

В.И. Слеуев, А.Н. Крылов

(Академия Государственной противопожарной службы МЧС России;
e-mail: ntp-tsb@mail.ru)

ЕЩЁ РАЗ О ВОЗМОЖНОСТЯХ И ОПАСНОСТЯХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ГОРЕНИЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ФОКУСИРОВКИ СОЛНЕЧНОГО СВЕТА

С учётом исторических фактов проведён анализ возможностей и опасностей возникновения горения в результате воздействия солнечного света. Приводятся данные эксперимента по фокусировке солнечного света банкой с водой на линолеум в солнечную погоду.

Ключевые слова: солнечный свет, фокусировка, горение.

V.I. Sluev, A.N. Krylov

ONCE MORE ON OPPORTUNITIES AND RISKS OF BURNING IN RESULT OF FOCUSING SOLAR LIGHT

Given the historical facts of the analysis of opportunities and risks of burning in result of exposure solar light. Provides data of the experiment by focusing solar light with a jar of water on the linoleum in the solar weather.

Key words: solar light, focusing, burning.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 21 февраля 2011 г.

Введение

Как известно, около 30 % солнечного излучения отражается атмосферой Земли, 20 % – поглощается и только лишь 50 % достигает её поверхности. Но это эквивалентно всей энергии, вырабатываемой примерно 170 миллионами самых мощных электростанций мира. На возможность возникновения горения в результате воздействия солнечного света указывалось ещё в древности. Еще в 400 г. до нашей эры в Греции использовали энергию Солнца для разжигания костров с помощью наполненных водой стеклянных шаров. К 200 г. до нашей эры похожий способ с использованием вогнутых зеркал для фокусировки солнечных лучей стали применять и в Китае.

Есть легенда о том, что Архимед, живший во 2 веке до нашей эры, при помощи системы зеркал поджег деревянные римские корабли – триеры, осаждавшие г. Сиракузы. С тех пор начался спор о зажигательных свойствах зеркал. Многие учёные принимали в нём участие: Анфимий (6 век), Иоганн Кеплер, Рене Декарт. Точки зрения были разные. Французский философ и математик Рене Декарт считал, что поджечь корабль с помощью солнечных лучей невозможно.

В 17 веке французский натуралист Джордж Луи Бюффон опубликовал работу "Изобретение зеркал для воспламенения предметов на больших расстояниях". Зеркало Бюффона состояло из 128 плоских зеркал на шарнирах. При достаточно яркой солнечной погоде он воспламенил еловую доску на расстоянии 150 футов (49 м). Интересно отметить, что воспламенение произошло совершенно внезапно, причем на всей площади освещения.

В 1973 г. греческий инженер-механик Иоанис Сакас с 70 помощниками расставил на берегу бухты щитообразные зеркала размером 0,9 м на 0,5 м. Когда лучи от зеркал удалось совместить в одной точке на лодке со смолой, она в этом месте задымилась и через три минуты вспыхнула [1-5].

В 2005 г. студенты американского технологического института из штата Массачусетс воспроизвели сожжение модели "римского" корабля, применив множество небольших зеркал (рис. 1), солнечные зайчики от которых синхронно направлялись в одну точку (рис. 2). Макет римской триеры был сделан из красного дуба, который был строительным материалом того времени. Ожидаемый всеми эффект был достигнут. Наблюдалось обугливание, дым, потом вспышка и открытое пламя. С момента открытия зеркал до выброса пламени прошло не более 10 минут (рис. 3). Судя по воспламенению, в световом пятне была достигнута температура около 500 градусов. Триеру через минуту пожара залили водой и обнаружили сквозной прогар [6].

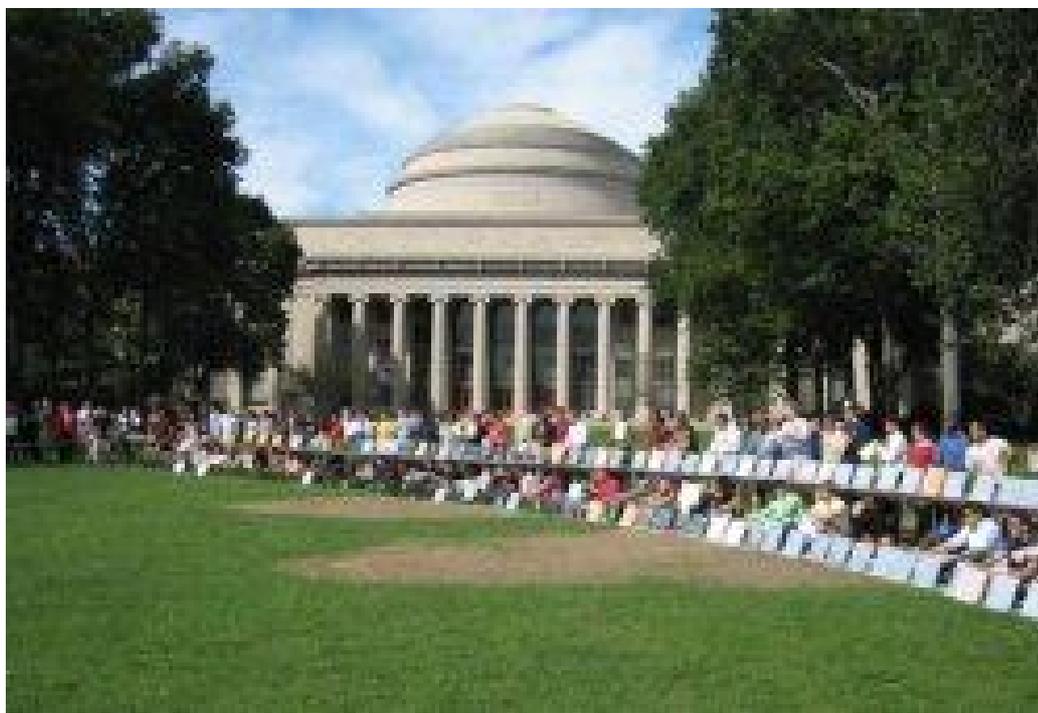


Рис. 1. Расположение зеркал для освещения корпуса деревянного макета корабля

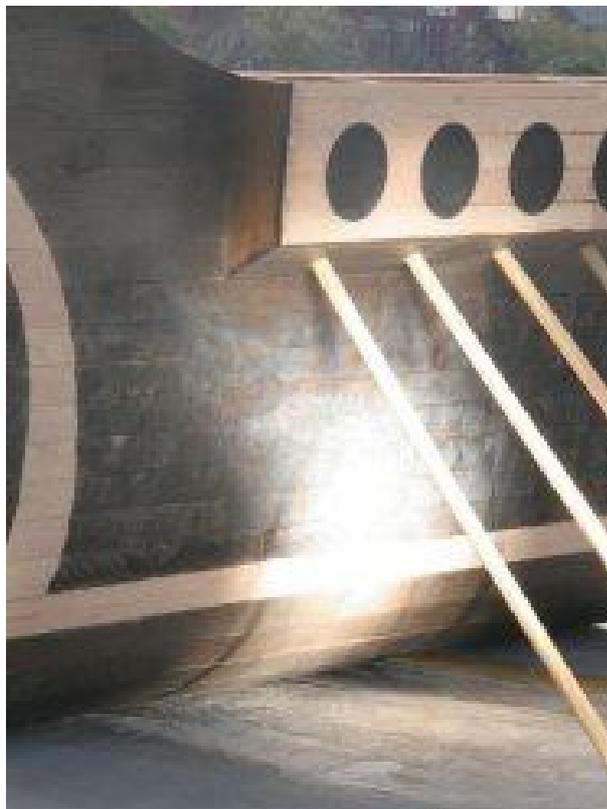


Рис. 2. Световое пятно от множества солнечных зайчиков на корпусе деревянного макета корабля



Рис. 3. Горение деревянного макета корпуса корабля

Известна легенда племени майя, связанная с хрустальным черепом. В 1927 г. в Центральной Америке на раскопках древнего города Лубаантуна был обнаружен череп из горного хрусталя. Каким образом был сделан этот предмет в эпоху, когда еще не знали железных инструментов, пока что никто еще не дал удовлетворительного объяснения. Археолог Мичел-Хеджес писал, что этому черепу не менее 3600 лет. Верховный жрец пользовался им для мистических ритуалов, в том числе для получения огня. Действительно, округлая форма предполагает, что у этого предмета могли быть и свойства линзы, а это означает, что с его помощью можно было собирать в фокусе солнечные лучи. Видимо, на этом был основан один из ритуалов майя [7].

В настоящее время нередки случаи, когда указывается, что причиной пожаров является фокусировка солнечных лучей. В качестве линз могут оказаться банки и бутылки с водой, оптические приборы.

Многие производители оптических приборов в инструкциях по эксплуатации предупреждают об опасности возникновения пожара при их хранении на солнце (рис. 4). Однако на форумах в Интернете часто высказываются скептические отношения к опасности возникновения пожара из-за фокусировки солнечных лучей [9-11]. Сейчас практически никто не оспаривает точку зрения о том, что фокусировка света многими зеркалами может вызвать горение и фокусирующие оптические системы могут увеличивать освещенность изображения [12-17]. Подобный принцип применяется и в солнечных плавильных печах. Например, в г. Монлуи (Франция) построена печь. Это многоэтажное сооружение, одна сторона которого выложена отражателями в форме вогнутого зеркала. В фокусе перед этим зеркалом находится плавильная камера, разогреваемая солнцем до температуры 3000 °С, достаточной для плавления большинства металлов. Известна технология фокусировки солнечных лучей для разогревания пищи. Вместо вогнутого зеркала в некоторых таких печах используют ряд плоских отражателей, установленных под углом и направленных на место размещения пищи [18].

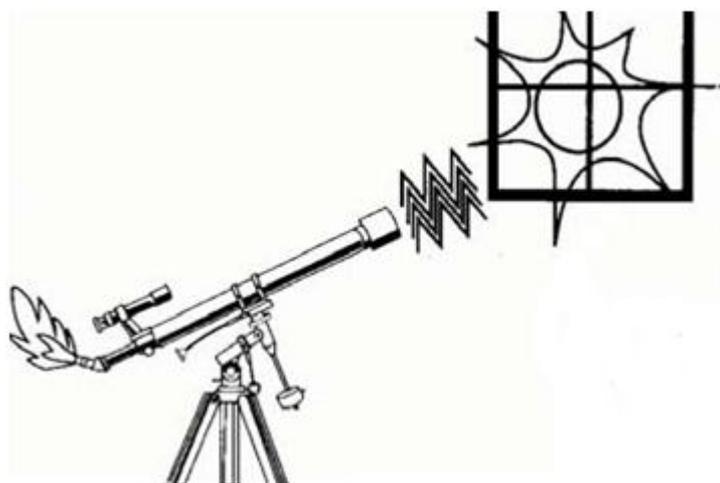


Рис. 4. Информация о правилах хранения оптических приборов.

Но могут ли обычные предметы, которые используются в быту (банки и бутылки с водой) вызвать пожар? Обычные значения освещённости солнечным светом не превышают значения 10^5 Лк (табл. 1).

Таблица 1

Значение освещённости в различных ситуациях

Ситуация	Освещённость, лк
Солнечными лучами в полдень	100 000
При киносъёмке в студии	10 000
На открытом месте в пасмурный день	1000
В светлой комнате вблизи окна	100
На рабочем столе для тонких работ	400-500
На экране кинотеатра	85-120
От полной луны	0,2
От ночного неба в безлунную ночь	0,0003

Экспериментальная часть

Авторы привели экспериментальную проверку опасности возникновения горения при фокусировке солнечных лучей банкой с водой. Для этого на горизонтальную бетонную поверхность был помещён линолеум светло-бежевого цвета, на который была поставлена 3-литровая банка с обычной водопроводной водой. Выбор такой фокусирующей системы основан на том, что часто на балконах сажают цветы. Для их полива используют воду, которая может храниться в стеклянных банках. Эксперимент проводился в июне 2010 г. в безоблачную погоду в г. Москве (рис. 5). Для оценки температуры, на расстоянии (2-3 мм) от светового пятна, в разрезе линолеума, была установлена термопара нихром-никель, которая подключалась к цифровому мультиметру UT30C с диапазоном измерения до 250 °С (рис. 6). Сфокусированные солнечные лучи не попадали на термопару.

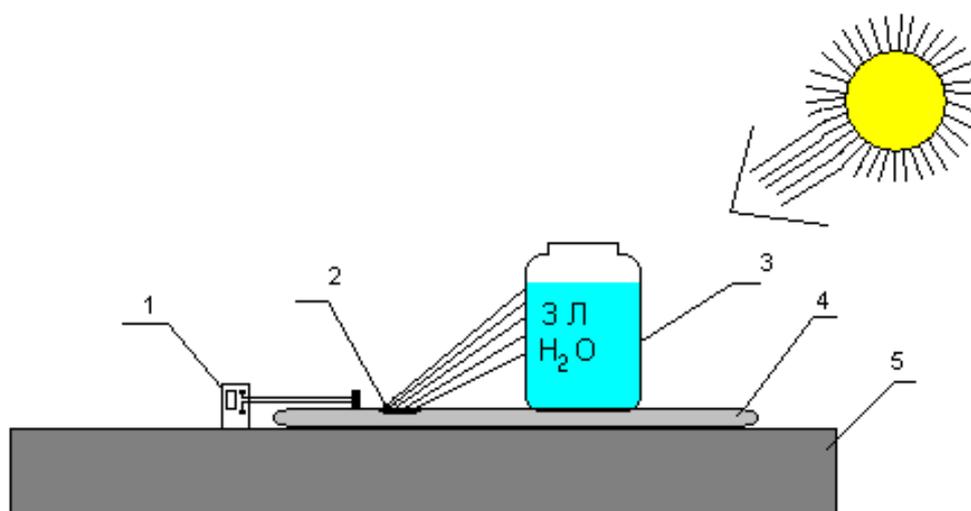


Рис. 5. Схема эксперимента:

1 – прибор UT30C; 2 – область линолеума, на которую падал фокусированный солнечный свет; 3 – банка с водой; 4 – линолеум; 5 – бетонная плита

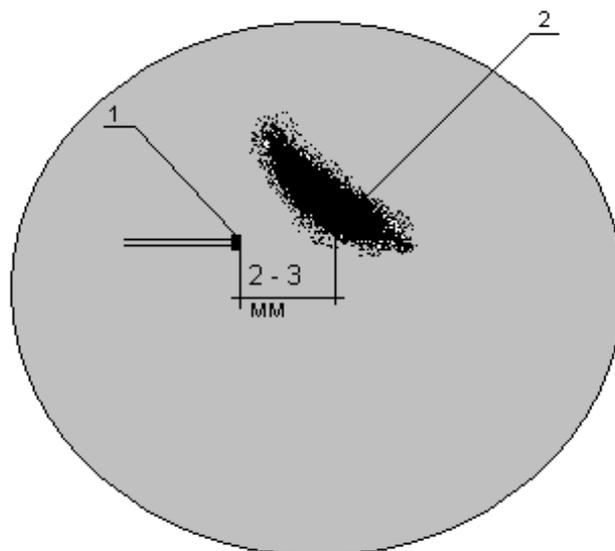


Рис. 6. Расположение термопары в разрезе линолеума относительно светового пятна:

1 – термопара; 2 – область линолеума, на которую падал сфокусированный солнечный свет

Через 30 минут линолеум начал вспучиваться, появился неприятный запах. Ещё через 30 минут на месте светового пятна линолеум сильно почернел, появился резкий запах от продуктов горения (табл. 2). На 75 минуте опыта уже происходило интенсивное тление. Резкий, удушающий запах проникал через открытую балконную дверь в квартиру и затруднял дыхание.

Таблица 2

Результаты наблюдений

Время, мин.	Температура, °С	Внешние изменения линолеума
0	28	Нет
5	42	Нет
20	84	Незначительное вспучивание поверхности
30	120	Вспучивание, появление почернения
45	140	Интенсивное почернение
60	180	Почернение, вспучивание, запах тления
75	195	Активное тление, резкий запах
100	210	Активное тление, резкий запах
120	235	Горение линолеума в области фокусировки солнечного света. Удушливый дым

Эксперимент проводился пять раз. Средние значения полученных в ходе эксперимента результатов представлены в табл. 2 и на рис. 7. Очевидно, что температура в световом пятне была выше температуры, показанной прибором. На рис. 8 представлена фотография линолеума после воздействия солнечных лучей. Обугленные области имеют серпообразный вид. Это связано с формой светового пятна и перемещением изображения Солнца из-за суточного движения Земли.

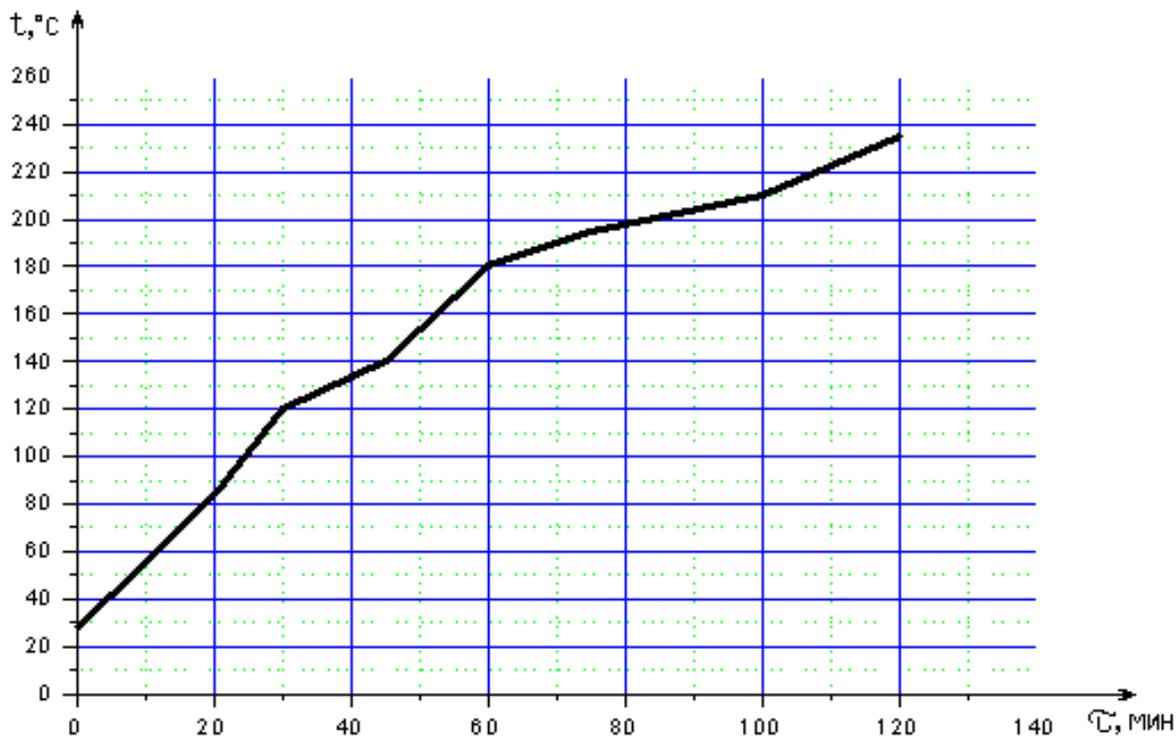


Рис. 7. График зависимости температуры линолеума от времени



Рис. 8. Фотография линолеума после светового воздействия солнечных лучей. Видны следы горения. Эксперимент повторялся 5 раз, свет фокусировался на разные части линолеума

Погрешность показаний прибора 1,5 %. Следует отметить, что через 80 минут температура уже достигала 200 °С. Площадь светового пятна на линолеуме составляла около 0,5 см², площадь поперечного сечения банки – около 10 см². Если не учитывать поглощение, отражение и рассеивание света банкой с водой, освещённость в световом пятне на линолеуме в 20 раз больше, чем освещённость несфокусированным солнечным светом. Видимо, освещённость в световом пятне была 2·10⁶ Лк. В табл. 3 представлены температуры тления и воспламенения ряда веществ. Для многих из них – это 200-300 °С. Можно предположить, что если на эти вещества будет сфокусирован солнечный свет, то может возникнуть горение.

Таблица 3

Таблица температур тления и воспламенения различных веществ и материалов

Вещество	Температура тления, °С	Температура воспламенения, °С
Бумага	-	230
Опилки еловые / сосновые	220 / 230	214 / 230
Картон гофрированный / кровельный	258/278	258/227
Древесина	325	325
Торф	187	405
Линолеум поливинилхлоридный	-	330
Кукуруза / кукурузные стебли	280/305	460
Картофель сушёный	276	285
Отруби с жиром	170	383
Хлопок	205	210
Сено (влажность 7,3 %)	-	180

Выводы

1. Фокусировка солнечных лучей может привести к возникновению пожара.
2. Фокусирующей оптической системой могут быть банки и бутылки с водой, очки.
3. Возгорание от фокусировки солнечных лучей вполне вероятно на полях, торфяниках, в лесу, на балконах жилых домов. Даже если пожар не возникает в квартире, через открытую балконную дверь в неё могут попасть опасные для человека продукты горения. Это представляет угрозу, прежде всего, для маленьких детей и больных людей.
4. Требования по защите от прямых солнечных лучей при хранении оптических приборов следует считать обоснованными.

Литература

1. **Житомирский С.В.** Архимед: пособие для учащихся. М.: Просвещение, 1981.
2. **Житомирский С.В., Сулович Н.** Наука и жизнь, 1974, № 10.
3. **Журнал "Юный техник"**, 1983, № 9.
4. **Панкова М.А., Романенко И.Ю., Вагман И.Я.** Солнечный лазер Архимеда. Все величайшие загадки истории. Изд. АСТ, 2008.
5. **Уокер Д.И.** Физический фейерверк. М.: МИР, 1989. 296 с.
6. **Сожжение** модели "римского" корабля студентами американского технологического института из штата Массачусетс. <http://flot.com/history/interesting/arhimed.htm>.
7. **Джилберт Э., Коттерелл М.** Тайны майя / Книга серии "Тайны древних цивилизаций". Изд. Вече, 2000. 352 с.
8. **Сводки** о пожарах в республике Марий Эл. <http://12.mchs.gov.ru/pr/index.php?ID=4271>.
9. **Инструкция** по хранению оптических приборов. <http://www.optic-spb.ru/ru/pages/275>.
10. **Форум.** Обсуждение причин пожара. <http://dwg.ru>.
11. **Форум.** Обсуждение причин пожара. <http://forum.rzn.info>.
12. **Слуев В.И.** Пожары, катастрофы и безопасность людей в задачах по физике. Учебное пособие. М.: МИПБ МВД России, 1998.
13. **Гольдфарб Н.И.** Сборник вопросов и задач по физике. М.: Высшая школа, 1973. С. 148.
14. **Сахаров Д.И., Косминков И.С.** Сборник задач по физике. М.: Государственное учебно-педагогическое издательство Министерства просвещения РСФСР, 1952. С. 151.
15. **Сивухин Д.В.** Общий курс физики. Оптика. М.: Наука, 1980.
16. **Учебник** физики / Под ред. академика Ландсберга Г.С., том 3. М.: Наука, 1968.
17. **Матвеев А.Н.** Оптика. М.: Высшая школа, 1985.
18. **Энергия** солнца. http://hitech-misis.ru/yenergij_solnca.html.