

Observational Round: Solar Physics



Q1-1

Russian (Russian Federation)

Солнечный шлёпа (75 баллов)

Пожалуйста, прочитайте общие инструкции перед началом работы.

25-й солнечный цикл набирает обороты! Он начался в декабре 2019 года, и солнечная активность будет расти примерно до середины 2025 года. Чем выше солнечная активность, тем чаще происходят солнечные вспышки — интенсивные всплески излучения, возникающие в области фотосферы и нижней части короны. Иногда солнечные вспышки сопровождаются выбросами корональной плазмы (CME) в межпланетное пространство.

Мы живём в золотой век солнечной астрофизики: вступая в период высокой солнечной активности, мы имеем новые инструменты, которые позволят изучать Солнце как никогда раньше. Один из них — Parker Solar Probe (ParkerSP), первый космический аппарат в истории, который полетел в нижнюю часть солнечной короны. ParkerSP имеет вытянутую орбиту (эксцентриситет $\varepsilon \approx 0.88$) и приблизится к Солнцу на расстояние 7 миллионов км (~ 10 солнечных радиусов) во время прохождения последнего перигелия (в 2025 году).

Совсем недавно, 28 мая 2021 года корональный выброс массы (CME) в форме буквы «С» был зарегистрирован солнечным космическим телескопом SOHO (расположенным около точки L_1 на расстоянии 1.5×10^6 км от Земли) с помощью бортовых коронографов LASCO. Породившее выброс событие сформировало его в 22:19 UTC. Выброс произошёл под углом 55° к направлению от Солнца к Земле и прямо к точке, где находился ParkerSP. На рис. 1 показаны три последовательных изображения, сделанных NASA, которые показывают эволюцию CME от рождения до момента достижения ParkerSP.

Предположим, что все космические аппараты находятся точно в плоскости эклиптики; изображения представляют вид «сверху» на плоскость эклиптики.

Observational Round: Solar Physics



Q1-2

Russian (Russian Federation)

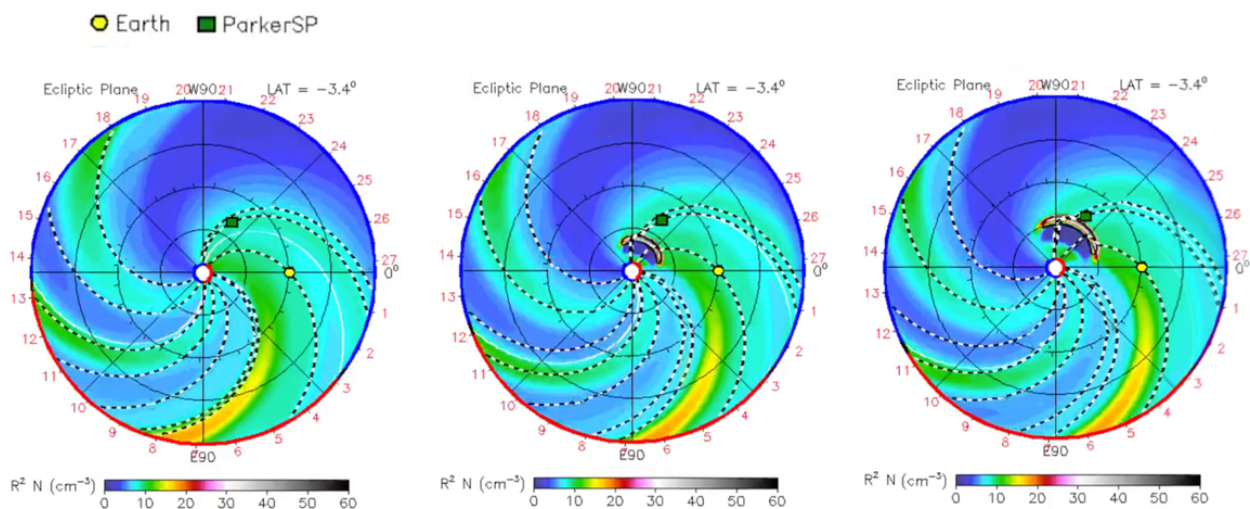


Рис. 1. Последовательность карт плотности вещества гелиосферы.

Эволюция CME, сформировавшегося 28.05.2021 в 22:19 UTC.

На изображениях показано расположение Солнца (в центре) и Земли (на расстоянии $1 \text{ au} \approx 1.5 \times 10^8 \text{ km}$ от Солнца) и космического корабля ParkerSP.

Обратите внимание, что фронт CME достиг ParkerSP на последнем изображении. Угол Земля – Солнце – ParkerSP равен 55° .

Observational Round: Solar Physics



Q1-3

Russian (Russian Federation)

Часть 1 (30 баллов)

- 1.1** Используя программу JHelioviewer, проследите за описанным CME, произошедшим 28 мая 2021 года, совместив изображения, полученные Solar Dynamics Observatory (полный диск Солнца) и коронографами SOHO LASCO-C2 (участок от 2 до 6 солнечных радиусов) и LASCO-C3 (участок от 3.7 до 30 солнечных радиусов), как показано на рис. 2. Выберите некоторое количество кадров, которые характеризуют этот процесс, и укажите в табличном виде дату и время их съёмки. 10.0pt

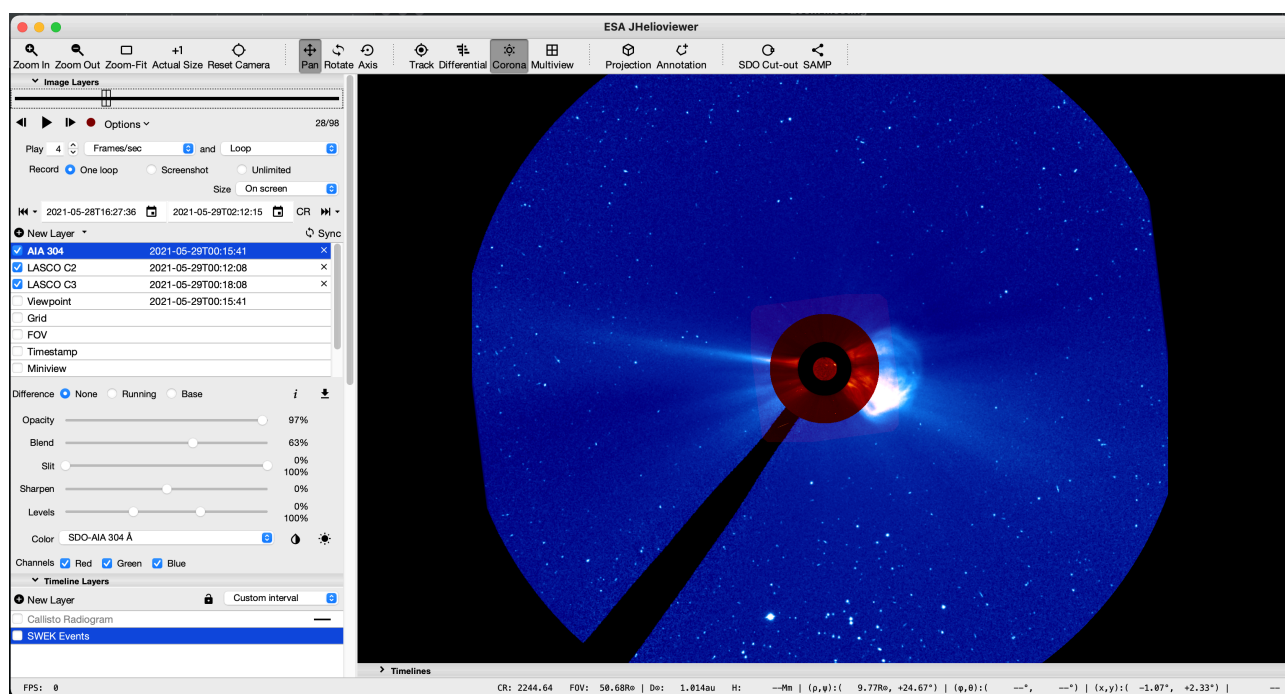


Рис. 2. Изучение изображений Солнца за 28 мая 2021 в программе JHelioviewer

- 1.2** Для каждого из выбранных кадров определите гелиоцентрическое расстояние фронта CME в километрах. 10.0pt

Observational Round: Solar Physics



Q1-4

Russian (Russian Federation)

1.3 Составьте таблицу со следующими сведениями для каждого из кадров, выбранных в пункте 1.1: 10.0pt

- Date and time. Дата и время (зафиксированы в пункте 1.1)
- Distance of CME front from the Sun. Гелиоцентрическое расстояние фронта CME в км (определены в пункте 1.2)
- Cumulative velocity. Кумулятивная скорость в км/с (средняя скорость фронта CME от рождения до момента съёмки кадра)
- Velocity per time interval. Интервальная скорость в км/с (средняя скорость фронта между моментами съёмки этого и предыдущего кадра)

Приведите (табулируйте) необходимые вычисления на бланках решений.

Указание: все скорости вычисляются относительно Солнца.

Не забудьте озаглавить каждый столбец таблицы!

Observational Round: Solar Physics



Q1-5

Russian (Russian Federation)

Часть 2 (15 баллов)

- | | | |
|-----|--|--------|
| 2.1 | Постройте графики расстояние – время и скорость – время (для кумулятивной и интервальной скоростей) по данным своей таблицы. | 15.0pt |
|-----|--|--------|

Часть 3 (10 баллов)

- | | | |
|-----|---|--------|
| 3.1 | Предполагая, что на гелиоцентрических расстояниях больше 30 солнечных радиусов CME движется с постоянной скоростью, оцените скорость (в км/с), с которой CME налетел на ParkerSP, и время (в часах), за которое он преодолел соответствующее расстояние от момента своего рождения. | 10.0pt |
|-----|---|--------|

Часть 4 (10 баллов)

Для каждого из приведённых ниже утверждений отметьте, истинно оно (TRUE) или ложно (FALSE).

- | | | |
|-----|--|-------|
| 4.1 | Если увеличивать частоту выборки кадров, то есть сокращать временной интервал между выбираемыми кадрами, параметры эволюции CME будут определяться с большей точностью (детализацией). | 2.0pt |
| 4.2 | При анализе эволюции CME необходимо учитывать дифференциальное вращение Солнца, это влияет на вычисленную скорость движения CME. | 2.0pt |
| 4.3 | Сдвиг изображений при отображении коллажа (композиции изображений из нескольких источников) в программе напрямую влияет на точность расчёта скоростей. | 2.0pt |
| 4.4 | Различные допущения, сделанные для построения модели, отображаемой на карте плотности вещества гелиосферы на рис. 1, могут повлиять на оценку гелиоцентрического расстояния ParkerSP. | 2.0pt |
| 4.5 | Взаимодействие фронта CME с пылью, оставленной кометой Борисова 2019 года, размывает фронт выброса. Это снижает контраст изображений, существенно увеличивая погрешности в определении фронта CME и анализе его распространения. | 2.0pt |

Часть 5 (10 баллов)

- | | | |
|-----|--|--------|
| 5.1 | Выброс содержит большое количество протонов и альфа-частиц. Вычислите кинетическую энергию (в эВ) протона и альфа-частицы в CME, которую измерил инструмент SWEAP (Solar Wind Electrons Alphas and Protons) на борту ParkerSP. | 10.0pt |
|-----|--|--------|

Observational Round: Solar Physics



Q1-6

Russian (Russian Federation)

Программное обеспечение:

Программу JHelioviewer можно использовать для изучения изображений Солнца, полученных на различных солнечных телескопах, как показано на рис. 2. Используя графический интерфейс возможно выбрать период наблюдения и загрузить данные из разных источников, добавив слои (Add Layer). Просмотрите последовательность кадров, чтобы изучить эволюцию выброса. Перемещая курсор, вы получаете информацию о координатах (x, y; в угловых секундах) указанной точки относительно центра Солнца.