

В. КРАТ

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ СОЛНЕЧНОЙ ГРАНУЛЯЦИИ

(Представлено академиком Г. А. Шайном 6 II 1953)

После работы А. П. Ганского (1), получившего в 1906—1907 гг. непревзойденные до настоящего времени по своему качеству фотографии солнечной грануляции, в течение 45 лет дело изучения микроструктуры солнечной поверхности не продвинулось сколько-нибудь существенно вперед. Обстоятельные исследования тен-Бруггенкате, Гротриана, Палена (2-4) и Кинана (5) по сути дела не внесли почти ничего нового, за исключением определения степени контраста между светлыми гранулами и более темными промежутками между ними. Ганский нашел, что средние размеры гранул (диаметры) составляют 1" на диске Солнца. тен-Бруггенкате, Гротриан и Пален наблюдали только группы гранул с размерами порядка 5"; колебания изображений и, возможно, качество оптики не позволили им разрешить эти группы на более мелкие гранулы. Вскоре после этого тен-Бруггенкате, учитывая, что размеры неоднородностей в земной атмосфере часто имеют порядок 10 см, задиафрагмировал объектив до 10 см и получил результаты, близкие к результатам Ганского: размеры гранул в среднем составляли 1"—2" (3, 4). К аналогичным результатам пришел Кинан (5).

Основываясь на своих снимках, Ганский нашел, что средняя продолжительность существования отдельных гранул составляет 5 мин. К несколько более определенным результатам пришел тен-Бруггенкате, сделавший вывод, что обычные гранулы существуют несколько минут, а гранулы факелов существуют несколько часов. Здесь следует особо отметить, что оценки продолжительности существования гранул чрезвычайно трудны, так как требуют получения уже не отдельных удачных снимков, а целой серии снимков отличного качества, отделенных друг от друга интервалами времени порядка 30 сек.

Исследования структуры грануляции и изменений гранул с течением времени могут помочь нам изучить процессы, происходящие под видимой поверхностью фотосферы, установить закон переноса энергии под фотосферой и тем самым создать предпосылки для интерпретации многих явлений в активных областях Солнца.

Летом 1951 г. нами были начаты наблюдения солнечной грануляции в Пулковке на горизонтальном солнечном телескопе системы Н. Г. Пономарева. Сам телескоп расположен в деревянном, хорошо вентилируемом павильоне с двойными стенками, достаточно просторном для существенного уменьшения скорости конвекции между внутренним и наружным воздухом. Применение такой конструкции в Пулковке, где нагревание павильона во много раз меньше, чем на юге, а дневные градиенты изменения температуры с течением времени малы, привело к тому, что за все время наблюдений лишь всего несколько раз удалось наблюдать слабое дрожание изображения солнечного диска, вызванное конвектив-

ными токами вблизи откатной части павильона. Превосходное качество зеркал, изготовленных Д. Д. Максutowым, позволило получать фотографии Солнца почти на пределе теоретической разрешающей силы инструмента. Наблюдения производились во вторичном ломоносовском фокусе прибора (скошенный «кассегрен») при диафрагмировании основного зеркала до 25 см. Опыт показал, что в условиях Пулковского при таком сечении пучка лучей влияние атмосферных неоднородностей и деформации плоских зеркал, вызванной нагреванием их солнечными лучами, оказывается наименьшим. Диаметр изображения Солнца составлял 56 см. Атмосферные колебания и «размывание» изображений в Пулковском весьма малы. Особенно малы колебания изображений в августе — сентябре в дни переменной облачности, когда амплитуда колебаний уменьшается до $0'',5-1'',0$. Поэтому наилучшие снимки грануляции нами были получены в августе 1951 г. и в августе — сентябре 1952 г.

Наиболее интересна серия снимков, полученная 24 VIII 1952 г. Нами фотографировалась область группы пятен, находившихся недалеко от центрального меридиана, при выдержке в 0,003 сек. Снимки за №№ 1, 2, 3, 4 и 8 оказались снимками одинакового качества, соответствующими наилучшим атмосферным условиям (табл. 1).

Размеры гранул на всех четырех снимках заключались в пределах $0'',24-0'',35$, причем наибольшее число гранул имело размеры, близкие к $0'',35$. На удачных снимках 25 VIII 1952 г. и 2 IX 1952 г., не представляющих собой однородных серий, наименьшие гранулы имеют диаметр около $0'',35-0'',40$, средние же размеры гранул составляют $0'',7$. Радиус дифракционного кружка светящейся точки при нашей апертуре составляет $0'',43$.

В этом случае $0'',35$ должно быть полушириной точечной гранулы (мы определяем полуширину гранул как диаметр зоны изображения, где контраст с окружающим фоном по сравнению с центром гранулы

составляет 50%). Этот факт свидетельствует о том, что истинные размеры гранул должны быть меньше чем наблюдаемые. Гранулы с видимым диаметром порядка $0'',7$ могут быть группами из четырех гранул наименьших размеров. Характерно, что 1-секундные гранулы, наблюдавшиеся Ганским, имеют размеры, кратные $0'',35$. Поэтому, несмотря на то, что истинные размеры гранул должны быть меньше $0'',35$, расстояния между ними, повидимому, не могут быть меньше чем $0'',3-0'',4$, так как в противном случае мы наблюдали бы группы гранул любых размеров в пределах разрешения. Контраст между гранулой и фоном по отдельным пластинкам, калиброванным при помощи впечатывания ступенчатого фильтра-ослабителя, оказался заключенным в пределах 12—13%. Столь малые контрасты удалось измерить лишь благодаря чрезвычайно высокой контрастности диапозитивных пластинок фабрики № 2, употреблявшихся нами в 1952 г. для фотографирования грануляции. Ввиду того, что наблюдаемые гранулы представляются нам дифракционными кружками истинных гранул, истинные контрасты между гранулами и фоном должны быть очень большими и, во всяком случае, в несколько раз большими наблюдаемых. Наблюдавшиеся нами факельные гранулы имеют те же размеры, что и обычные гранулы. На рис. 1 представлены небольшие участки снимков №№ 2 и 3, поставленные рядом для сравнения. На рис. 2 дан участок грануляции с пятном 2 IX 1952 г.

По серии снимков 24 VIII 1952 г. легко проследить, что для некоторых гранул время существования не превышает 1 мин. Так, яркие гранулы, появившиеся на втором снимке, на четвертом снимке уже исчезли. Среднее время существования гранул можно приближенно оценить, подсчи-

Таблица 1

№	Всемирн. время
1	5 ч. 51 м. 30 с.
2	52 м. 0 с.
3	53 м. 0 с.
4	53 м. 30 с.
8	6 ч. 11 м. 30 с.

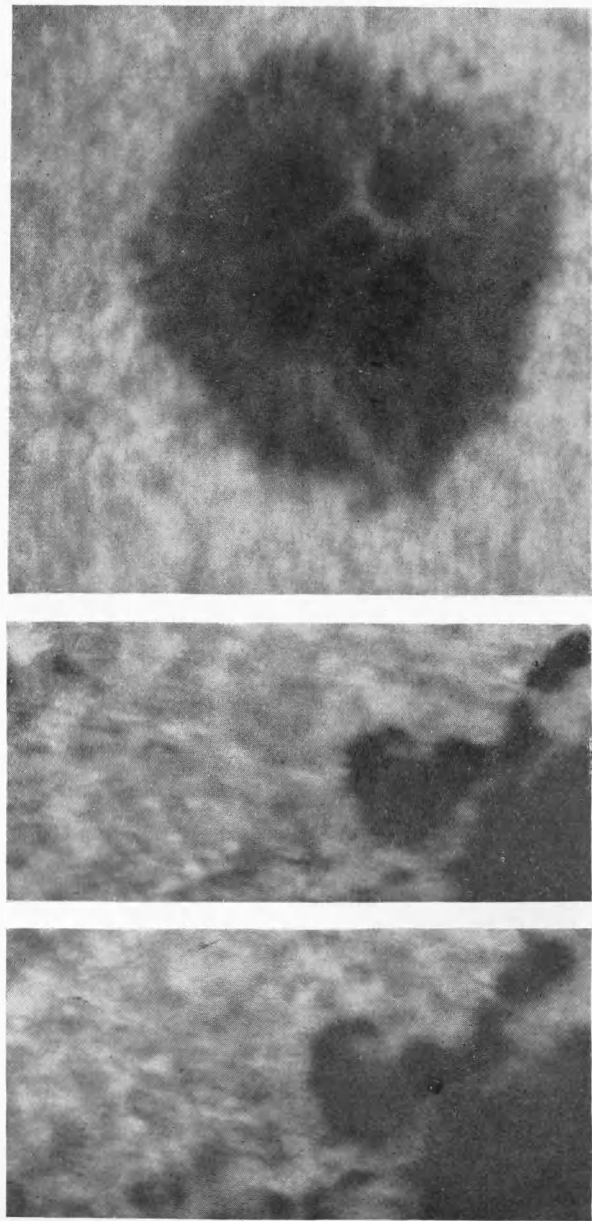


Рис. 1. 24 VIII 1952. Масштаб 1 мм=0",58

Рис. 2. 2 IX 1952. Масштаб 1 мм=0",84

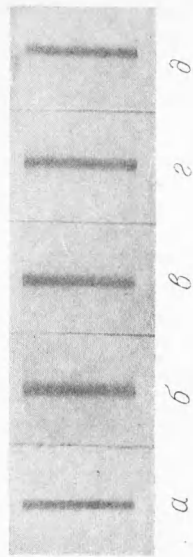


Рис. 1. Рентгенограммы (фотографическое увеличение 1,5). а — прямой пучок без образца; б — образец из катаной меди, ось проката параллельна щели; в — ось проката перпендикулярна щели; г — отожженный образец из катаной меди, ось проката параллельна щели; д — ось проката перпендикулярна щели

тав число гранул, возникших или пропавших в заданном интервале времени. Так, оказалось, что за время в одну минуту сохраняется только половина всех гранул. Через интервал времени в 2 мин. (от снимка № 1 к снимку № 4) уже отождествить гранулы невозможно. Поэтому среднее время существования гранул должно быть близко к 2 мин. Поведение факельных гранул не является исключительным. Многие яркие гранулы существуют меньше минуты. Однако, факельные гранулы имеют тенденцию снова образовываться почти на том же месте. Этим, повидимому, и объясняется поразительная устойчивость факелов, рассматриваемых как цепочки факельных гранул. Если бы гранулы представляли собой реальные конвективные ячейки в фотосфере Солнца, то быстрые их возникновение и исчезновение должны были бы приводить к быстрым перемещениям газовых масс в горизонтальном и вертикальном направлениях. Так например, появление новой гранулы должно было бы привести к раздвиганию ранее существовавших гранул со скоростью, которую легко оценить. Если истинный диаметр гранул имеет порядок 100 км, то при появлении новой гранулы окружающие гранулы должны развиваться со скоростью, в среднем равной $50 \text{ км}/t \text{ сек.}$, где t — время, за которое гранула успеет выйти на поверхность. t , согласно нашим наблюдениям, не может быть больше 20—30 сек. Отсюда мы заключаем, что гранулы должны двигаться в горизонтальном направлении со средними скоростями порядка 2 км/сек. Такие скорости могли бы считаться правдоподобными, если бы мы не наблюдали также и одновременное появление групп из нескольких гранул. В этом случае скорости «раздвигания» гранул должны были бы быть уже в несколько раз больше. Таких больших скоростей мы не наблюдаем над грануляцией в обрабатываемом слое. Естественно допустить, что появление и исчезновение гранул не представляет собой реального движения газовых масс, а является проявлением некоторого волнового процесса, возникающего при переносе энергии из более глубоких слоев в фотосферу Солнца.

Кратковременность существования гранул делает почти безнадежными попытки определения их видимых перемещений в фотосфере. Лишь в отдельных случаях, опираясь на конфигурацию мелких пор или контур полутени пятна, удается заметить смещение одной гранулы по отношению к другой. Так, на снимках 24 VIII 1952 г. в полутени пятна произошло поперечное (по отношению к направлению вытянутости гранул) раздвижение двух гранул-волокон, за 30 сек. достигшее $0'',7$. Совершенно очевидно, что в этом случае мы имеем дело не с перемещением газовых масс, а с изменением расположения магнитных силовых линий пятна, определяющих собой форму и направление вытянутости гранул в полутени пятен, так как в полутени пятна перемещение газа фотосферы, являющегося в значительной степени ионизованным, возможно лишь вдоль магнитных силовых линий.

Главная астрономическая обсерватория
Академии наук СССР

Поступило
12 I 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Ганский, Изв. Главн. астр. обс., № 25 (1908). ² P. ten-Bruggencate, W. Grotrian, E. v. d. Pahlen, Z. f. Aph., 16, 51 (1938). ³ P. ten-Bruggencate, *ibid.*, 16, 374 (1938). ⁴ P. ten-Bruggencate, *ibid.*, 21, 198 (1942). ⁵ P. C. Keenan, Ap. J., 89, 604 (1939).