

САМАРСКАЯ ОБЛАСТНАЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ШКОЛА

**КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТА
ПОЙНТИНГА-РОБЕРТСОНА. ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ
НЕКОТОРЫХ МЕТЕОРОИДНЫХ РОЕВ**

(научно-исследовательская работа)

Выполнили:

Коровина Мария,
10 класс СОФМШ

Научный руководитель:

Филиппов Юрий Петрович,
к.ф.-м.н., старший препода-
ватель кафедры общей и
теоретической физики
Самарского государствен-
ного университета

Самара, 2011 г.

Оглавление

Введение	3
1 Эффект Пойнтинга-Робертсона и природа метеороидов	7
1.1 Свойства солнечного излучения	7
1.2 Эффект Пойнтинга-Робертсона	11
1.3 Природа метеороидов	14
2 Расчет и анализ искомых величин	19
2.1 Определение модели физической системы	19
2.2 Расчет силы давления электромагнитного излучения Солнца для неподвижной сферической частицы	20
2.3 Расчет параметра A_0 . Определение потенциала давления элек- тромагнитного излучения Солнца	24
2.4 Расчет скорости падения частицы на Солнце	26
2.5 Определение законов эволюции параметров орбиты частицы. Оценка ее времени жизни	28
2.6 Численные результаты и анализ	30
Заключение	35
Литература	37
Приложение А. Вычисление интегралов \mathcal{I}_1 , \mathcal{I}_2	39

Введение

Актуальность работы. В Солнечной системе кроме больших планет (см. рис. 1) движется множество малых тел. Это астероиды (см. рис. 2), кометы (см. рис. 3) и метеорные частицы или *метеороиды* (см. рис. 4). Последние, как правило, являются останками ядер комет (98%) и астероидов (1 – 2%) [1]. Считается, что астероиды являются каменистыми телами, а кометы представляют собой конгломерат замерзших газов и пылевых частиц. При приближении комет к Солнцу газы начинают испаряться и, покидая ядро, увлекают за собой пылевые частицы.

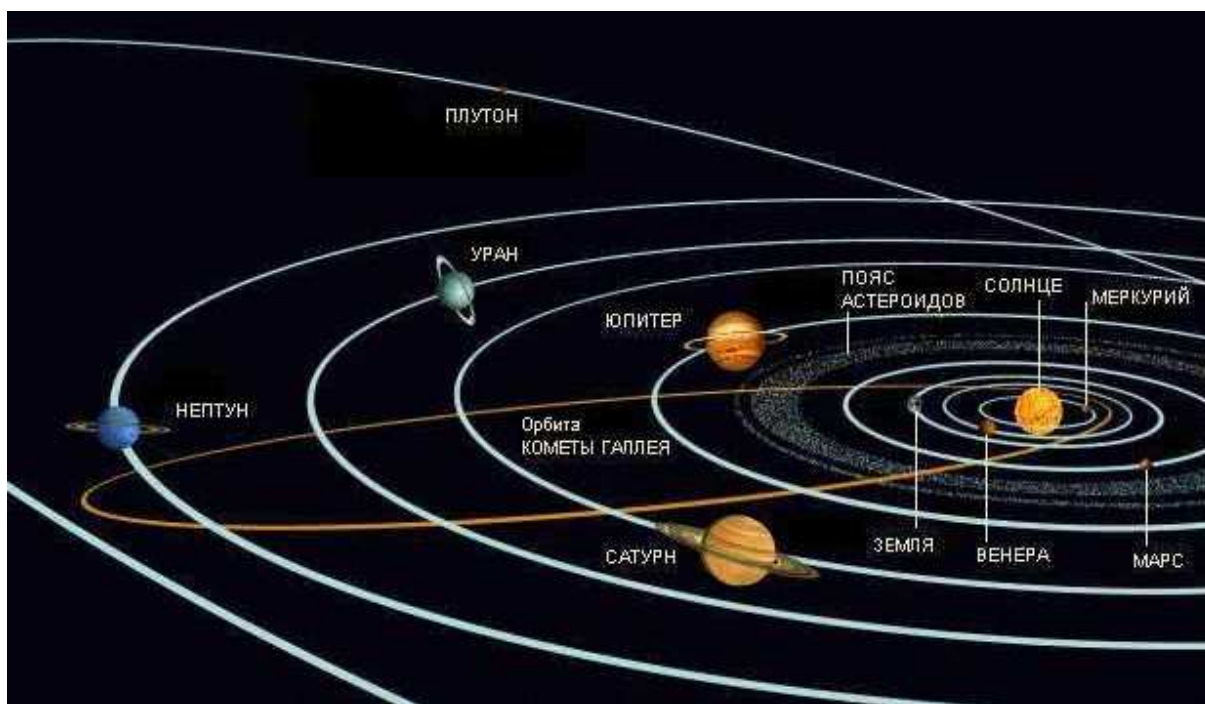


Рис. 1. Классические планеты Солнечной системы и Солнце.

Этот процесс приводит к образованию характерных хвостов комет. Скорости, с которыми твердые частицы покидают ядро родительской кометы, относительно малы. Поэтому они движутся по гелиоцентрическим орбитам, мало отличающимся от орбиты ядра [2].

В некоторых случаях орбиты комет проходят очень близко от орбиты Земли, а иногда и пересекают ее. Если в этом районе оказывается и Земля, то метеороиды вторгаются в ее атмосферу со скоростями от 11.2 до 73.4 км/с [3]. В результате наблюдается явление *метеорного дождя* (тысячи метеоров



Рис. 2 Астероид Ида со своим спутником Дактиль.



Рис. 3. Комета Хэйла-Боппа в марте 1997 г.

в час) или *метеорного потока* (десятки-сотни метеоров в час), возникающего из-за ионизации атмосферного столба вдоль траектории полета метеороидов [2].



Рис. 4. Метеороид, достигший поверхности Земли (метеорит).

Эти потоки называют *главными*. Менее интенсивные потоки называют *малыми*, и их число составляет по разным данным несколько тысяч.

Исследования метеорного вещества и метеорных явлений имеют большое прикладное значение.

Во-первых, метеороиды являются естественными зондами для изучения направления ветров и других параметров атмосферы на высотах 60-120 км [5]. Именно эта область атмосферы Земли трудно достижима для искусственных летательных аппаратов: для самолетов и аэростатов это слишком большая высота, здесь атмосфера сильно разрежена; для искусственных спутников Земли это слишком малая высота, здесь велика сила сопротивления атмосферы, что приведет к быстрому падению спутника на Землю.

Во-вторых, ионизируя атмосферу, метеороиды создают ночью плотный и тонкий ионосферный слой, так называемый спорадический слой Es в ионосфере Земли [2]. Ионосферные неоднородности, создаваемые метеорами, ис-

пользуются в радиосвязи для передачи сигналов на сверхдальние расстояния.

В-третьих, метеорные частицы представляют реальную опасность для космических аппаратов. Двигаясь с большими относительными скоростями, эти тела способны легко разрушить важные технические узлы аппаратов и, более того, пробить обшивку пилотируемого космического аппарата, что, в свою очередь, приведет к разгерметизации аппарата и гибели экипажа корабля.

В-четвертых, метеороидные рои имеют важное научное значение, поскольку они являются своеобразными каналами, по которым кометное вещество попадает на Землю и становится доступным для изучения. Сегодня принято считать, что кометы состоят из остатков протопланетного вещества, практически не изменившегося в их ядрах за миллиарды лет. Исследуя химический состав метеороидов, можно решать важные задачи, связанные с происхождением Солнечной системы [6].

Изучение метеороидов – это прежде всего изучение их характера движения и эволюции их орбит. При этом для частиц с радиусом $R \geq 0.5 \cdot 10^{-6}$ м играет важную роль эффект Пойнтинга-Робертсона – потеря орбитального углового момента телом (обычно малой частицей) при движении по орбите вокруг другого тела, являющегося источником электромагнитного излучения [7].

Впервые идея о существовании данного феномена была высказана Дж. Пойнтингом в работе [8]. Однако, предложенное описание являлось нерелятивистским и содержало ряд ошибок. Строгую релятивистскую теорию данного эффекта с исправлением ошибок предшественника представил Х. Робертсон в 1937 году [9].

Впоследствии данный эффект неоднократно рассматривался в литературе. Были построены точные комплексные модели эволюции орбит метеороидных роев, см. например, [10, 11, 12]. Однако, сложность математического аппарата и громоздкость итоговых результатов не позволяет использовать последние для быстрой эффективной оценки времени жизни метеороидных роев.

В связи со сказанным, главной целью настоящей работы является построение простейшей нерелятивистской модели эффекта Пойнтинга-Робертсона и построение компактных аналитических результатов для силы Пойнтинга-Робертсона и времени жизни метеороидов.

Согласно сформулированной цели, основными задачами настоящей работы являются следующие положения:

1. Расчет силы давления электромагнитного излучения Солнца, действующей на неподвижную сферическую частицу, с использованием метода геометрической оптики. Вычисление силы Пойнтинга-Робертсона.
2. Расчет скорости падения сферической пылевой частицы массы m и ра-

диуса R на Солнце.

3. Оценка времени жизни частицы. Определение законов эволюции параметров орбиты частицы.
4. Численный анализ полученных результатов на примере метеороидов, принадлежащих главным метеорным потокам.

Основными методами решения поставленных задач являются:

1. Метод геометрической оптики.
2. Методы интегро-дифференциального исчисления.

Данная работа имеет следующую структуру.

Первая глава посвящена теоретическим основам эффекта Робертсона-Пойнтинга и современным представлениям о метеороидах и солнечном излучении.

Во **второй главе** подробно представлены решения поставленных теоретических задач и их анализ.

Резюме по проделанной работе представлено в **заключении**. Финальная часть работы содержит список использованных источников.

Глава 1

Эффект Пойнтинга-Робертсона и природа метеороидов

В настоящей главе будут подробно изложены теоретические основы эффекта Робертсона-Пойнтинга и современные представления о метеороидах и солнечном излучении.

1.1 Свойства солнечного излучения

Спектр излучения Солнца. *Солнце* — типичная звезда, свойства которой изучены подробнее и лучше, чем у других звезд, по причине исключительной близости к Земле. В настоящем параграфе будут изложены современные представления о характеристиках электромагнитного излучения Солнца и его спектра.

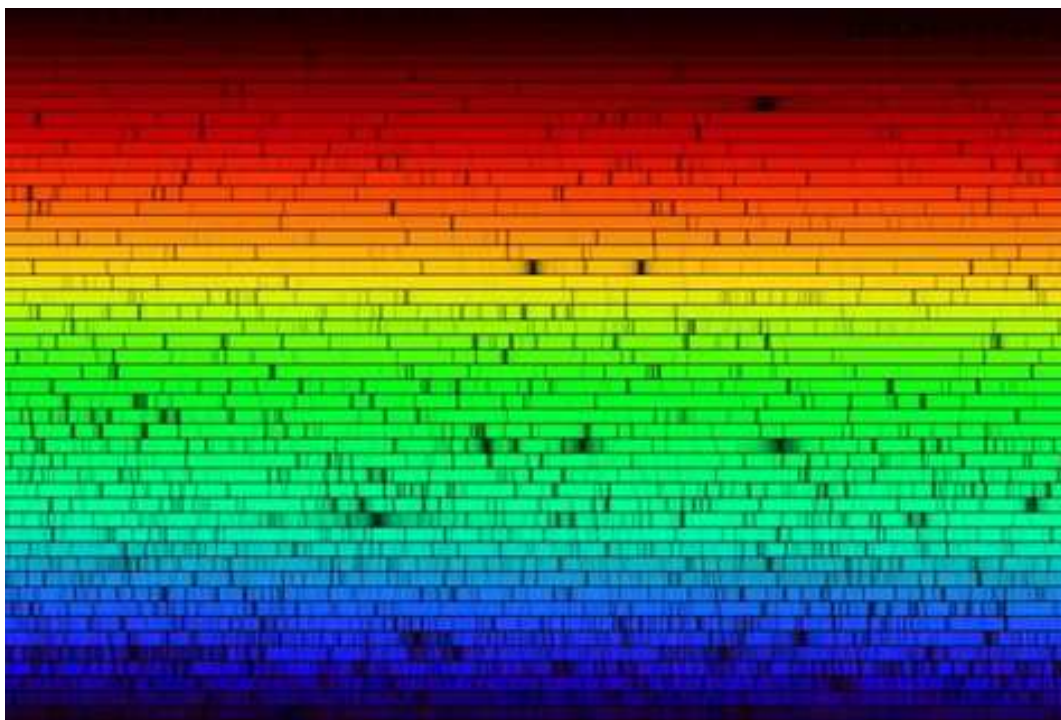


Рис. 5. Спектр излучения Солнца в видимом диапазоне волн.