



Лутовинов Александр Анатольевич

Профессор РАН

доктор физико-математических наук

Заместитель директора Институт космических исследований РАН

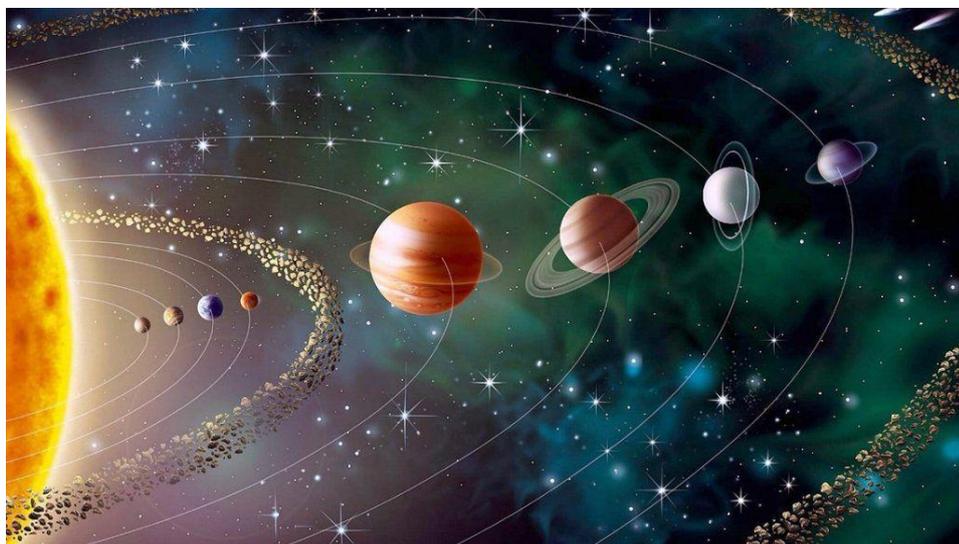
Профессор базовой кафедры физики космоса Института космических исследований РАН
при Национальном исследовательском университете «Высшая школа экономики»

<https://www.hse.ru/org/persons/210543999>

[https://ru.wikipedia.org/wiki/Лутовинов Александр Анатольевич](https://ru.wikipedia.org/wiki/Лутовинов_Александр_Анатольевич)

Вопрос для 8-9 классов:

На некоторой планете Солнечной системы установили точные часы, дающие сильный световой сигнал каждый час по земному Всемирному времени. Два таких сигнала были получены на Земле через 1 час 0.8 секунды один после другого. Что это за планета?



Ответ:

Олимпиадный стиль задачи определяется тем, что нужно было применить эффект Доплера.

Наша планета Земля входит в состав Солнечной системы, где все естественные космические объекты вращаются вокруг центральной звезды – Солнца. По мере удаления от Солнца рассматривают, обычно, планеты Меркурий, Венеру, Землю, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон, а также астероиды, которые объединены в несколько поясов.

По отношению к Земле две планеты Меркурий и Венера являются внутренними, т.е. вращаются по орбитам, находящимся между Солнцем и Землей, а все остальные планеты – внешние, т.е. размеры их орбит больше орбиты Земли.

Интересно, что все объекты двигаются вокруг Солнца в одном направлении, но с разными скоростями. Средние линейные скорости движения планет в гелиоцентрической системе отсчета (т.е. относительно Солнца) имеют следующие значения:

Планета	Меркурий	Венера	Земля	Марс	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун	Плутон
Скорость в км\с	47.4	35.0	29.8	24.1	13.1	9.7	6.8	5.4	4.7

Здесь, конечно, нужно помнить, что чем сильнее орбита отличается от круговой (чем больше эксцентриситет эллипса), тем больше меняется скорость планеты в разных участках орбиты: максимальная скорость бывает в момент, когда планета находится в перигелии (т.е. максимально близко к Солнцу), минимальная скорость, когда планета находится на максимальном от Солнца расстоянии (т.н. афелий).

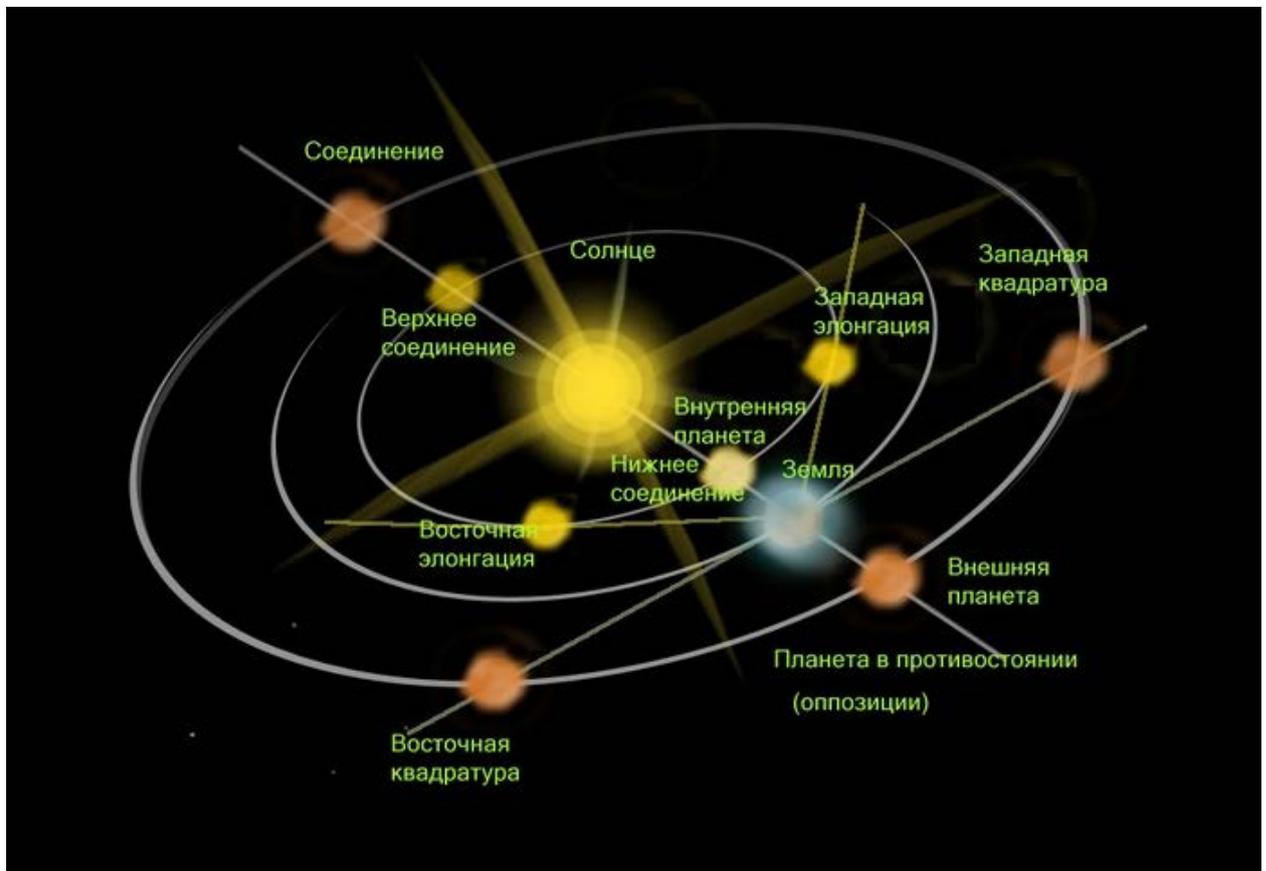


Рисунок взят из [источника](#).

Более сложная картина возникает, если будем рассматривать движение планеты в геоцентрической системе отсчета, т.е. движение по отношению к Земле. Дело в том, что запаздывание сигнала будет происходить по причине наличия ненулевой скорости движения планеты по отношению к Земле. Причем обсуждать нам нужно т.н. лучевую скорость, т.е. компоненту скорости планеты в геоцентрической системе отсчета по направлению линии, соединяющей центры Земли и планеты.

Чтобы оценить, какова должна быть лучевая скорость планеты проще всего воспользоваться уравнением, описывающим классический эффект Доплера. Все, конечно, привыкли, что в случае распространения электромагнитных волн в вакууме нужно обсуждать изменение частоты (длины волны) электромагнитного излучения вследствие взаимного перемещения источника и приемника света.

Наш случай будет несколько иным (в этом и состоит «изюминка» задачи). Мы будем рассматривать изменение частоты периодического сигнала с периодом 1 час = 3600 с, распространяющегося в космическом пространстве со скоростью света $c \approx 300\,000$ км/с вследствие эффекта Доплера, возникающего из-за наличия ненулевой лучевой скорости V движения планеты относительно Земли. Причем рассматривать мы будем именно классический эффект, поскольку частота импульсов весьма малая.

Из теории эффекта Доплера известно, что детектируемая частота ν связана с частотой источника ν_0 соотношением:

$$\nu = \nu_0 * \left(1 + \frac{V}{c}\right)$$

учитывая, что частота выражается через период как $T = 1/\nu$, можно записать:

$$\frac{1}{T} = \frac{\left(1 + \frac{V}{c}\right)}{T_0}, \text{ откуда } V = c * \left(\frac{T_0}{T} - 1\right) = c * \frac{T_0 - T}{T}$$

где период $T = 3600$ с, а период $T_0 = 3600,8$ с. Отсюда получаем: $V \approx 66,7$ км/с

Если рассмотреть возможные взаимные скорости планеты относительно Земли, становится понятно, что все планеты кроме Меркурия могут иметь заметно меньшие скорости.

В то же время, линейные скорости Меркурия в гелиоцентрической системе отсчета в афелии –38 км/с и даже в перигелии – 56 км/с с учетом скорости Земли – 30 км/с не позволяют обеспечить лучевую скорость 66,7 км/с, поскольку и Земля, и Меркурий движутся в одном направлении по отношению к Солнцу.

Самый сильный эффект будет, когда Меркурий движется в перигелии, а на Земле он наблюдается в восточной элонгации, на максимальном удалении к востоку от Солнца. В этот момент скорость Меркурия в направлении Земли максимальна и равна 59 км/с (с учётом эксцентриситета орбиты Меркурия). Проекция скорости Земли на направление от Меркурия 9 км/с, поэтому максимальное значение лучевой скорости Меркурия будет 59-9=50 км/с, поэтому $\Delta T = 0,6$ с. Если же Меркурий находится в Афелии, то тогда лучевая скорость будет 25 км/с и эффект ещё меньше. Подробный учет всех остальных возможных вкладов (вращение Земли, малый эксцентриситет ее орбиты) также не позволяет приблизиться к необходимому значению.

Таким образом, хоть Меркурий и дает максимально возможную задержку по времени (из всех планет Солнечной системы), он не даст значение 0,8 с.

Р.с.: Организационный комитет викторины отмечает, что опечатка в вопросе (0,8 вместо 0,6 с) появилась случайно, однако она позволила некоторым участникам викторины максимально глубоко рассмотреть вопрос и проявить значительную целеустремленность в разборе всех аспектов задачи.