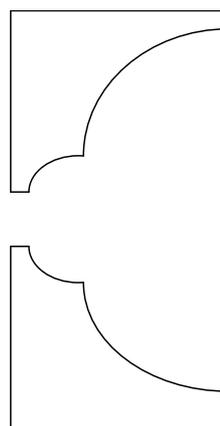


Дырки в стекле

Всё необычное привлекает внимание людей, поэтому интересные по форме дырки в стеклах фотографируют, делятся фотографиями с друзьями, публикуют фотографии в Интернете. Занимательно, что выдвигаются разные, иногда весьма экзотические, версии причин возникновения таких дырок. Договариваются до того, что приписывают таким дыркам метеоритное происхождение, иногда связывают их появление с ударами молний – причем популярными оказываются, почему-то, шаровые молнии. Одна из весьма распространенных версий – это проделки НЛО. Ситуация самая обычная для всего, что находится за пределами «бытового» разума. Часто встречающаяся для дырок форма, которая начинается небольшим круглым отверстием, а продолжается своеобразным «конусом», запечатлена на многочисленных фотографиях. Одна из них приведена ниже. Рядом с фотографией приведен схематический типичный разрез дырки поперёк стекла.



Проза жизни состоит в том, что это след удара по стеклу маленького камушка или (что случается гораздо чаще) маленького стального шарика, выпущенного из рогатки или из пневматического пистолета. Камень или стальной шарик (в дальнейшем будем говорить о камне) остаются по ту сторону стекла, с которой произошёл удар, а отколовшееся стекло улетает в противоположную сторону.

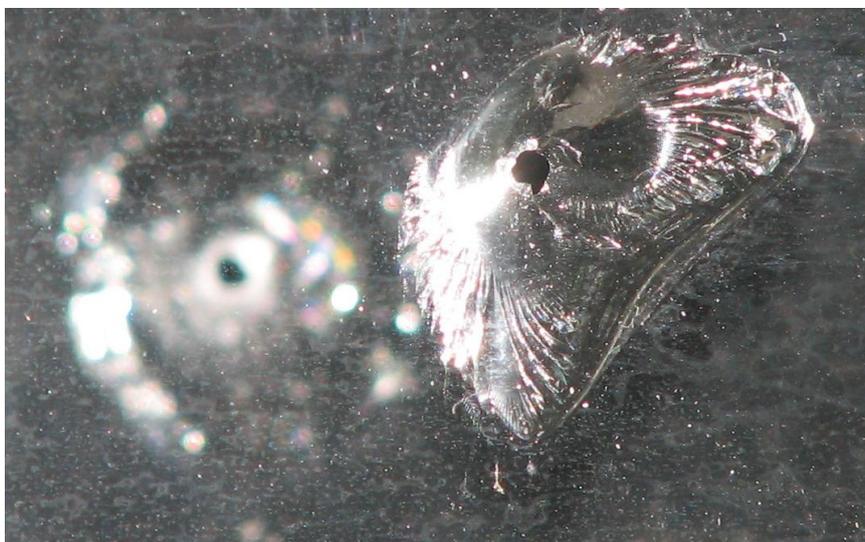
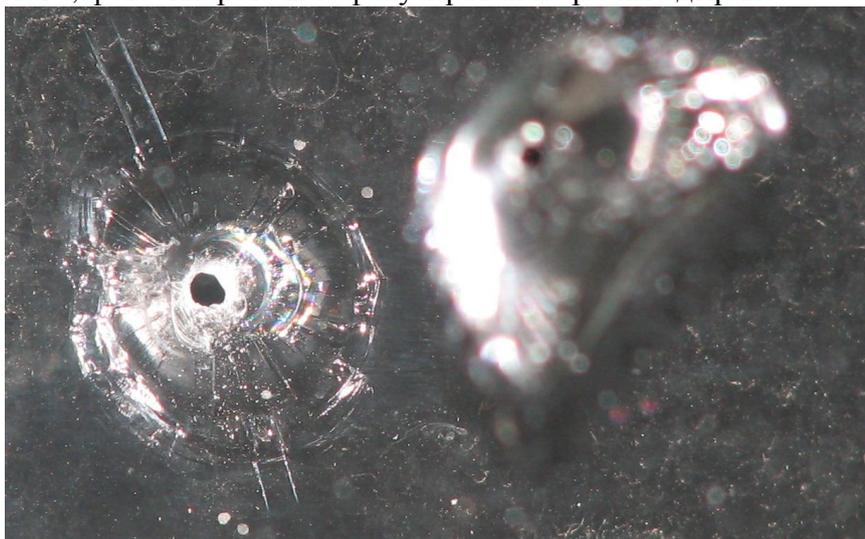
На фотографиях и на схематическом «профиле» скола стекла заметно, что «в профиль» дырка вовсе не конус, а фигура, образованная тремя осесимметричными поверхностями. Опишем качественно последовательность возникновения этих поверхностей.

Первая – это боковая поверхность маленькой дырочки, которая имеет форму цилиндра с относительно большим диаметром и совсем маленькой «высотой». Здесь стекло было основательно разрушено в результате деформации неизотропного сжатия в течение времени контакта с камнем. Растрескавшееся стекло из этой области превратилось после отскока камня в мелкую крошку.

За ней следует вторая поверхность с небольшим радиусом кривизны. Она ограничивает область стекла, которая сразу после «толчка» отрывается от массива стекла, прилегающего к месту удара. Отрыв связан с большой относительной *деформацией сдвига* стекла в месте удара. Стекло имеет «на разрыв» меньшую прочность, чем «на сжатие», поэтому поверхность «первого» отрыва простирается внутрь стекла на расстояния, большие, чем область разрушения стекла в результате сильного неизотропного сжатия (имевшего место в области маленькой круглой дырочки). Материал стекла из этой области приобрел импульс в то время, когда камень касался стекла. Затем камень отскочил от стекла, а в материале стекла возникли волны, распространяющиеся от места удара. Поскольку с увеличением расстояния от места удара амплитуда смещения частиц от положения равновесия уменьшается, на некотором расстоянии от места удара сдвиг материала становится недостаточным, чтобы возник «отрыв», и в результате первая поверхность отрыва с малым радиусом кривизны «останавливается» внутри массива стекла и не проходит стекло насквозь. И, наконец, третья кривая поверхность имеет большой «средний» радиус кривизны, и не является гладкой. Она образуется после того, как волна сжатия и сдвига в стекле достигнет поверхности

стекла, противоположной той, о которую ударился камень, отразится от неё, и, превратившись теперь в волну *растяжения*, достигнет самых удаленных от места удара точек первой границы «отрыва». В этих местах при наличии мелких трещин внутри объема стекла требуется совсем небольшое напряжение растяжения, чтобы стекло разорвалось. Трещины быстро разрастаются *внутри* области, в которой в данный момент имеется напряжение растяжения. Поскольку эта область имеет конечную толщину (она определяется временем взаимодействия стекла с камнем и скоростью распространения волн в стекле), да еще и границы её движутся, то форма поверхности отрыва не гладкая. «Волнистость» этой поверхности отрыва определяется наличием в стекле внутренних микронапряжений, которые возникли в стекле при его остывании и в дальнейшем только усиливались при постепенной кристаллизации стекла. Растущие трещины выходят на поверхность на разных расстояниях от «эпицентра» удара, поэтому граница скола на поверхности стекла противоположной месту удара вовсе не представляет собой правильной окружности.

У меня дома в двух стеклах одного оконного блока образовались две замечательные дырки. Они расположены на одном горизонтальном уровне напротив друг друга, то есть на одном перпендикуляре, восстановленном от плоскости стёкол. Между стёклами имеется воздушный промежуток толщиной около 5 см, а каждое стекло имеет толщину примерно 4 мм. Каждая дырка начинается со стороны улицы сквозным отверстием диаметра около 1 мм. Скол каждого стекла представляет собой своеобразный конус, расходящийся от сквозной дырки в направлении от улицы внутрь дома. Максимальные размеры сколов почти одинаковы и равны примерно 15 мм. Две фотографии сделаны с разных точек, чтобы показать пространственное расположение этих двух дырок, кроме того, фотоаппарат был сфокусирован на разные дырки.



Разобравшись с одной дыркой, попытаемся восстановить последовательность событий, имевших место при возникновении двух дырок. Более округлая дырка возникла во внешнем стекле оконного блока, а дырка «неправильной формы» была пробита во внутреннем стекле.

Если с дыркой в стекле, обращенном к улице, все ясно, то «неправильная форма» второй дырки говорит о том, что «сила удара» была значительно меньше, а длительность удара значительно больше, чем у дырки, возникшей первой. Причиной возникновения второй дырки был удар по второму стеклу оконного блока кусочка стекла, отколовшегося при возникновении первой дырки.

Отколовшийся кусочек стекла имел скорость большую, чем скорость движения камушка относительно стекла перед ударом, однако энергию и импульс он нес с собой гораздо меньшие, чем камень. Этот отколовшийся кусочек пролетел в воздухе 5 сантиметров, отделявшие первое стекло оконного блока от второго стекла, и нанес удар по второму стеклу. Судя по форме скола, на его поверхности отсутствуют характерные две области, которые есть у первой дырки, а присутствует только третья область, обязанная своим возникновением напряжению растяжения в стекле. Можно утверждать, что толщина растянутого слоя была меньше толщины стекла, но сравнима с ней. Это не удивительно, если учесть, что отколовшийся кусочек стекла имел, очевидно, толщину меньшую, чем слой стекла, от которого он откололся. Время взаимодействия второго стекла с отколовшимся от первого стекла кусочком равно удвоенному времени распространения звуковой волны поперек этого кусочка стекла.

Внутренние механические неоднородности второго стекла и микронапряжения в нем определили, в конце концов, форму скола во втором стекле.

С. Варламов

1 декабря 2008 г.