

BLR-3 B-1 C-1

**BLR-3 B-1 C**  
Syrakovash Artsemi

# **Observational Round: Solar Physics The Solar Slap**

## **Cover sheet**

Please return this cover sheet together with all the related question sheets.

# Observational Round: Solar Physics



BLR-3 B-1 Q-1

**Q1-1**

English (Official)

## The Solar Slap (75 points)

Please read the general instructions before you start this exam.

Solar Cycle 25 is heating up! It began in December 2019 and will peak in 2025. The start of a new cycle means there will be increasing solar activity until roughly mid-2025. One direct consequence of such activity is the more frequent occurrence of solar flares, which are intense bursts of radiation observed near the Sun's photosphere and low-corona. Solar flares are sometimes accompanied by coronal mass ejections (CMEs), which expel coronal plasma into interplanetary space.

We are living in a golden age for solar astrophysics. In addition to entering a period of high solar activity, we also have new solar telescopes that will allow us to study the Sun as never before. One of these telescopes is the Parker Solar Probe (ParkerSP), the first spacecraft in history to fly into the low solar corona. The ParkerSP has a somewhat eccentric orbit ( $\epsilon \approx 0.88$ ) and will approach the Sun as close as 7 million km ( $\sim 10$  solar radii) on its final orbital perihelion (in 2025).

Just recently, on May 28, 2021, a C-shaped CME was detected by the solar space telescope SOHO (located at a distance of  $1.5 \times 10^6$  km from Earth, around the Sun-Earth L1 Lagrange point) by means of the onboard LASCO coronographs. The solar eruption generating the CME occurred at 22:19 UTC with an ecliptic traveling angle of  $55^\circ$  (with respect to the Sun-Earth line), heading directly towards the point where ParkerSP was located. Figure 1 shows a sequence of three consecutive images made by NASA, highlighting the evolution of the CME, from the onset to the moment it reaches the ParkerSP.

Assume that all spacecrafts are exactly on the ecliptic plane and the images here show a top view of the ecliptic plane.

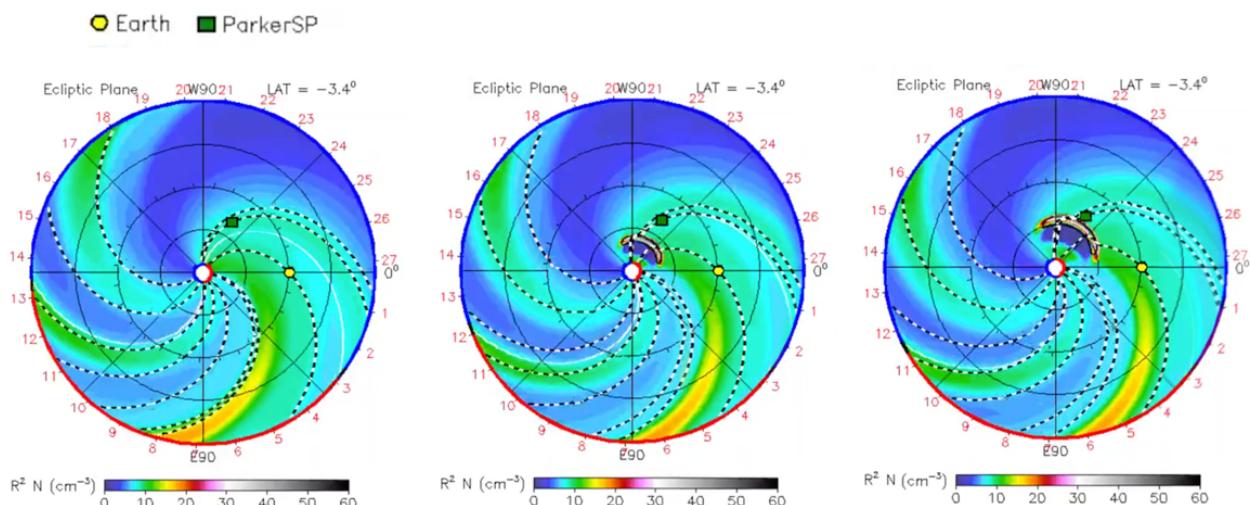


Figure 1: Sequence of images displaying on a heliospheric density map, the evolution of a CME that had its onset on May 28, 2021 at 22:19 UTC. The images show the location of the Sun (center) and of Earth (at 1 AU  $\approx 1.5 \times 10^8$  km from the Sun) and the spacecraft ParkerSP. Note that the CME front impacts the ParkerSP in the last image of the sequence. The angle formed by Earth-Sun-ParkerSP is  $55^\circ$ .

# Observational Round: Solar Physics



BLR-3 B-1 Q-2

**Q1-2**

English (Official)

## Part 1 (30 points).

- 1.1** Using the JHelioviewer software find the CME which occurred on May 28, 2021, by selecting images from the Solar Dynamics Observatory (full disk) and the SOHO-spacecraft coronographs LASCO-C2 (imaging from 2 to 6 solar radii) and LASCO-C3 (imaging from 3.7 to 30 solar radii), as shown in Figure 2. Indicate, in a table, the date and time of each image that you have used. 10.0pt

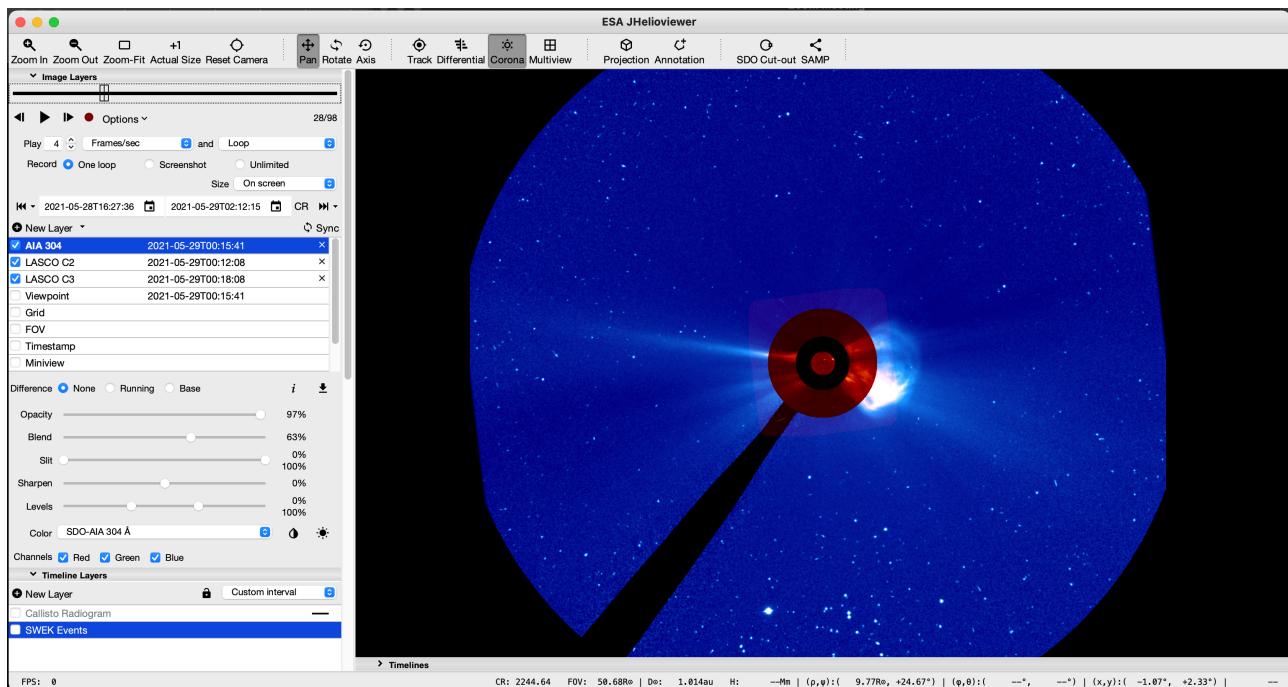


Figure 2: Exploration of solar data for May 28, 2021 with JHelioviewer.

- 1.2** Use a selection of images to measure the distance of the CME front from the Sun in km. 10.0pt

- 1.3** Extend the table of data (that you constructed in previous part) to include  
• Date and time (as reported in 1.1)  
• Distance of CME front from the Sun in km (as reported in 1.2)  
• Cumulative velocity in km/s (e.g. if you are at the 4th image, the mean velocity between onset of CME until the time of the 4th image),  
• Velocity per time interval in km/s (e.g if you are at the 4th image, the mean velocity of CME between the times of the 3rd and 4th image). 10.0pt

Make this table in the working sheet.

**Note:** Both the velocities are to be calculated with respect to the Sun.

**Do not forget to label each of the columns of your table accordingly.**

# Observational Round: Solar Physics



BLR-3 B-1 Q-3

**Q1-3**

English (Official)

## Part 2 (15 points).

- 2.1 Make distance-time and velocity-time graphs (for both cumulative and velocity per time interval) using the measured and calculated data from your table. 15.0pt

## Part 3 (10 points).

- 3.1 Considering that the CME moves at constant speed for distances larger than 30 solar radii, estimate the velocity (in km/s) of the CME front when it impacts the ParkerSP, and the time (in hours) it takes to do so from its onset. 10.0pt

## Part 4 (10 points).

From the following statements, mark which are TRUE and which are FALSE.

- 4.1 If we keep decreasing the time interval between successive images, the precision of measurements of the evolution of the CME and the calculated physical parameters will always keep increasing. 2.0pt

- 4.2 A more accurate analysis and measurements of the CME evolution should consider the differential rotation of the Sun, and therefore the calculated velocities will be affected. 2.0pt

- 4.3 Any software (numerical) misalignment among the images when creating the mosaic will have direct effects on the precision of the calculations. 2.0pt

- 4.4 The different assumptions made in order to construct the model displayed in a heliospheric density map in Figure 1, may affect the estimation of the Sun-ParkerSP distance. 2.0pt

- 4.5 The interaction of the CME-front with the remnant dust left by the 2019 Borisov comet broadens and diffuses the images. This reduces the contrast in the images, substantially increasing the uncertainty in determining the CME-front and its propagation. 2.0pt

## Part 5 (10 points)

- 5.1 The CME front carries a large number of protons and alpha particles. Calculate the energy (in eV) of a single proton and a single alpha particle as measured by the Solar Wind Electrons Alphas and Protons (SWEP) instrument on board the ParkerSP. Consider only the mechanical energy of the particles resulting from the propagation of the CME front, neglecting all other forms of energy. 10.0pt

**Tools:**

## Observational Round: Solar Physics



BLR-3 B-1 Q-4

**Q1-4**  
English (Official)

The JHelioviewer software (<https://www.jhelioviewer.org/download.html>) can be used to explore solar data from several solar telescopes as shown in Figure 2. Using the graphic interface, you can select an observing data (Observation Date) and upload multiple solar images by adding layers (AddLayer). Using the option, you can inspect a sequence of images to study the evolution of an eruptive event. By moving the cursor you get the information about the coordinates where you are located (in arcseconds) with respect to the center of the Sun (x:0" y:0").

# Observational Round: Solar Physics



BLR-3 B-1 Q-1

**Q1-1**

BLR (Belarus)

## Солнечная пощечина (75 очков)

Пожалуйста, прочтите 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 фотосфера и нижней части короны. Иногда солнечные высыпания 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 позволяют 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  $e \approx 0.88$ ) и приблизится к Солнцу на расстояние 7 миллионов км ( $\sim 10$  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  $1.5 \times 10^6$  км от Земли) с помощью бортового коронографа LASCO. Породившее выброс событие произошло в 22:19 UTC. Выброс произошёл под углом  $55^\circ$  к направлению от Солнца к Земле и прямо к точке, где находился ParkerSP. На рис. 1 показаны три последовательных изображений, сделанных NASA, которые показывают эволюцию CME от формирования до момента достижения ParkerSP.

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

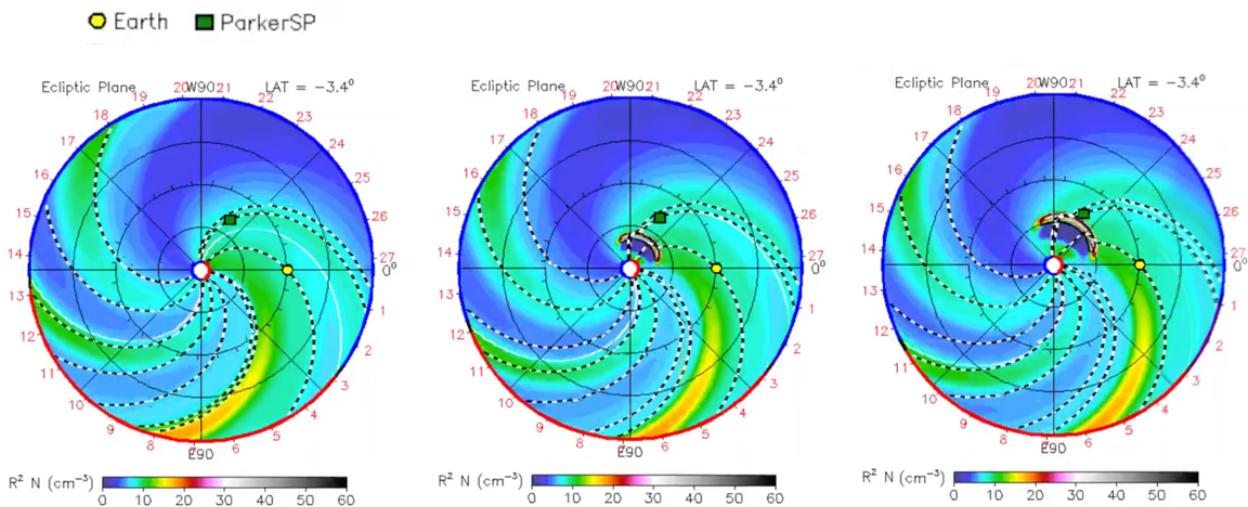


Рис. 1. Последовательность карт плотности вещества гелиосферы.

Эволюция CME, сформировавшегося 28.05.2021 в 22:19 UTC.

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

Обратите внимание, что фронт CME достиг ParkerSP на последнем изображении. Угол Земля-Солнце-ParkerSP равен  $55^\circ$ .

## Observational Round: Solar Physics



BLR-3 B-1 Q-2

**Q1-2**  
BLR (Belarus)

---

# Observational Round: Solar Physics



BLR-3 B-1 Q-3

**Q1-3**

BLR (Belarus)

## Часть 1 (30 баллов)

- 1.1** Используя программу JHelioviewer, проследите за описанным СМЕ, произошедшим 28 мая 2021 года, совместив изображения, полученные Solar Dynamics Observatory (полный диск Солнца) и коронографов 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. Укажите в табличном виде дату и время использованных изображений. 10.0pt

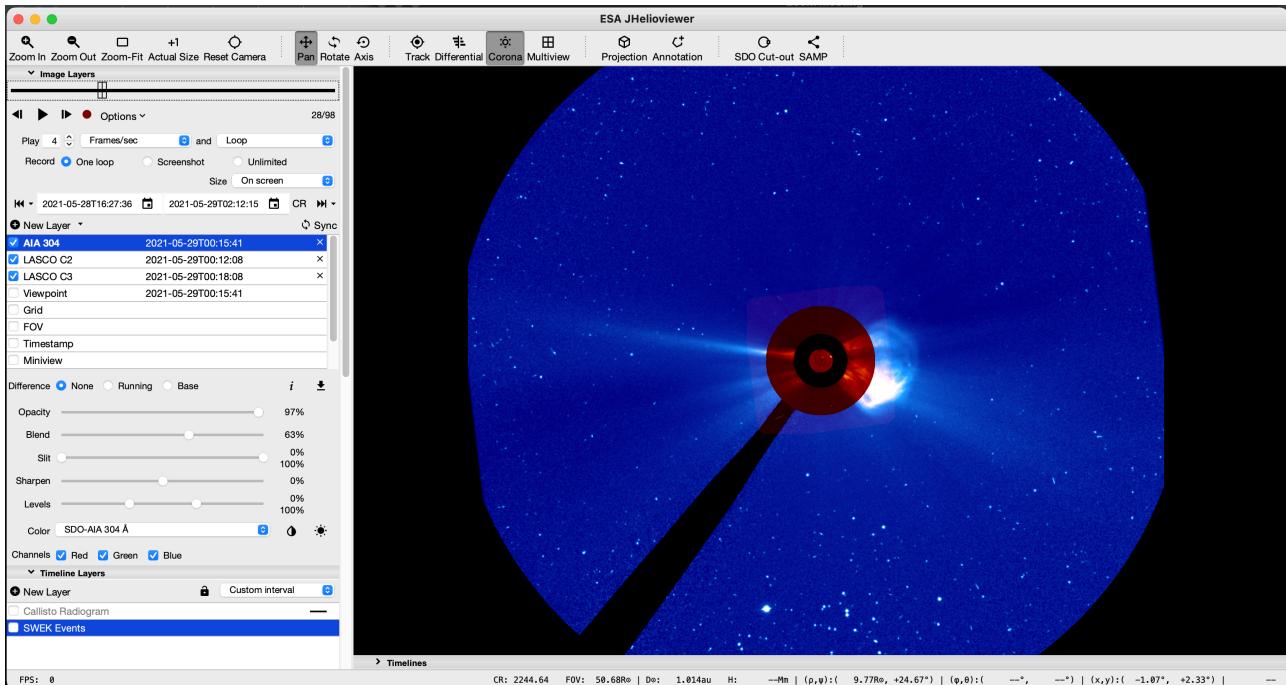


Рис. 2. Изучение изображений Солнца за 28 мая 2021 в программе JHelioviewer

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

- 1.3** Дополните таблицу из пункта 1.1 следующими сведениями для каждого из изображений:
- Date and time. Дата и время (определенны в пункте 1.1)
  - Distance of CME front from the Sun. Гелиоцентрическое расстояние фронта СМЕ в км (определенено в пункте 1.2)
  - Cumulative velocity. Кумулятивная скорость в км/с (средняя скорость фронта СМЕ от сформировавшего СМЕ события до момента съемки данного изображения),
  - Velocity per time interval. Интервальная скорость в км/с (средняя скорость фронта СМЕ между моментами съемки предыдущего и данного изображения).

Сделайте эту таблицу в рабочем листе.

## Observational Round: Solar Physics



BLR-3 B-1 Q-4

**Q1-4**  
BLR (Belarus)

**Указание:** все скорости вычисляются относительно Солнца.

**Не забудьте озаглавить каждый столбец таблицы!**

# Observational Round: Solar Physics



BLR-3 B-1 Q-5

**Q1-5**

BLR (Belarus)

## Часть 2 (15 баллов)

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

## Часть 3 (10 баллов)

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

## Часть 4 (10 баллов)

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

- 4.1 Если уменьшать временной интервал между выбранными изображениями, точность определения параметров эволюции СМЕ будет постоянно улучшаться. 2.0pt
- 4.2 При анализе эволюции СМЕ необходимо учитывать дифференциальное вращение Солнца, это влияет на вычисленную скорость движения СМЕ. 2.0pt
- 4.3 Сдвиг изображений при отображении мозаики в программе напрямую влияет на точность расчётов 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 СМЕ с пылью, оставленной кометой Борисова 2019 года, размывает фронт выброса. Это снижает контраст изображений, существенно увеличивая погрешности в определении фронта СМЕ и анализе его распространения. 2.0pt

## Часть 5 (10 баллов)

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

## Программное обеспечение:

Программу JHelioviewer можно использовать для изучения изображений Солнца, полученных на

## Observational Round: Solar Physics



BLR-3 B-1 Q-6

**Q1-6**  
BLR (Belarus)

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 изображений, чтобы изучить эволюцию выброса. Перемещая курсор, вы получаете информацию о координатах ( $x, y$ ) указанной точки относительно центра Солнца.

## Observational Round: Solar Physics



BLR-3 B-1 A-1

**A1-1**  
BLR (Belarus)

### Солнечная пощёчина

**Part 1 (30 points).**

**1.1** (10.0 pt)

**1.2** (10.0 pt)

## Observational Round: Solar Physics



BLR-3 B-1 A-2

**A1-2**  
BLR (Belarus)

**1.3** (10.0 pt)

# **Observational Round: Solar Physics**



BLR-3 B-1 A-3

# A1-3

## **Part 2 (15 points)**

## **2.1** (15.0 pt)

# **Observational Round: Solar Physics**



BLR-3 B-1 A-4

# A1-4

## 2.1 (cont.)

# **Observational Round: Solar Physics**



BLR-3 B-1 A-5

# A1-5

BLR (Belarus)

## 2.1 (cont.)

# Observational Round: Solar Physics



BLR-3 B-1 A-6

**A1-6**  
BLR (Belarus)

## Part 3 (10 points)

**3.1** (10.0 pt)

$t =$

## Part 4 (10 points)

**4.1** (2.0 pt)

**4.2** (2.0 pt)

**4.3** (2.0 pt)

**4.4** (2.0 pt)

**4.5** (2.0 pt)

## Part 5 (10 points)

**5.1** (10.0 pt)

$E_p =$

$E_\alpha =$

## **Observational Round: Solar Physics**



BLR-3 B-1 W-1

**W1-1**

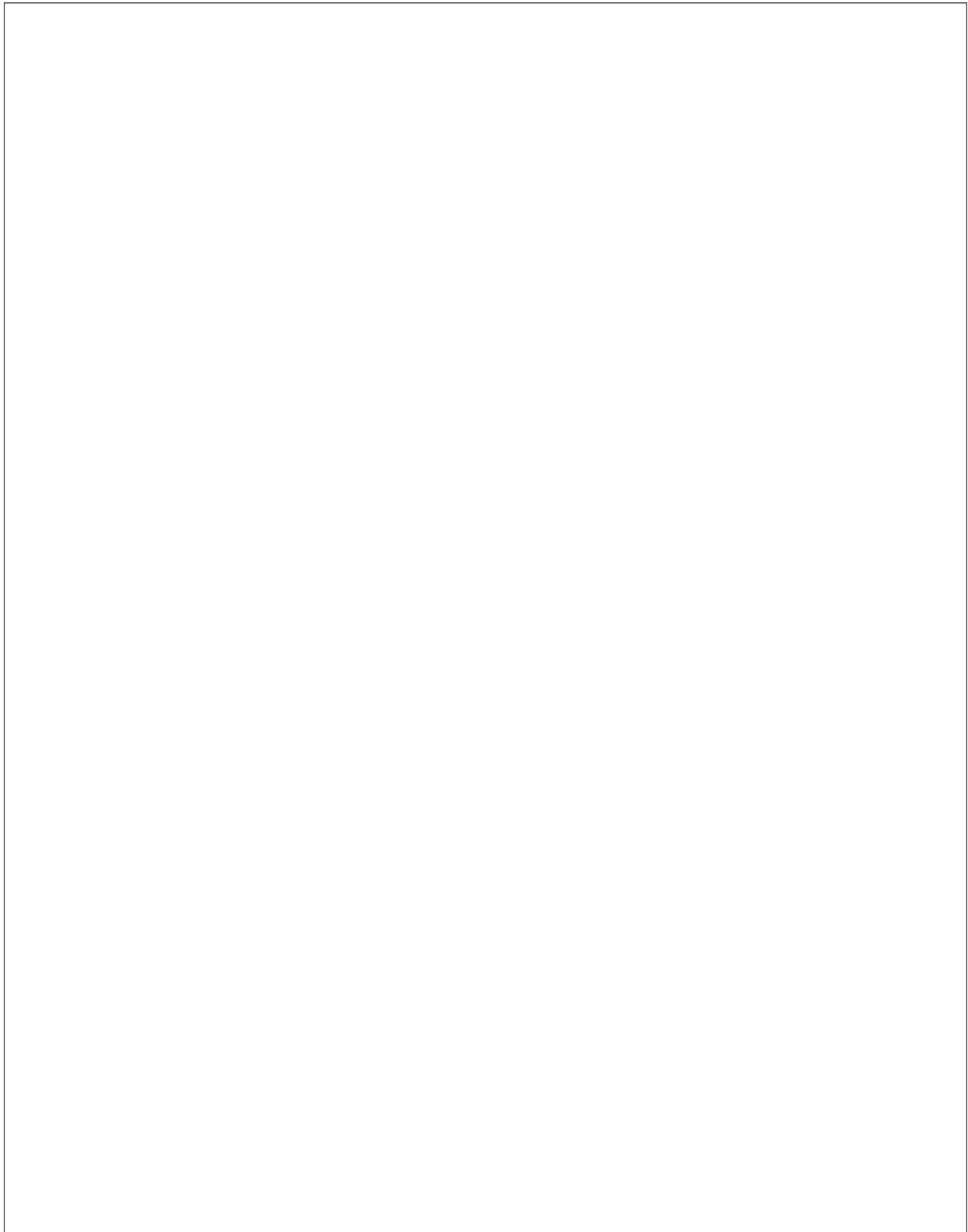
do not write on the back of this page

## **Observational Round: Solar Physics**



BLR-3 B-1 W-2

**W1-2**



do not write on the back of this page

## **Observational Round: Solar Physics**



BLR-3 B-1 W-3

**W1-3**

---

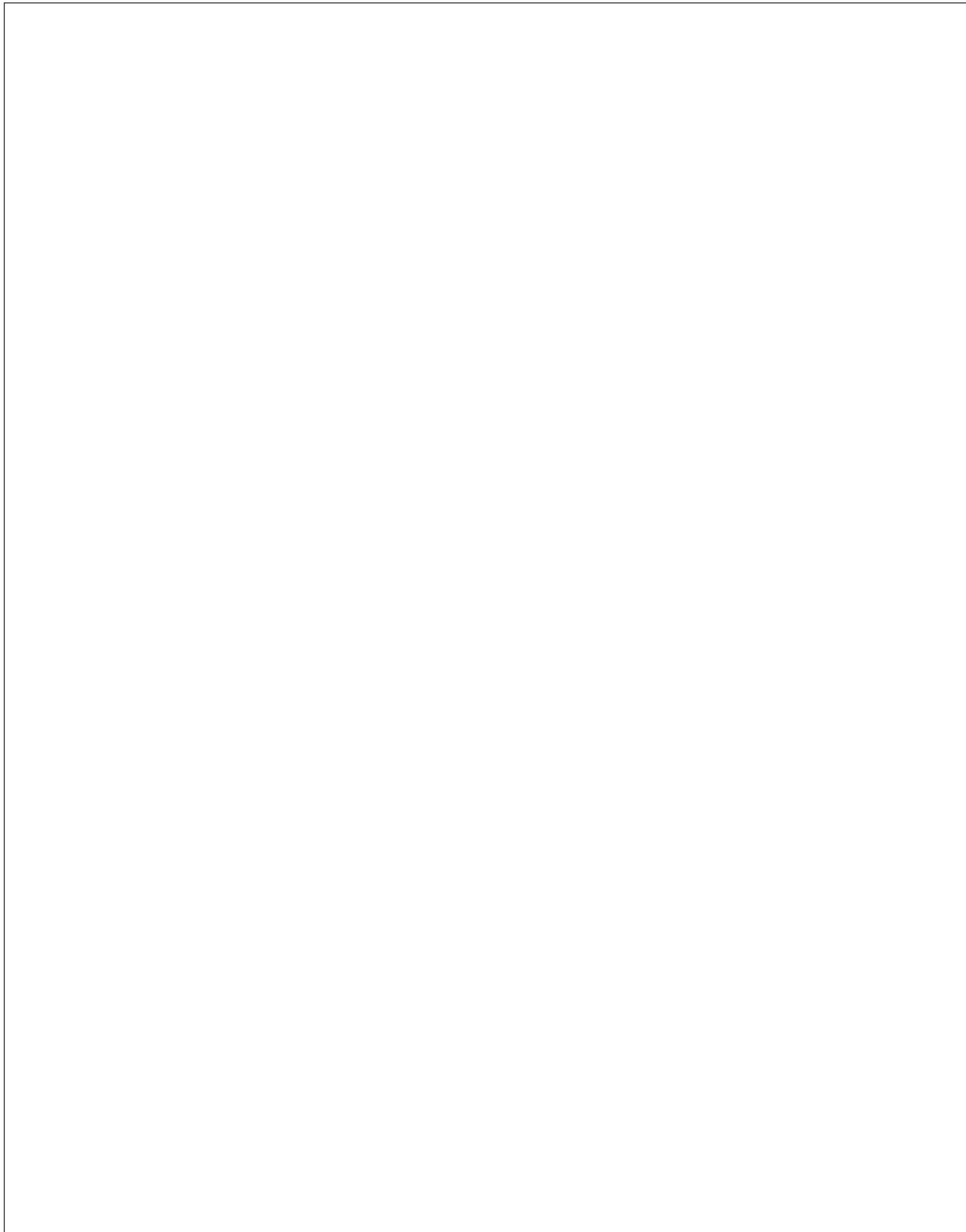
do not write on the back of this page

## **Observational Round: Solar Physics**



BLR-3 B-1 W-4

**W1-4**



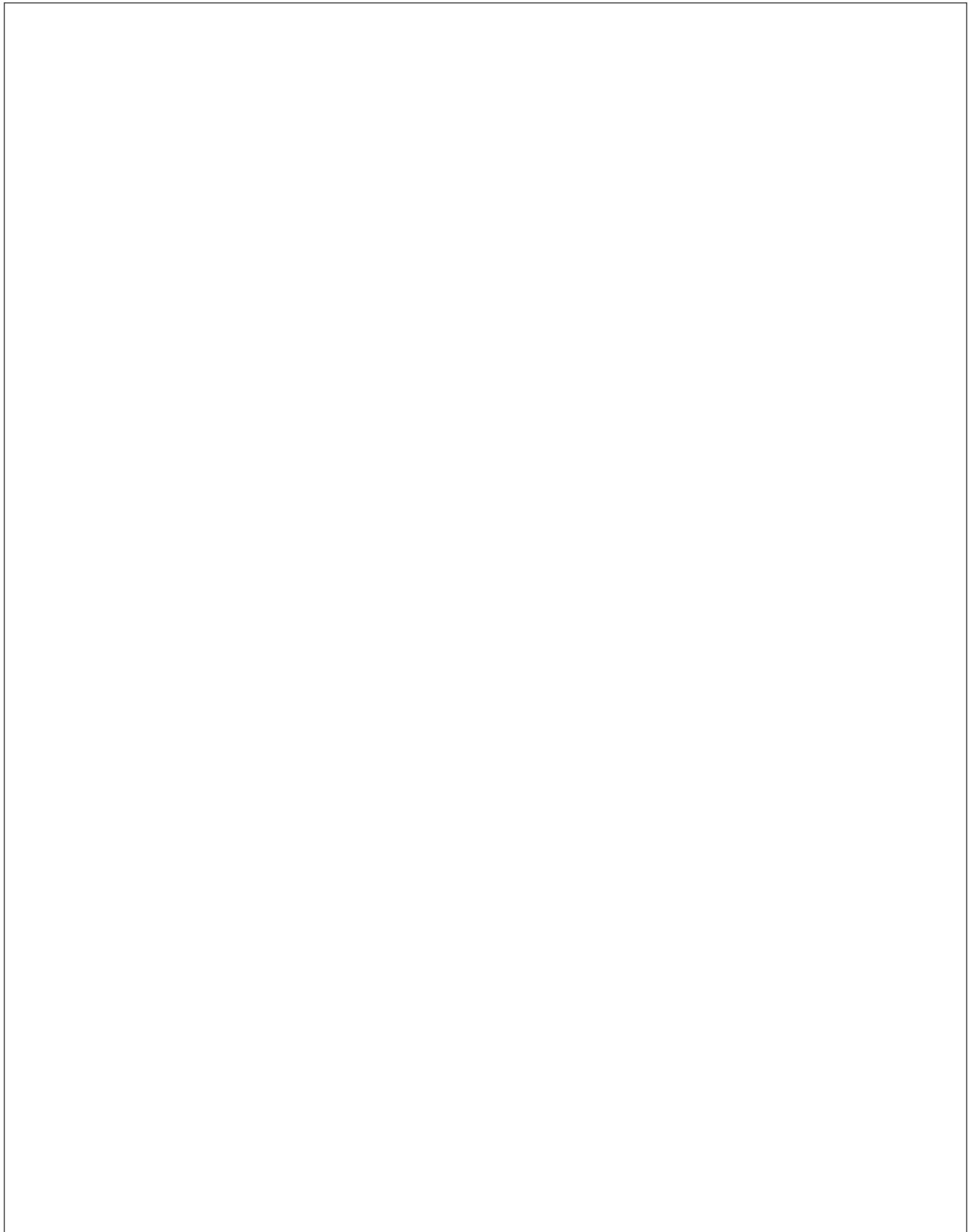
do not write on the back of this page

## **Observational Round: Solar Physics**



BLR-3 B-1 W-5

**W1-5**



do not write on the back of this page