

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ ГОЛОВНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ, МАГНИТОПАУЗЫ И ТОКОВОГО СЛОЯ ХВОСТА МАГНИТОСФЕРЫ МЕРКУРИЯ ПО ДАННЫМ МАГНИТОМЕТРА КА MESSENGER

А.С. Лаврухин, Д.В. Невский, И.И. Алексеев

Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
mansellfl@mail.ru

AUTOMATIC DETECTION OF CROSSINGS OF BOW SHOCK, MAGNETOPAUSE AND TAIL CURRENT SHEET OF MERCURY'S MAGNETOSPHERE FROM MESSENGER MAGNETOMETER DATA

A.S. Lavrukhin, D.V. Nevskiy, I.I. Alexeev

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
mansellfl@mail.ru

Аннотация. Целью данной работы является автоматическая обработка массива данных магнитометра, установленного на КА MESSENGER, совершившего более четырех тысяч оборотов вокруг Меркурия в 2011–2015 гг. Данные были использованы для поиска положения головной ударной волны, магнитопаузы и токового слоя хвоста магнитосферы Меркурия.

Ключевые слова: Меркурий, магнитопауза, головная ударная волна, магнитосфера.

Abstract. The aim of this work is the automatic processing of the data array from the magnetometer onboard the MESSENGER spacecraft, which completed more than four thousand orbits around Mercury in 2011–2015. The data were used to find the position of the bow shock, magnetopause and magnetotail current sheet of the Mercury magnetosphere.

Keywords: Mercury, magnetopause, bow shock, magnetosphere.

ВВЕДЕНИЕ

В работах [Winslow et al., 2013; Philpott et al., 2020] использовался метод, согласно которому участки траектории, на которых фиксировались пересечения КА головной ударной волны и магнитопаузы определяются вручную путем визуального анализа данных магнитометра. Вход в зону головной ударной волны идентифицируется с помощью первого резкого возрастания модуля магнитного поля или по резкому возрастанию вариации компонент магнитного поля. Пересечения магнитопаузы могут быть найдены по повороту вектора магнитного поля или по возрастанию вариаций.

Однако для полностью автоматического обнаружения пересечений этот метод не годится ввиду сильных флуктуаций величин, поэтому он может использоваться лишь в качестве вспомогательного метода для визуального анализа. Ручная разметка большого числа пересечений требует заметных временных затрат, не позволяя исключить субъективный фактор и масштабировать методику на вновь поступающие данные, что особенно важно с учетом ожидаемого выхода в 2025 г. на орбиту Меркурия двух КА миссии BepiColombo.

ИСПОЛЬЗУЕМЫЙ МЕТОД

Исходный массив с данными магнитометра, хранящийся в Планетарной базе данных NASA/JPL, был преобразован для предварительной фильтрации шума и исключения ошибок в данных.

- Помимо удаления сигналов калибровки, рассчитана разность между измеренным и модельным дипольным полями, добавлен столбец с гелиоцентрическим радиусом Меркурия, который модулирует уровень возмущенности магнитного поля в окрестности Меркурия.

- Набор данных разделен на файлы по номерам витков, каждый файл центрирован на перигермий.

Вход в головную ударную волну детектируется на секундных данных резким изменением модуля магнитного поля, после чего идет уточнение границ с помощью выявления ярко выраженных флуктуаций модуля второй производной поля. Пересечения магнитопаузы сначала определяются по минутным данным, в которых число случайных флуктуаций значительно меньше. Они детектируются резким изменением знака одной или нескольких компонент поля, из которого мы вычитаем компоненты поля диполя для более точных результатов, а также возрастанием флуктуаций магнитного поля после покомпонентно вычтенного поля диполя, прекрасно наблюдаемых по второй производной компонент. Мы вычитаем магнитное поле диполя, так как, прежде чем перейти к анализу разрыва, следует исключить стационарные источники поля, а вклад диполя по величине на порядок больше, чем среднее поле в межпланетном пространстве, особенно в области перигермия. Далее идет уточнение результатов на секундных данных с целью сравнительного анализа. Важно отметить схожесть флуктуаций в области предполагаемой магнитопаузы и токового слоя хвоста, который мы выделяем отдельно для более правдоподобных результатов.

В отсутствие полных измерений плазмы разделять в пространстве на ночной стороне Меркурия область лоба и область плазменного слоя можно, основываясь на величине магнитного поля, его направлении и уровне флуктуаций. Для нахождения пересечения токового слоя мы сначала ищем положение магнитного экватора на ночной стороне магнитосферы, в плоскости которого находится токовый слой. Для этого мы определяем точки изменения направления

магнитного поля при пересечении токового слоя, направленного от Солнца в южном лоббе хвоста, к направленному к Солнцу в северном лоббе. Задавая границы области поиска точки пересечения в пространстве, мы находим положение точки изменения направления магнитного поля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный способ автоматической обработки массивов данных магнитометра на борту КА MESSENGER обеспечивает хорошие результаты, в целом совпадающие с результатами ручной обработки данных, выполненной в работе [Philpott et al., 2020]. На некоторых орбитах КА MESSENGER было получено уточнение результатов ручной обработки. Мы показали, что определение головной ударной волны возможно только по данным магнитометра без данных плазменных измерений. Преимуществом данного метода является возможность обработки в автоматическом режиме больших объемов данных в короткие сроки. Данная задача актуальна в предверии приближающегося выхода на орбиту вокруг Меркурия КА BepiColombo, запланированного на 2025 г. Данная миссия состоит из двух аппаратов — таким образом, число поступающих данных о состоянии магнитосферы Меркурия возрастет в несколько раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Winslow R.M., Anderson B.J., Johnson C.L., et al. Mercury's magnetopause and bow shock from MESSENGER Magnetometer observations. *J. Geophys. Res.: Space Phys.* 2013. Vol. 118. P. 2213–2227. DOI: [10.1002/jgra.50237](https://doi.org/10.1002/jgra.50237).
- Philpott L.C., Johnson C.L., Anderson B.J., Winslow R.M. The shape of Mercury's magnetopause: The picture from MESSENGER magnetometer observations and future prospects for BepiColombo. *J. Geophys. Res.: Space Phys.* 2020. Vol. 125. DOI: [10.1029/2019JA027544](https://doi.org/10.1029/2019JA027544).