

А. Б. СЕВЕРНЫЙ

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ДВИЖЕНИЙ В СОЛНЕЧНЫХ ПРОТУБЕРАНЦАХ

(Представлено академиком Г. А. Шайном 5 XI 1951)

Поражающее при непосредственных наблюдениях обилие и разнообразие форм и метаморфоз протуберанцев при попытке классифицировать их, базируясь лишь на этих внешних признаках, привело к современной классификации протуберанцев на 18 типов (1). Возникновение подобной, лишенной физической основы классификации обусловлено тем, что лишь недавно открылись возможности непрерывной кино-регистрации движений в протуберанцах с помощью узкополосных интерференционно-поляризационных фильтров, ускорившей по меньшей мере в 50 раз процесс регистрации.

Непрерывная кинорегистрация изменений протуберанцев с 1948 г. с помощью таких фильтров с полосами пропускания в 1,8 и 2,5 Å* для линии H_{α} водорода (см. (2)) позволила получить обильный материал для детального исследования изменений в протуберанцах и для составления кинофильма, аналогичного фильмам Лио и Робертса. Результаты исследования (по кинофильмам) колебаний свечения в протуберанцах в связи с их движениями были недавно опубликованы (3). В настоящей статье мы кратко сообщаем основные результаты исследования движений в протуберанцах по изменениям кинолент с 1948 по 1950 г. (отчасти и 1951 г.). В некоторых случаях измерениям сопутствовали измерения лучевых скоростей протуберанцев, а также кинорегистрация изменений темных волокон, когда протуберанцы, по мере вращения Солнца, начинали проектироваться на диск Солнца. Несмотря на разнообразие форм и метаморфоз, в протуберанцах наметились три основных типа движений, которыми можно определять вид протуберанца в зависимости от преобладающего типа движения.

Второй тип (по нашему обозначению) наиболее многочисленных движений — это вполне упорядоченные, ускоренные или замедленные движения отдельных узлов, струй, облаков в протуберанце вдоль искривленных траекторий, имеющих начало и конец как на поверхности Солнца, так и на отдельных облакообразных выступах. Эти движения характерны для протуберанцев так называемых классов солнечных пятен (III_a, III_b, III_c), квазиэруптивных (II_a), активных (I_a, I_b, I_c), корональных облаков (III_f, III_g) и возвратных выбросов (III_d, III_e, III_e), согласно морфологической классификации Петита (4). Внешне эти траектории крайне похожи на отдельные силовые линии магнитных полей, рассматриваемых под различными углами зрения в пространстве. На рис. 1 (II_a и II_c) представлены характерные для II типа траектории — копии следов узлов протуберанца на экране кинопроектора. На рис. 2 (II) (см. вклейку) — фотография протуберанца такого типа — 5 VIII 1951 г. Движения вдоль таких траекторий почти всегда ускоренные или замедленные, со скоростями, изменяющимися постепенно в пределах, как правило, от нескольких десятков до 100 км/сек (редко до 300 км/сек). Зависимость длины дуги траектории для некоторых узлов и струй, для протуберанцев II_a и II_c представлена на рис. II_b и II_d . Ни в одном из измеренных нами протуберанцах II типа

* А за последнее время также с полосой 0,5 Å.

не имелось оснований считать, что скорость меняется скачком, как это находил Петит (4)*. Высоты над поверхностью Солнца, достигаемые движущимися узлами и струями, доходят здесь до сотен тысяч километ-

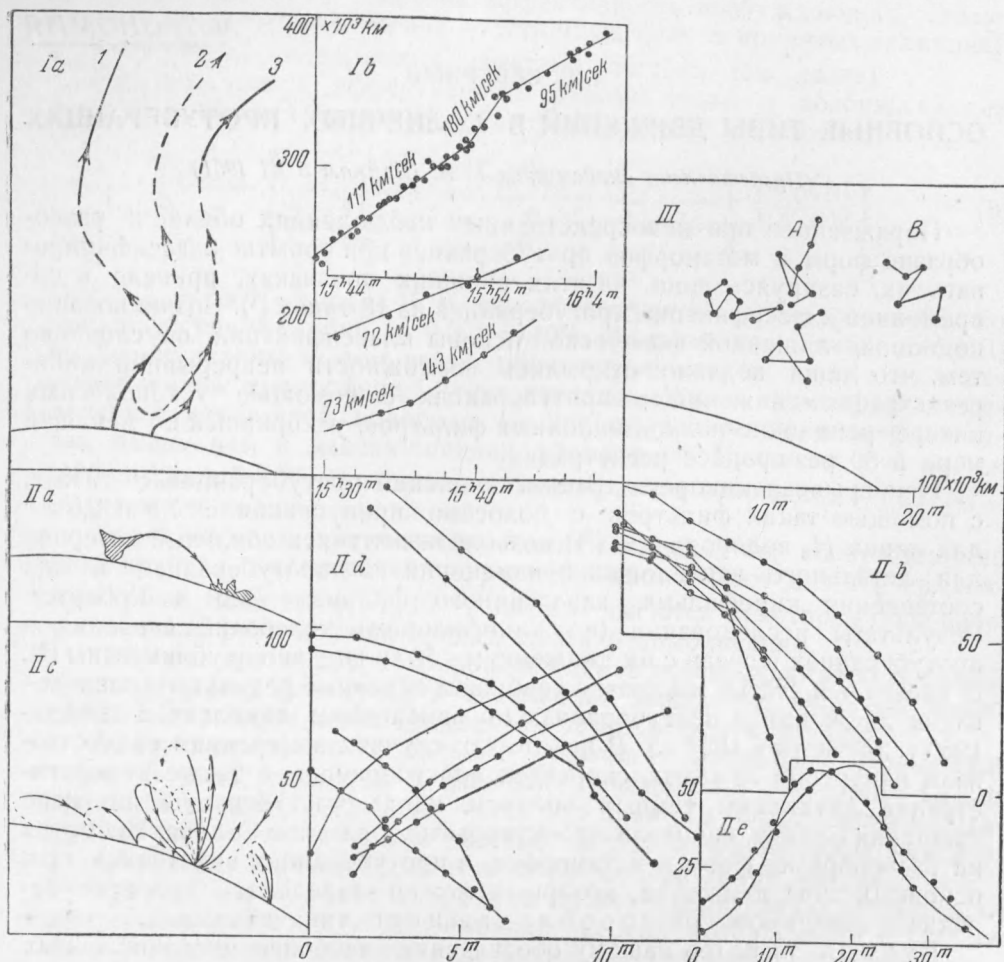


Рис. 1. Основные типы движений в протуберанцах: Ia — вид траекторий для трех характерных протуберанцев I типа (эруптивные): 1 — протуберанец 25 X 1950, 2 и 3 — протуберанцы 27 X 1948 и 13 VIII 1949 г., соответственно. Ib — зависимость высота—скорость для протуберанца 13 VIII 1949. IIa, IIc — характерные траектории узлов в протуберанцах II типа (электромагнитные): протуберанцы 8 VIII 1949 и 7 VIII 1949, соответственно. IIb и IId, IIe — длина дуги траектории в функции времени для некоторых узлов протуберанцев IIa и IIc, соответственно. III — характерные траектории узлов и облаков в протуберанцах III типа (турбулентные): протуберанец 11 VIII 1949 (траектории A) и протуберанец 11 X 1950 (траектория B). Пунктиром обозначены части траекторий, лежащие ниже картинной плоскости, сплошной линией — части траекторий, лежащие или выше или в самой картинной плоскости

ров; в наивысших точках (возможно, «возврата») узел и струя часто гаснут, отчасти благодаря большой лучевой скорости, отчасти из-за ослабления свечения (возможно, благодаря увеличению кинетической температуры и усилению ионизации при прохождении внешней короны, см. (3)). При «возвращении» узлов из короны на поверхность они разгораются и появляются как «коронально-ленточные» (класса VI, класса III_a по

* Статистическая переработка графиков Петита, выполненная Хэлмом (5), также показала несостоятельность этого вывода Петита.

Петиту). Так называемые возвратные выбросы (surges), часто возникающие над хромосферными вспышками (класс III_a , III_d), — это протуберанцы, принадлежащие к этому же типу II и представляющие собой струи, не способные оторваться от края протуберанца или очага активности на поверхности Солнца, раздробиться на отдельные узлы и описать полную петлю, а потому возвращающиеся назад по той же траектории. На рис. 1 (*IIc*) представлены зависимости искривленной длины таких возвратных выбросов от времени для протуберанца II. Такие выбросы иногда способны раздробиться на узлы (при быстром спуске). Оторвавшиеся узлы летят в направлении выброса (класс III_e).

К этому же II типу относятся движения между так называемым корональным облаком и поверхностью Солнца или вышележащей короной (классы III_f , III_g), однако здесь кривизна траекторий, как правило, невелика, а скорости почти равномерны.

В проекции на диск протуберанцы II типа образуют сравнительно небольшие темные (иногда светлые) волокна, быстро меняющие свой вид и положение. Различие между протуберанцами коронального типа, активными и солнечными пятнами, входящими согласно нашему кинематическому признаку во II тип, скорее количественное (кривизна траекторий и ускорение, возрастающие по мере перехода от первого типа к последнему); однако резкой границы здесь нет, особенно если учесть влияние наклона плоскости траекторий к лучу зрения. Для всех этих протуберанцев II типа характерно наличие поля сил большей или меньшей интенсивности, скорее всего электромагнитной природы, заставляющего куски ионизированной плазмы протуберанца двигаться вдоль определенных траекторий. То, что эти движения суть реальные движения светящихся газов, а не следы прохождения источников возбуждения свечения, доказывается наличием доплеровского смещения линий при движениях протуберанцев (с теми же значениями скорости).

Третий тип движений, столь же многочисленных, как и II типа, точнее, изменений в протуберанцах — это неупорядоченные движения отдельных узлов, облаков и струй (как бы свилей), а также изменения формы и структуры, которые имеют исключительное сходство с метаморфозами земных облаков или дыма, стелящегося по шероховатой поверхности: светящееся облако слегка пошатывается в целом, поднимается, опускается, в облаке то возникают, то исчезают отдельные узлы, облака и ветви (свилей), которые то сжимаются, то растягиваются, двигаясь медленно и изгибаясь самым неупорядоченным образом. На рис. 1 (*III*) — типичные траектории некоторых таких узлов. Такие метаморфозы, подчас крайне медленные — длящиеся часами и днями, свойственны так называемым спокойным протуберанцам (класс V Петита), а также заметны в более спокойных частях протуберанцев II типа, удаленных или защищенных от действия поля сил, где они протекают быстрее. Скорости здесь умеренные — десятки км/сек. Эти протуберанцы, часто очень большие (высота до 100 тыс. км, см. рис. 2 (*III*), протуберанец от 9 V 1951), имеют вид дерева, заросли кустарника или облака, иногда же вид длинной струи дыма, располагающейся чаще всего под небольшим наклоном к поверхности Солнца, иногда образующей арку и (реже) стоящей вертикально (протуберанцы типа торнадо, класс IV_a и IV_b по Петиту). В проекции на диск эти протуберанцы видны как длинные (достигающие радиуса Солнца) волокна, сохраняющиеся иногда в течение целого оборота Солнца. Существенным является наличие у некоторых протуберанцев III типа также вращательного движения протуберанца в целом. Этот факт, насколько нам известно, был отмечен до сих пор только для протуберанцев типа торнадо.

По форме и метаморфозам в стадии, предшествующей развитию, к протуберанцам III типа близко примыкают сравнительно редкие

протуберанцы типа I, так называемые эруптивные, движение которых при их последующем развитии настолько специфично, что его необходимо выделить в отдельный тип. В течение часов и даже дней такой протуберанец почти неотличим от протуберанцев III типа и имеет вид облака или часто длинной струи дыма в форме арки с весьма слабой активностью, характерной для III типа. Развитие начинается с увеличения лучевых скоростей движения, главным образом, у основания протуберанца (в частности, возникает вращательное движение или вращение и поднятие одного из оснований арки). Большая часть массы сначала медленно, а затем быстрее поднимается, растягиваясь при подъеме или в одном (поднимающемся) конце, или (реже) сохраняя форму арки, причем разные части протуберанца движутся почти равномерно с разными скоростями, испытывая внезапные изменения (чаще всего увеличения) скорости, достигающей здесь 700 км/сек. Движение основных масс — весьма специфичное, на первый взгляд почти радиальное, а при более внимательном рассмотрении, это в большинстве случаев движение по навивающейся на конусообразную изогнутую трубку спирали, с чрезвычайно резко и непрерывно возрастающим шагом (см. рис. 1, *Ia*). На достаточно большой высоте (начиная с ~ 100 тыс. км) от протуберанца отделяются куски, падающие вниз вдоль определенных траекторий, характерных для протуберанцев II типа (корональные узлы и ленты). Оставшаяся у поверхности Солнца масса протуберанца обладает иногда выраженным вращением. На рис. 1 (*Ib*) показана типичная зависимость высота — время узлов такого протуберанца, а на рис. 2 (*I*) — фотография типичного эруптивного протуберанца. Наши наблюдения подтверждают 1-й закон Петита (⁴) о внезапных изменениях скорости, но ни в одном из случаев не подтвердили 2-й его закон о кратности скоростей при таком движении, что согласуется с критикой этого закона Хэлмом (⁵).

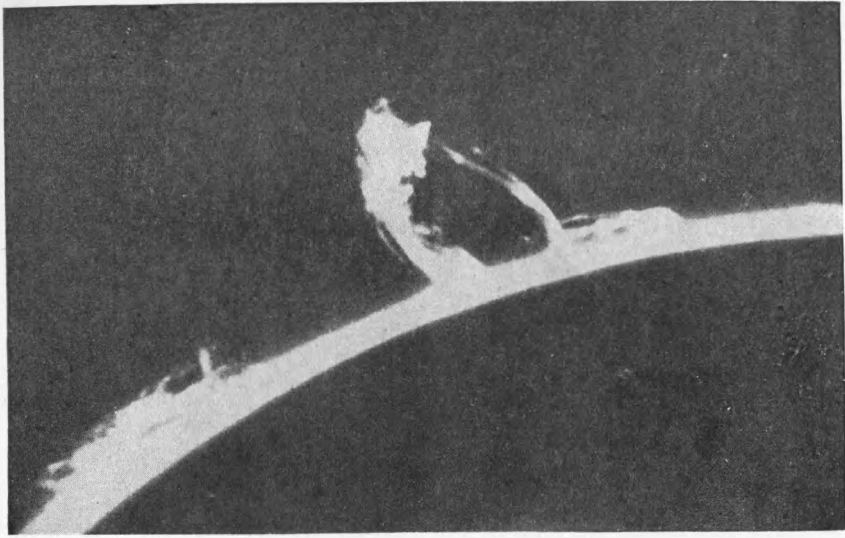
О природе наблюдаемых нами трех типов движения можно пока делать лишь более или менее вероятные предположения. Трудно отказаться от предположения об электромагнитной природе движений II типа, особенно если учесть, что: 1) проводимость вдоль силовых линий магнитного поля в хромосфере и короне значительно выше, нежели в других направлениях (^{6,7}) и 2) траектории II типа имеют исключительное сходство с силовыми линиями магнитных полей. Поэтому протуберанцы II типа мы пока что условно называем «электромагнитными». Наряду с этим во всех протуберанцах в той или иной мере, а особенно вдали от электромагнитных полей, должно быть выражено то турбулентное движение различных масштабов (включая и вихри), которым охвачена солнечная атмосфера в целом («хаотические» протуберанцы). Наиболее загадочно явление эруптивных протуберанцев, так как давление излучения, как правило, недостаточно для таких выбросов. Не исключая, однако, возможности аномального действия давления излучения, следует отметить в этом случае большое сходство траекторий I типа с траекториями электронов в поле одиночного магнитного заряда. Интересно также отметить сопровождающие эти выбросы всплески радиоизлучения на длинных волнах (~ 200 Mc) (⁸).

Крымская астрофизическая обсерватория
Академии наук СССР

Поступило
16 X 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ E. Pettit, *Aph. Journ.*, **98**, 309 (1943). ² А. Б. Северный и А. Б. Гильварг, *Изв. Крымск. астрофиз. обсерв.*, **4**, 1 (1949); **6**, 45 (1950). ³ А. Б. Северный, *ДАН*, **53**, 475 (1950). ⁴ E. Pettit, *Aph. Journ.*, **84**, 351 (1936); **85**, 87 (1937). ⁵ H. Hulme, *M. N.*, **99** (1939). ⁶ T. Cowling, *Proc. Roy. Soc. (A)*, **183**, 453 (1945). ⁷ H. Alfvén, *Coll. Intern. Centre Nat. Rech. Sc.*, IX, Lyon (1947). ⁸ R. Donselman and H. Dodson, *Aph. Journ.*, **113**, 519 (1951).



II



III



I

Рис. 2. Фотографии типичных протуберанцев I, II и III классов

К статье А. М. Шухтина, стр. 41

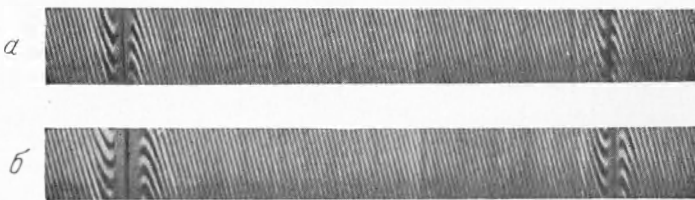


Рис. 1