

Задача. Эффект Доплера.

Найти регистрируемое на Земле смещение линий атома Н в спектре Солнца за счёт вращения Солнца.

Солнце:

$$R_C = 6,96 \cdot 10^8 \text{ м}$$

$$T_C = 25,38 \text{ сут.}$$

наклон оси $7,25^\circ$

Земля:

$$R_3 = 6,371 \cdot 10^6 \text{ м}$$

$$T_3 = 0,997 \text{ сут.}$$

наклон оси $23,44^\circ$

$$V(\text{перигелий}) = 30,27 \text{ км/с}$$

$$V(\text{афелий}) = 29,27 \text{ км/с}$$

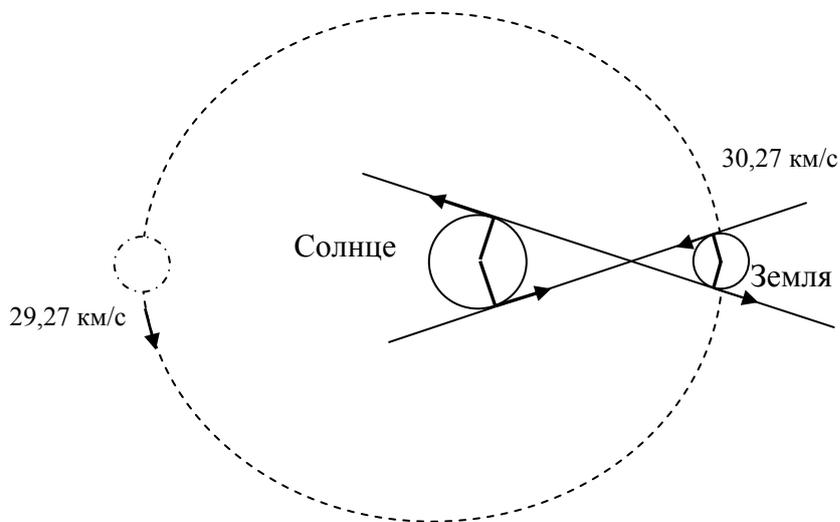


Рис. 1

В видимой части спектра атома водорода 4 длины волны (серия Бальмера):

410 нм (фиолетовый)

434 нм (синий)

486 нм (голубой)

656 нм (красный)

Не будем учитывать наклон осей вращения Земли и Солнца. Тогда сечение в плоскости экваторов будет выглядеть так, как показано на рис. 1.

Продольный эффект Доплера

Длина волны зависит от того, какой точкой поверхности Солнца она испущена и в какой точке поверхности Земли регистрируется. Если обе эти точки лежат на кратчайшей линии, соединяющей Солнце и Землю, то смещения не будет, так как проекции скоростей вращения на эту линию равны нулю. Случаи, когда проекции скоростей на соединяющую линию максимальны, изображены на рисунке.

Скорость точки на экваторе Солнца составляет $v_C = 2\pi R_C / T_C \approx 1993 \text{ м/с}$, на экваторе Земли - $v_3 = 2\pi R_3 / T_3 \approx 465 \text{ м/с}$. А значит, относительная скорость при регистрации лучей от Солнца на Земле может составить $1993 \pm 465 \text{ м/с}$, причём в случае, когда скорости направлены навстречу друг другу, точка на поверхности Солнца приближается, и когда направлены противоположно, - удаляется.

Смещённая длина волны $\lambda' = \lambda (1 - v/c)$. Когда источник волн приближается, длина волны от него оказывается меньше, и мы получаем $\lambda' = \lambda (1 - (1993 - 465)/c)$. Когда источник удаляется, длина волны больше: $\lambda' = \lambda (1 + (1993 + 465)/c)$. Длины волн для видимой части спектра атома водорода с учётом смещения приведены в таблице 1.

Таблица 1

Несмещённая λ	λ с учётом фиолетового смещения	λ с учётом красного смещения	Относительное изменение λ $(5 \div 8) \cdot 10^{-6}$
410 нм	409,9979 нм	410,0034 нм	
434 нм	433,9978 нм	434,0036 нм	
486 нм	485,9975 нм	486,0040 нм	
656 нм	655,9967 нм	656,0054 нм	

Поперечный эффект Доплера

Поперечный эффект Доплера может наблюдаться за счёт компонент скоростей источника и приёмника, направленных перпендикулярно линии, их соединяющей. Это релятивистский эффект, возникающий за счёт замедления времени в движущихся инерциальных системах отсчёта.

Смещённая длина волны $\lambda' = \lambda \gamma$, где γ - лоренц-фактор относительной скорости.

В случае Земли и Солнца этот эффект имеет место за счёт вращения Земли вокруг Солнца, но наблюдаться не может из-за своей чрезвычайной малости:

$$\lambda' = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{30}{300000}\right)^2}} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - 10^{-8}}} \approx \lambda$$

Здесь использована приближённая скорость движения Земли по орбите: 30 км/с. Так как эффект исчезающе мал, то тем более нет смысла учитывать различие скорости движения в афелии и перигелии.