

Методические аспекты учебных практических работ по физике, разрабатываемых на базе открытых научных данных

И. В. Кузнецова^{1*} М. Е. Прохоров^{2†}

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
Специальный учебно-научный центр — школа-интернат имени А. Н. Колмогорова, кафедра физики
Россия, 121352, Москва, ул. Кременчугская, д. 11

²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
физический факультет, кафедра астрофизики и звездной астрономии
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

(Статья поступила 16.06.2019; Подписана в печать 27.06.2019)

Современный подход к обучению специалистов в инженерно-технических и научно-практических сферах деятельности требует развития у учащихся навыков исследовательской работы. Такие навыки студенты (и школьники-старшеклассники) получают в процессе не только изучения естественных и технических дисциплин, но при выполнении работ практикумов в специально созданных лабораториях институтов, университетов и школ.

При изучении естественных дисциплин, особенно физики, крайне важна экспериментальная работа практического характера, где студенты, в соответствии с предложенными им методическими описаниями, учатся пользоваться измерительными приборами, получать экспериментальные данные, обрабатывать полученные результаты, самостоятельно делать выводы из полученных опытным путем данных, пользоваться учебной и справочной литературой.

Методические аспекты практических работ по физике, разрабатываемых на базе открытых научных данных, несколько отличаются от традиционных как по форме методических приемов, используемых при организации учебной деятельности, так и по масштабу применения различных технических средств для «экспериментов».

Разрабатываемые лабораторные работы должны за отведенное на их проведение ограниченное время позволить учащемуся: 1 — ознакомиться с областью науки или наук, к которым относится лабораторная работа; 2 — освоить необходимую часть математического аппарата; 3 — получить и самостоятельно обработать исходные данные для лабораторной работы, полученные из открытых источников; 4 — довести обработку до конечных выводов и сравнить их с результатами подобных профессиональных научных исследований.

В статье рассматривается серия практических работ, основанных на подсчете кратеров на Луне и Меркурии.

PACS: 01.50.Qb, 96.20.Ka, 96.25.Pq, 96.30.Ys.

УДК: 378.14, 53.05, 523.3.

Ключевые слова: обучение студентов, практические лабораторные работы по физике, открытые данные, мультидисциплинарность, ударные кратеры, астероидно-кометная опасность.

ВВЕДЕНИЕ

Основная задача практикумов естественно-научного профиля для школьников старших классов и студентов младших курсов — обучение учащихся навыкам экспериментальной работы и адаптация к выбранным дисциплинам на последующих этапах обучения. В задачи работ физических практикумов входит усиление экспериментальной составляющей практического курса физики с целью развития у учеников навыков активного наблюдения за природными явлениями, овладения ими культурой и приемами работы с измерительными приборами, развитие навыков анализа полученной информации. В желаемом результате необходимо сформировать у обучаемых целостные представления о методах физических исследований, как теоретических, так и экспериментальных, об их сочетании и вза-

имодействии. Важным представляется и формирование у учащихся понятий о «модельном» подходе в изучении конкретных физических явлений, достоинств и недостатков выбранного метода исследований.

К сожалению, существует ряд факторов, которые снижают интерес учащихся к проведению лабораторных работ. Один из них — использование при проведении практикумов и демонстрационных экспериментов приборов и элементной базы давности 50-80-х гг. XX века [1]. К плюсам такого подхода можно отнести сохранение проверенных временем, методически выверенных лабораторных работ и демонстраций [2]. Однако минусов гораздо больше. В первую очередь это то, что учащиеся, скорее всего, никогда в жизни больше не столкнутся с подобными приборами.

Другой фактор состоит в том, что студент, выполняя лабораторную работу, не видит ее конечного назначения, не понимает, для каких целей может быть использован полученный им результат. Если для специализированных практикумов студентов-старшекурсников такой подход еще приемлем, то для младшекурсников, а особенно для учащихся школ с естественно-научной

*E-mail: irinakuznetsova-64@mail.ru

†E-mail: mike.prokhorov@mail.ru

специализацией это не достаточно оправдано.

Первый из указанных факторов преодолевается путем модернизации лабораторного и демонстрационного оборудования. Подобная работа с разной успешностью ведется во многих вузах (например, [3]).

Для преодоления второго из указанных факторов авторы настоящей работы предлагают разработать цикл лабораторных работ, основанных на обработке современных открытых научных данных, знакомящих учащегося с полным циклом практического научного исследования. Полученный результат должен быть достаточно актуален в настоящее время и допускать сравнение с результатами профессиональных научных исследований.

Рассматриваются и обсуждается практические работы из первой серии предлагаемого цикла.

1. ТРЕБОВАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ НОВОГО ЦИКЛА

Лабораторные работы должны за отведенное на их проведение ограниченное время позволить учащемуся провести следующие действия:

1. ознакомиться с областью науки или наук, к которым относится лабораторная работа;
2. освоить необходимую часть математического аппарата;
3. получить и самостоятельно обработать исходные данные для лабораторной работы, полученные из открытых источников;
4. довести обработку до конечных выводов и сравнить их с результатами подобных профессиональных научных исследований;
5. учащийся должен быть снабжен всеми необходимыми справочными сведениями для проведения обработки данных в рамках лабораторной работы.

Следует заметить, что актуальные современные фундаментальные исследования очень дороги. Они проводятся на чрезвычайно сложных и дорогих научных установках, наиболее сложные из которых создается, поддерживается и используется в рамках международной кооперации — никакая отдельная страна не может позволить себе подобные затраты. Это направление современных экспериментальных исследований получило название «Mega Science».

Воспроизвести подобную установку для лабораторного практикума даже в многократно урезанном и упрощенном виде не может себе позволить практически ни один университет. Однако вместо подобной сверхсложной и дорогой экспериментальной установки можно предоставить учащемуся реальные «сырые»

или частично обработанные экспериментальные данные, полученные на ней и позволить провести их полноценную обработку. Доступу к таким данным способствует настойчиво проводимая в последние десятилетия политика открытого доступа к данным международных фундаментальных научных исследований [4].

2. СТРУКТУРА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Материалы предлагаемых лабораторных работ должны в обязательном порядке содержать следующие части.

1. Обзорная часть — описывает наиболее важные полученные результаты и современное состояние проблемной области.
2. Теоретическая часть — описывает основные физические и математические соотношения, важные для выполнения расчетов в рамках лабораторной работы. Крайне желательно, чтобы ряд этих соотношений был выведен учащимися, в рамках упрощенных моделей.
3. Практическая часть — собственно лабораторная работа, включающая:
 - (a) исходные данные, взятые из открытых источников;
 - (b) рекомендации по их обработке;
 - (c) справочные данные, необходимые для всех этапов обработки исходных данных.
4. Методическая часть — предназначенная для преподавателей, проводящих лабораторную работу.

3. ПЕРВАЯ СЕРИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ НОВОГО ЦИКЛА

Темой первой серии лабораторных работ нового цикла является оценка частоты падения астероидов (и комет) на поверхность Земли (по подсчетам кратеров на Луне) и на Меркурий. Описание первой работы этого цикла, о подсчете кратеров на Луне, опубликовано в [5].

Проблема астероидно–кометной опасности и связанная с ней проблема оценки частоты падения астероидов (и комет) на поверхности планет земной группы — актуальная в настоящий момент область исследований на стыке астрономии, физики Солнечной системы, геофизики, геологии, космических исследований и обеспечения безопасности жизнедеятельности человека. Если какой-либо астероид захватывается гравитационным полем Земли, то при столкновении с поверхностью вся его кинетическая энергия почти мгновенно переходит в тепло, что приводит к мощному взрыву.

Скорость столкновения астероидов с Землей варьируется слабо — от 11 км/с до нескольких десятков км/с, а вот их массы могут различаться на много порядков. Опасными считаются падения астероидов размерами более 100–140 м — вызванные ими взрывы могут разрушить крупный поселок или маленький город. С ростом размера астероида его опасность резко усиливается: так падение астероида диаметром 1 км вызовет региональную катастрофу и приведет к глобальным климатическим последствиям. Падение 10 км астероида вызовет глобальную катастрофу и «ядерную зиму» длительностью в десятилетие. Падение подобного астероида 65 млн лет назад возможно привело к вымиранию динозавров. Кратер Чиксулуб, от этого падения, диаметром около 180 км расположен в Мексиканском заливе вблизи полуострова Юкатан. Опасными могут быть и более мелкие астероиды, примерами могут служить Тунгусский метеорит, размеры которого оцениваются в 30 м, и Челябинский (Чебаркульский) метеорит (18 м, соответственно).

Об опасности, связанной с падением астероидов и комет на Землю, было известно давно, но актуальность данное направление исследований приобрело в последние десятилетия, в связи с интенсификацией изучения малых тел Солнечной системы как с Земли (с новых больших телескопов), так и с космических аппаратов, а также в связи с появлением возможных средств противодействия астероидно-кометной опасности.

На Земле сегодня известно всего несколько сотен ударных кратеров, это намного меньше, чем число кратеров, наблюдаемое на Луне или Меркурии — небесных телах, которые лишены атмосферы. Возраст самых старых кратеров на Земле (одновременно они являются и самыми крупными) составляет сотни миллионов лет, что много меньше возраста Земли. Эта ситуация связана с процессами эрозии и вулканизма, которые стирают следы падений небесных тел с поверхности Земли.

За XX и XXI век было зафиксировано падение на Землю 6 космических объектов диаметром от 10 до 30 м (а также большое число падений более мелких метеороидов). Эти объекты в несколько раз меньше нижней границы размеров «опасных» космических тел.

Земля и ее спутник Луна расположены настолько близко друг к другу, что имеют шанс столкнуться с одними и теми же астероидами, т.е. подвергаются воздействию одного и того же потока космических тел. При этом на Луне отсутствует атмосфера и практически прекратилась геологическая активность, из-за чего кратеры, возникшие на поверхности Луны, сохраняются практически вечно.

Подсчет кратеров на поверхности Луны позволяет оценить частоту падения астероидов на Землю. При этом эта оценка будет более точной, чем по кратерам на самой Земле (из-за действия эрозии) или по прямым наблюдениям крупных объектов (из-за малого числа зарегистрированных событий). При этом обязательно

необходимо учитывать влияние «гравитационной фокусировки» потока астероидов полем тяготения самого бомбардируемого тела.

Темп метеоритной бомбардировки поверхностей планет не был постоянен со временем. Согласно современным представлениям, Солнечная система начала формироваться около 4.6 млрд лет назад с гравитационного сжатия небольшой части гигантского межзвездного молекулярного облака. Большая часть вещества оказалась в гравитационном центре коллапса с последующим образованием звезды — Солнца. Остальное вещество сформировало вращающийся вокруг звезды протопланетный диск. Диск фрагментировался на многочисленные малые части, которые собирали на себя окружающее вещество, сталкивались и сливались. Наиболее крупные фрагменты превратились в планеты, их тяготение притягивало не присоединившиеся фрагменты — шла непрерывная метеоритная бомбардировка молодых планет. Некоторое относительно небольшое время после формирования планет метеоритная бомбардировка была очень интенсивной — этот период называют поздней тяжелой бомбардировкой. Он охватывает интервал времени от 4.1 до 3.8 млрд лет тому назад. В этот период сформировались многие кратеры на Луне, а также на Земле, Меркурии, Венере и Марсе. Кратеры той эпохи на Земле и Венере не сохранились полностью, на Марсе — частично. Активная бомбардировка закончилась 3,8 млрд лет назад. Последние 3.5 млрд лет темп кратерообразования менялся слабо и находился на невысоком уровне по сравнению с первичной бомбардировкой.

Изменение темпа кратерообразования со временем хорошо заметно по Луне. Ее поверхность разделяется на материки и моря. Материковая поверхность сильно кратерирована. Она представляет собой древнюю кору Луны, которая образовалась 4.4–4.0 млрд лет назад, и еще застала первичную метеоритную бомбардировку.

Лунные моря представляют собой равнины, заполненные застывшей базальтовой лавой, образованные в период геологической активности спутника Земли. Моря расположены в так называемых депрессиях (прогибах) материковой коры, происхождение которых не совсем понятно, образование же некоторых из морей связывают с падением на Луну крупных астероидов, разрушавших ее кору. Возраст морей составляет от 3.0 до 3.8 млрд лет. Разливы лавы скрыли все ранее образовавшиеся кратеры. Сегодня поверхность лунных морей также покрыта метеоритными кратерами, но они возникли после окончания первичной бомбардировки, их число меньше, чем на материках, что хорошо видно, например, на фотографии, приведенной на рис. 1.

Помимо зависимости частоты столкновений с малыми телами Солнечной системы от времени можно ожидать зависимость этой частоты от удаленности бомбардируемой планеты от Солнца. Это связано с тем, что основные источники опасных тел расположены на периферии Солнечной системы: главный пояс астероидов — между орбитами Марса и Юпитера, пояс Койпе-



Рис. 1: Граница моря (справа) и материка (слева) на Луне, плотность кратеров на материке выше

ра — за орбитой Нептуна, облако Оорта — еще дальше. Для того чтобы подойти близко к Солнцу, астероид должен иметь небольшой угловой орбитальный момент, причем, чем ближе к Солнцу, тем значение углового момента должно быть меньше. Но поскольку распределение космических тел по орбитальным моментам гладкое, то количество объектов с малыми моментами невелико. Соответственно, можно ожидать, что частота астероидной бомбардировки Марса будет самой высокой, а Меркурия — самой низкой. В одной из практических работ серии предлагается сравнить частоту бомбардировки Луны, расположенной на том же расстоянии от Солнца, что и Земля, и Меркурия, который расположен почти в три раза ближе к Солнцу.

Более подробное описание астероидно-кометной опасности и связанных с ней проблем можно найти в книге [6].

Ниже описаны использованные открытые источники и содержание частей лабораторной работы. Более подробно с описанием лабораторных работ можно ознакомиться в [7, 8].

4. ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ОТКРЫТЫЕ ИСТОЧНИКИ ДАННЫХ

Для проведения описываемой серии лабораторных работ используются три открытых источника данных о кратерах: два источника о кратерах на поверхности Луны и один — о кратерах на Меркурии.

4.1 Архив миссий Lunar-Orbiter

Первым источником данных о кратерах на поверхности Луны является архив изображений ее поверхности, полученных серией космических аппаратов Lunar-Orbiter [9]. Пять космических аппаратов Lunar-Orbiter, запущенных в 1966–1967 гг. произвели картографирование 99% поверхности Луны. Архив содержит изображения с разными разрешениями, представляющих собой оцифрованные оригинальные фотографические изображения, их объединения и усреднения. Для практической работы использовались изображения низкого разрешения, на которых видны кратеры размером от 1 км до нескольких десятков километров. Такие кратеры порождаются при падении «опасных» астероидов с размерами более 100 м. Вся поверхность Луны покрывается примерно сотней «листов» низкого разрешения.

Каждый лист низкого разрешения снабжен копией изображения на которой отмечены границы и подписаны названия некоторых наиболее крупных кратеров, а также таблицей, в которой указаны размеры подписанных кратеров в километрах, что позволяет найти масштаб изображения. Один из таких листов с подписанными кратерами, показан на рис. 2.

Число кратеров на листе низкого разрешения слишком велико для проведения подсчетов одним учащимся, поэтому лист делится на несколько частей [15]. Каждому учащемуся выдаются: фрагмент листа для подсчета кратеров, изображение полного листа из которого взят фрагмент с подписанными большими кратерами и таблица с размерами этих кратеров. Изображения могут выдаваться в электронном или в печатном виде. В последнем случае фрагмент для подсчетов печатается с большим разрешением, чем лист с подпи-

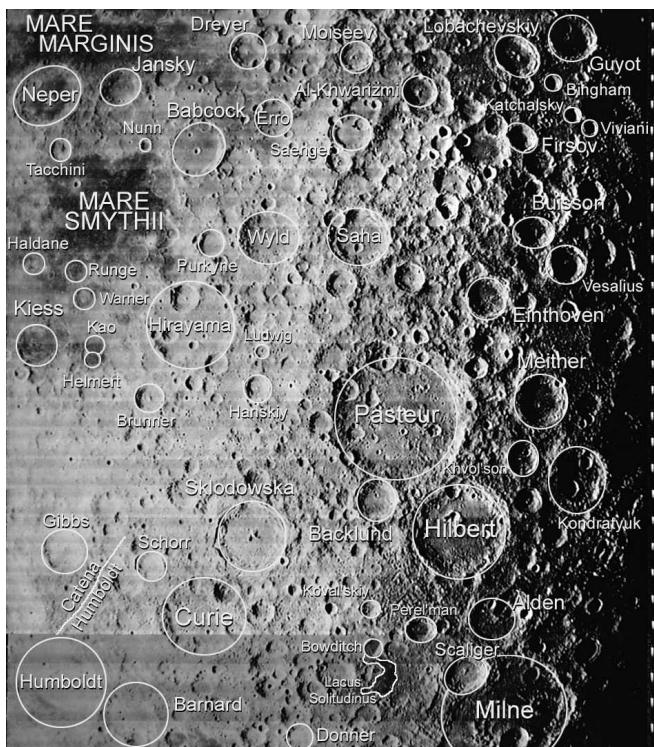


Рис. 2: Лист с подписанными кратерами из архива изображений Lunar-Orbiter

санными кратерами.

4.2 Архив миссий Lunar Reconnaissance Orbiter

Космический аппарат Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO), предназначенный для картографирования и исследования Луны, был запущен в 2009 г. Архив LRO [10] представляет собой карту Луны, масштаб которой можно менять. В самом крупном масштабе на экране помещается весь диск Луны, типичная единица длины для такого изображения — 500 км. В самом малом масштабе эта единица составляет 50 м. На таком снимке кратеры размером 10 м видны отчетливо, несколько хуже различаются кратеры в несколько метров. Возможно также получение изображений поверхности Луны в любых промежуточных масштабах.

Изображения из этого архива для характерных размеров 50 км, 5 км, 500 м и 50 м показаны на рис. 3–6. Приведенные изображения вложены друг в друга — каждая следующая фотография является частью предыдущей. Изображения сделаны для материковой части Луны.

По этим картам можно подсчитывать как кратеры от «опасных» астероидов, так и те, которые порождают Тунгусские и Челябинские метеориты и даже более мелкие.

Для определения размера кадров и кратеров на них используется впечатанный бар (в верхнем правом углу

на рис. 3–6).

4.3 Источник данных о кратерах на Меркурии

Для подсчета кратеров на Меркурии используется электронная карта его поверхности в масштабе 1:5.000.000 [11]. Пример изображения из этой карты показан на рис. 7.

Реальные размеры изображений и кратеров на них определяются по нанесенной на фрагменты карты координатной сетке. При этом берется принятый на сегодня радиус Меркурия (2439.7 км).

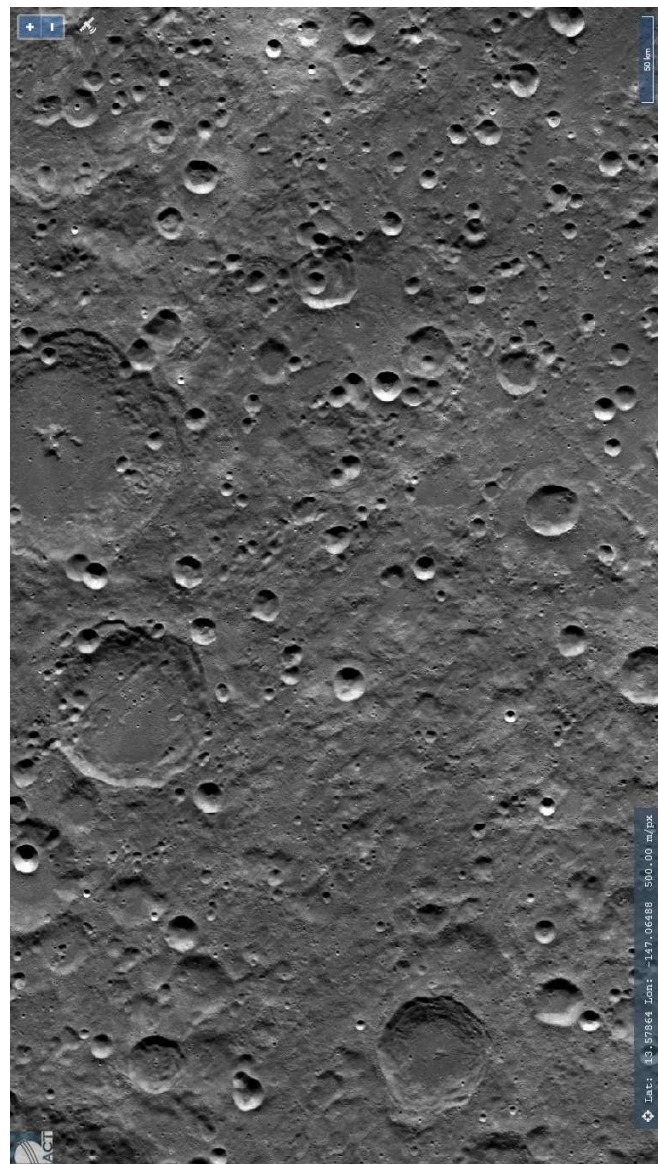


Рис. 3: Фотография материковой части Луны из архива LRO с масштабом 50 км (масштаб указан в верхнем правом углу)

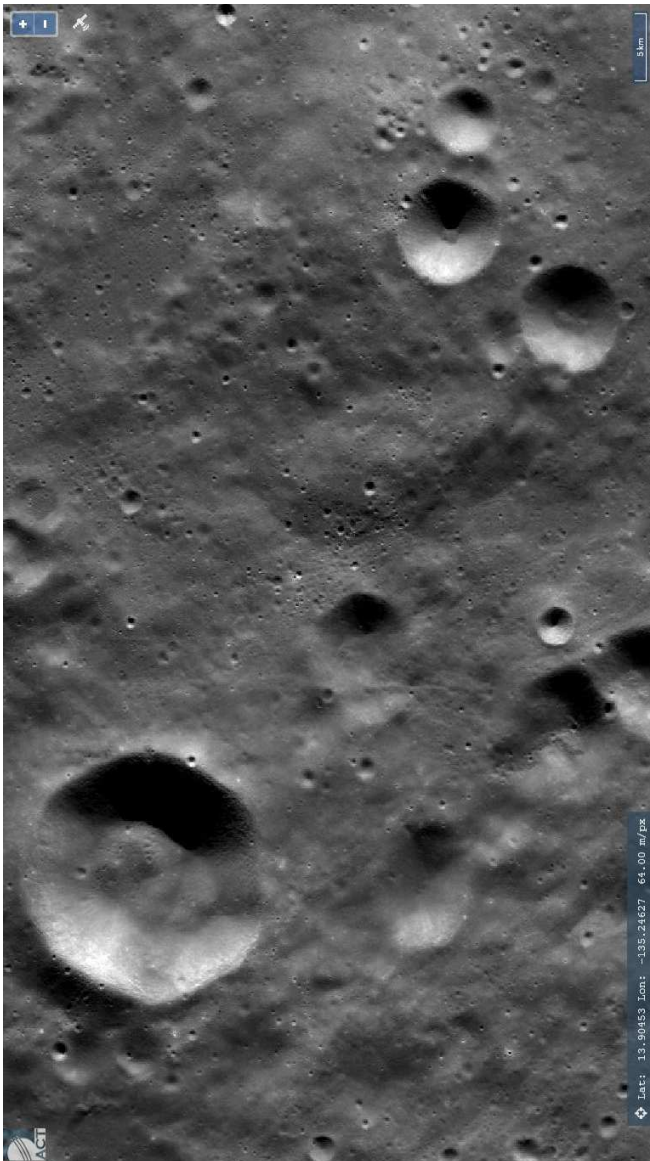


Рис. 4: Фотография материковой части Луны из архива LRO с масштабом 5 км (масштаб указан в верхнем правом углу)

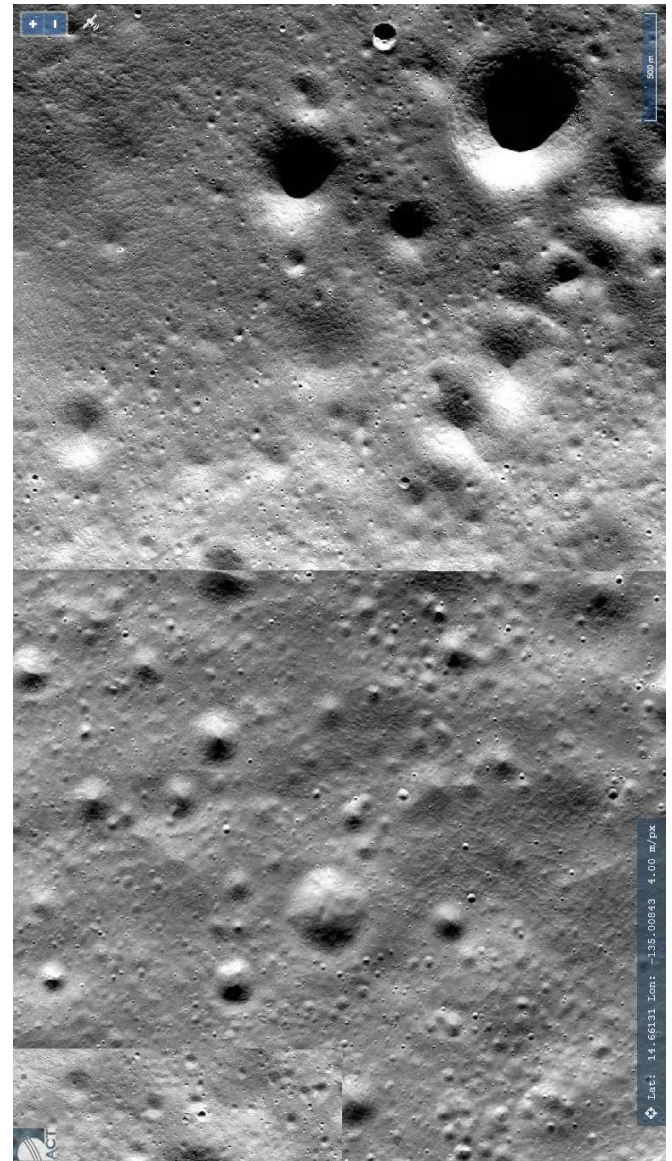


Рис. 5: Фотография материковой части Луны из архива LRO с масштабом 500 м (масштаб указан в верхнем правом углу)

5. ОБЗОРНАЯ ЧАСТЬ

Обзорная часть общая для всех практических работ серии. Она содержит описание проблемы астероидно-кометной опасности, которое было кратко изложено во введении, а также сведения о происхождении, свойствах и классификации малых тел Солнечной системы.

Помимо этого в обзорную часть были включены сведения о геологических структурах ударных кратеров и о кратерах, обнаруженных на поверхности Земли.

6. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Теоретическая часть также общая для всех практических работ серии. В ней учащиеся самостоятельно, на основе рассмотрения простых моделей, выводят соотношения, позволяющие ответить на следующие вопросы:

1. Космические объекты каких размеров эффективно тормозятся атмосферой Земли?
2. Скорость космических объектов каких размеров существенно уменьшится при их падении в океаны за время пересечения толщи воды?
3. Как связаны размер и скорость падающего на

классов. Следует заметить, что модели дают несколько различающиеся зависимости диаметра образующегося кратера от размера падающего тела, но при этом результаты гораздо более точного моделирования процесса падения на основе трехмерных гидродинамических компьютерных расчетов [6, 12] попадают в интервал, задаваемый этими простыми оценками.

7. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В практической части предлагается выполнить следующую работу:

1. на одной или нескольких выданных фотографиях фрагмента поверхности Луны или Меркурия подсчитать количество кратеров, определить их размеры и рассортировать по величине;
2. вычислить частоту падения «опасных астероидов» на Луну или Меркурий в целом;
3. определить какие из этих кратеров образованы астероидами, превышающими «опасные размеры»;
4. получить оценку падения «опасных астероидов» на Землю;
5. сравнить эту оценку с частотой падения астероидов на Землю, полученной другими способами (из справочных данных);
6. при обработке нескольких кадров — сравнить полученные по ним результаты между собой.

Для завершения лабораторной работы используются формулы, выведенные в теоретической части работы и справочные материалы.

8. СПРАВОЧНАЯ ЧАСТЬ

Справочная часть работы содержит следующие сведения, необходимые для проведения практической части:

1. химический состав метеоритов, их плотности и частоты встречаемости;
2. плотности, теплоемкости и температуры плавления некоторых горных пород;
3. термические характеристики льда;
4. распределение метеоритов и астероидов по скоростям;
5. сводное распределение астероидов по размерам;
6. возраста, массы, диаметры Земли и Луны.
7. параметры орбиты, массу и размер Меркурия.

9. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Методическая часть работы предназначена для преподавателей. В ней излагаются цели и рекомендуемый план проведения работы, даны рекомендации по оформлению полученных результатов и список возможных контрольных вопросов.

Возможно проведение работ серии в индивидуальном и групповом режиме.

Индивидуальный режим — учащийся подсчитывает число кратеров на 1–4 изображениях и обрабатывает их. Возможные цели работы:

1. оценить частоту падения астероидов;
2. оценить разброс числа кратеров на разных изображениях;
3. построить распределение числа кратеров в зависимости от их размера.

Групповой режим — практическую работу выполняет группа 2–3 учащихся. Каждый подсчитывает число кратеров на 1–4 изображениях и обрабатывает их. Возможные цели работы:

1. сравнение средних частот падения кратеров на моря и материи Луны;
2. сравнение частот падения астероидов на Луну (Землю) и Меркурий.

В качестве примера на рис. 8 показано распределение плотности кратеров в зависимости от их размеров в интервале диаметров 1 м — 100 км по данным архива LRO [10].

Отдельно в методической части рассмотрены затраты времени на проведение работы (в целом и отдельных ее частей).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная лабораторная работа позволяет учащемуся самостоятельно провести небольшое, но цельное научное исследование на актуальную тему и сравнить свои результаты с результатами современных научных исследований. В описанной выше работе учащийся знакомится и оперирует с данными нескольких наук: физики, астрономии, геологии. Такой подход побуждает учащегося к более раннему и более глубокому ознакомлению с научной деятельностью [13].

Работа является практической, при этом ее проведение не требует практически никакого технического оборудования, т.е. может проводиться в любых вузах и школах, а также включаться в курсы дистанционного обучения.

Следует также отметить большую потенциальную вариативность рассмотренной работы. Даже без изменения ее плана и содержания, большой объем архива

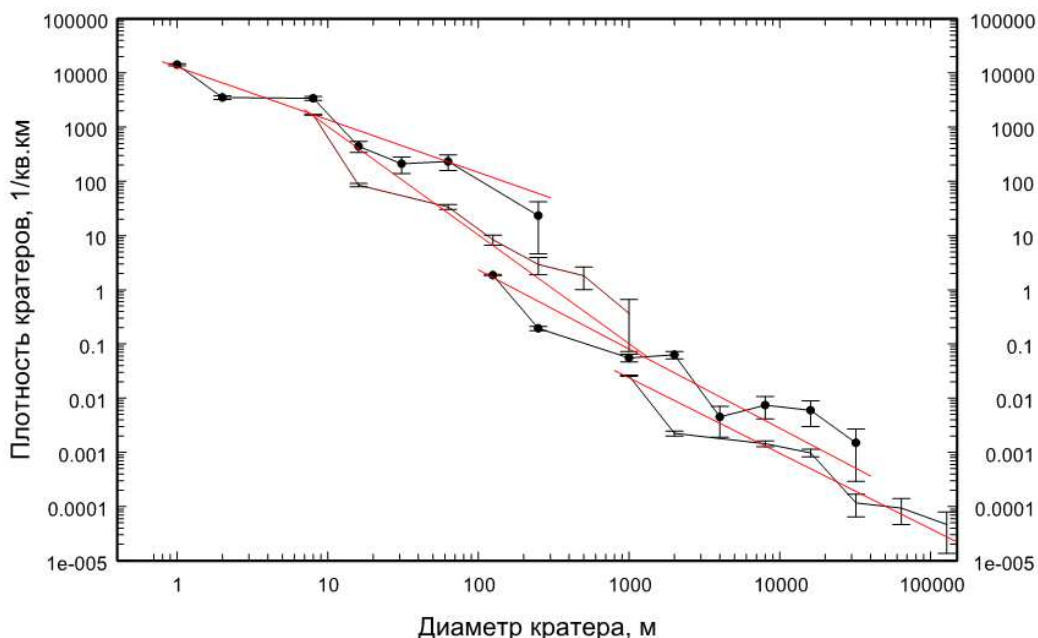


Рис. 8: Распределение кратеров по диаметрам по подсчетам по архиву LRO. Черные линии с барами — подсчеты по изображениям с характерным размером, соответственно, 50 км, 5 км, 500 м и 50 м. Красные линии — степенная аппроксимация

исходных данных позволяет обеспечить независимыми исходными материалами большое число учащихся. При этом можно легко видоизменить работу несколькими способами.

Первая возможность — предположить, что масштаб изображения не является постоянным в пределах кадра. Изменение масштаба может быть связано с наклоном камеры космического аппарата к поверхности Луны. В этом случае учащийся должен будет построить модель изменения масштаба в пределах фрагмента для подсчета кратеров (например, линейную).

Другая возможность — подсчитать плотность кратеров на более кратерированных материках Луны и на менее богатых кратерами морях. Эта разница объясняется тем, что в первый миллиард лет существования

Луны моря были залиты лавой, которая скрыла ранее образовавшиеся кратеры. Целью этой работы может быть сравнение частот падения астероидов во время «поздней тяжелой астероидной бомбардировки» Солнечной системы [14] с частотой падения в более поздний период (включая настоящее время). Для этого варианта работы в справочник должны быть включены возрасты лунных морей.

Еще один вариант — определение и сравнение частот падения астероидов на Луну и на Марс (вариант: на Луну и Меркурий). Конечным результатом этого варианта будет сравнение частоты падения астероидов в разных частях Солнечной системы (на разных расстояниях от Солнца).

- [1] Грабовский М. А., Млодзевский А. Б., Телеснин Р. В., Шаскольская М. П., Яковле И. А. Лекционные демонстрации по физике. / Под ред. Ивероновой В. И. М.: Наука, 1972.
- [2] Селиверстов А. В. // Ученые записки физ. ф-та Моск. ун-та. 2016. **3**, 163004.
- [3] Морозов А. Н., Еркович О. С., Тимченко С. Л., Поздышев М. Л. // Физическое образование в вузах. 2014. **20**, № 3. С. 3.
- [4] Willinsky J. The Access Principle: The Case for Open Access to Research and Scholarship. MIT Press. 2006.
- [5] Кузнецова И. В., Прохоров М. Е. Ученые записки физ. ф-та Моск. ун-та. 2018. № 1, С. 1811001.
- [6] Астероидно-кометная опасность. Вчера, сегодня, завтра / Под ред. Шустова Б. М. М.: Физматлит, 2010.
- [7] Кузнецова И. В., Прохоров М. Е. Оценка астероидной опасности по кратерам на Луне. СУНЦ МГУ. М., 2017.
- [8] Кузнецова И. В., Прохоров М. Е. Оценка астероидной опасности по кратерам на Луне. Практическая работа по физике. LAP LAMBERT Academic Publishing. Саарбрюккен, 2017. ISBN 978-3-330-06163-7.
- [9] Ссылка на архив фотографий Луны, полученных с космических аппаратов Lunar-Orbiter // <http://www.lpi.usra.edu/resources/lunarorbiter/>.
- [10] Ссылка на интерактивную карту Луны, построенную по данным Lunar Reconnaissance Orbiter // <https://quickmap.lroc.asu.edu/>.
- [11] Карта Меркурия в масштабе 1 к 5 миллионам // <https://planetarynames.wr.usgs.gov/Page/mercuryQuadMap>.
- [12] Gisler G. R., Weaver R. P., Made C. L., Gittings M. L. //

- Computing in Science & Engineering. 2004. **6**, N: 3. P. 46.
- [13] Астахова А. А., Дегтярева А. П., Колясников О. В., Менделеева Е. А., Морозова Н. И., Сергеева М. Г., Сивеев А. С. // Наука и школа. 2017. № 4. С. 135.
- [14] Gomes R., Levison H. F., Tsiganis K., Morbidelli A. // Nature. 2005. **435**. P. 466.
- [15] Наиболее удобно деление листа на 9, 12 или 16 равных частей.

Methodical aspects of educational practical work in physics, developed on the basis of open scientific data

I. V. Kuznetsova^{1,a}, M. E. Prokhorov^{2,b}

¹*Department of Physics, Kolmogorov's Advanced Educational Scientific Center, Lomonosov Moscow State University, Moscow, 121352, Russia*

²*Department of Astrophysics and Stellar Astronomy, Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia*

E-mail: ^airinakuznetsova-64@mail.ru, ^bmike.prokhorov@mail.ru

The modern approach to teaching of specialists in engineering, scientific and practical field of activity requires the development of research skills. Such skills students (and graduate students) receive in the study of natural and technical disciplines, as well as performing some laboratory work in specially created laboratories of institutes, universities and schools.

In the study of natural Sciences, especially physics, experimental and practical activities are extremely important. Students learn to use measuring devices, to receive experimental data, to process results according to the methodical descriptions offered in these works. They should learn to draw their own conclusions from the experimental data, use educational and reference books.

Methodical aspects of practical works on physics, developed on the basis of open scientific data, differ from traditional works both in the form of methodological techniques used in the organization of educational activities, and the scale of the use of various technical means for «experiments».

Proposed laboratory work should allow the student in the allotted time: 1 — to learn the field of science or Sciences to which laboratory work relates; 2 — to study the necessary part of the mathematical apparatus; 3 — to receive and independently process raw data for laboratory work from open sources; 4 — to bring the processing to the final conclusions and compare them with some results of similar professional studies.

The article deals with a series of practical laboratory and / or (extra-laboratory) works based on the counting of craters on the surface of the Moon and Mercury

PACS: 01.50.Qb, 96.20.Ka, 96.25.Pq, 96.30.Ys.

Keywords: student learning, practical physics labs, open data, multidisciplinary, impact craters, asteroid-comet hazard.

Received 16 June 2019.

Сведения об авторах

1. Кузнецова Ирина Витальевна — канд. физ.-мат. наук, ассистент; тел.: (495) 305-39-28, e-mail: irinakuznetsova-64@mail.ru.
 2. Прохоров Михаил Евгеньевич — доктор физ.-мат. наук, профессор, тел.: (495) 939-50-06, e-mail: mike.prokhorov@mail.ru.
-