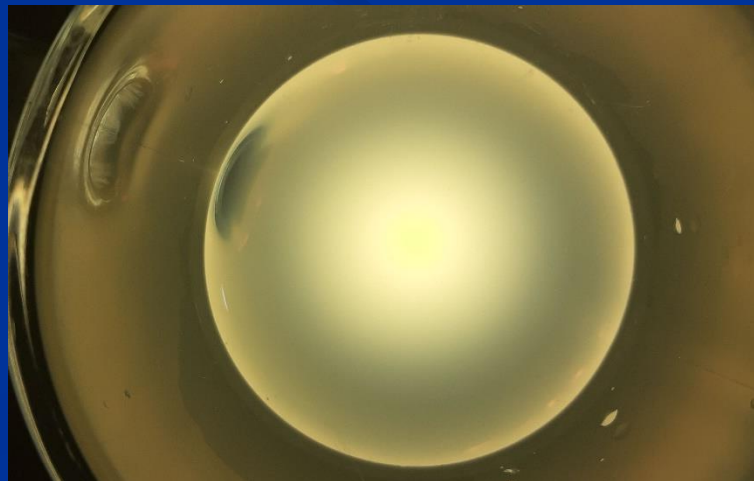
На закате, когда свет проходит через большую толщу атмосферы, он становится более красно-желтым.



Тема 7: Рассеяние света

• Вода в высоком стакане, несколько капель молока и фонарик. Когда свет проходит сквозь смесь:

- Свет, проходящий через стакан сбоку, покажется голубоватым.
- Однако, свет, проходящий через весь стакан, будет казаться нам красноватым при взгляде сверху.



Тема 7: Рассеяние света

- **Силиконовый стержень для клеевого пистолета**
- **Фонарик телефона**



- Стержень около фонарика имеет синеватый цвет.
- Стержень в более удалённых от источника света участках кажется желтоватым и красноватым.

**Большое спасибо за
внимание!**

