

ШИРОТНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛНОЙ ЭМИССИИ И ПОЛУШИРИНЫ КОРОНАЛЬНОЙ ЛИНИИ Fe X λ 6374 Å

Н. Ф. ТЯГУН и В. Е. СТЕПАНОВ

СибИЗМИРАН, Иркутск, СССР

Abstract: A statistical treatment of the parameters of 1715 profiles was carried out on the basis of red coronal line spectra obtained with 1 Å/mm dispersion on the different heliolatitudes in 1970. The curves of a total intensities of a half-widths and of a line of sight velocity dispersion are constructed in relationship of the heliolatitude.

The intensity curve agrees with Waldmeier's results.

The run of the half-widths shows the minimum within the active latitudes (15°) and the maximum at the latitude 45° . The half-widths in polar regions are greater than in the equatorial ones. The distribution of a line sight velocity dispersion along the latitude is almost symmetric curve with the maximum for 45° .

This follows from the analysis of the curves:

1. The line broadening is caused by the movements but not the temperature.

2. The best conditions for the development of different movements are on the 45° latitude. The large-scale movements prevail on these latitudes.

3. Turbulent velocities obtained from the half-widths according to the ionization theory with regard for a di-electronic recombination and without this regard are equal 0.100—0.150 and 15—20 km/sec correspondingly.

4. An inverse dependence between the half-widths and the equivalent widths is typical one for the corona. It is firmly expressed at the 0— 45° latitudes.

5. The intensity increase for the polar and active latitudes is caused by the rise of an electron density and its inhomogeneity measure.

Введение

Исследование запрещенных линий короны показало, что их можно разделить соответственно потенциалам ионизации χ на три класса [1, 2, 3]:

I класс $230 < \chi < 275$ ev

II класс $300 < \chi < 425$ ev

III класс $450 < \chi < 821$ ev

Исследуемая нами линия Fe X λ 6374 Å принадлежит к I классу. Этот класс мало связан с активными образованиями на Солнце и наблюдается на всех гелиографических широтах. Линии II и III классов более тесно связаны с активными образованиями, пятнами, петельными протуберанцами и вспышками.

Появление запрещенных линий II и III класса требует высокой температуры, порядка $4 \cdot 10^6$ °K и, т.к. некоторые элементы, дающие эти линии мало обильны на Солнце, делается вывод о том, что рост температуры ионизации и возбуждения, а также рост напряженности магнитного поля в короне всегда приводит к росту плотности вещества [4, 5]. Поскольку

вид короны (в белом свете) и поведение линий излучения тесно связаны с развитием активных областей, некоторыми авторами делается вывод о бессмысленности исследований широтных распределений параметров, характеризующих корональные линии [4]. Однако серией работ, выполненных Вальдмайером [6, 7, 8], показано, что широтное распределение яркости короны тесно связано не только с активными образованиями. Им обнаружены две области зональной структуры короны, отчетливо наблюдающиеся в линии Fe XIV λ 5303 Å. Главная зона находится в области низких широт над зоной факелов и пятен, и ее интенсивность и смещение по широте тесно связано с активностью солнечных пятен и их миграцией к экватору. На высоких широтах проявляется вторичный максимум яркости короны. Он появляется на широте $\varphi = \pm 60^\circ$ вскоре после максимума активности Солнца и остается на этой широте в течение всего периода нисходящей ветви 11-летнего цикла. С началом нового цикла эта полярная зона короны перемещается к полюсу и достигает его в максимуме солнечной активности. Между главной и полярной зоной короны имеется минимум,

который на среднегодовых кривых яркости короны находится на широтах 50—55°. Как указывает автор, полярная зона более отчетливо выделяется в отдельные дни, чем за год в среднем. Следует отметить, что по среднегодовым кривым яркости красной короны нельзя сделать вывод о миграции полярной зоны короны. Если для зеленой короны минимум между главной и полярной зонами на среднегодовых кривых яркости для *S* и *N* полушарий за 12 лет наблюдений проявляется отчетливо в 10 случаях (из 24), то для красной линии он проявляется в 7 случаях и менее отчетливо. Главные и полярные зоны и их миграции также обнаружены по наблюдениям электронной плотности на К-короннометре [12].

Настоящая работа посвящена широтному распределению эквивалентных ширин w и полуширин $\Delta\lambda$ корональной линии Fe X λ 6374 Å в период нисходящей ветви активности Солнца, когда вспомогательный максимум интенсивности короны в зеленой линии (по Вальдмайеру) сохраняет свое положение на широте $\varphi = 60^\circ$.

Материал наблюдений

В работе использовано 1714 контура линии Fe X λ 6374 Å, примерно равномерно распре-

деленных по всем гелиоширотам. Контурные исправлены за ширину входной щели спектрографа, равную 0,20 Å. Спектры снимались с кривой входной щелью, охватывающей интервал широт 50° в среднем на высоте 20" от края Солнца. Диаметр изображения Солнца на входной щели равен 130 мм (во вторичном фокусе большого коронографа [9] с диаметром объектива 530 мм). Фокусное расстояние коллиматора и камеры спектрографа равно 8 метрам. Спектры фотографировались на пластинки Rot Rapid с выдержкой 25—50 сек во II порядке дифракционной решетки с заштрихованной площадью 25 × 25 см. Дисперсия спектрографа изменялась в пределах 0,9896—0,9585 Å/мм в зависимости от положения штрихов решетки относительно вертикальной плоскости. Проявление производилось в проявителе Agfa-I. Наблюдательный материал получен в течение 1968, 1969, 1970, 1971 годов (см. табл. 1). Как мы видим из таблицы, основной материал получен в 1970 году (1135 контуров). Примеры контуров без исправления за ширину входной щели и без сглаживания представлены на рис. 1а, 1б. Подавляющее большинство контуров является симметричным и достаточно хорошо представляется кривой Гаусса. Однако среди контуров малой и средней интенсивности встречаются контуры, имеющие явно асимметричный вид (рис. 1б), который нельзя отнести

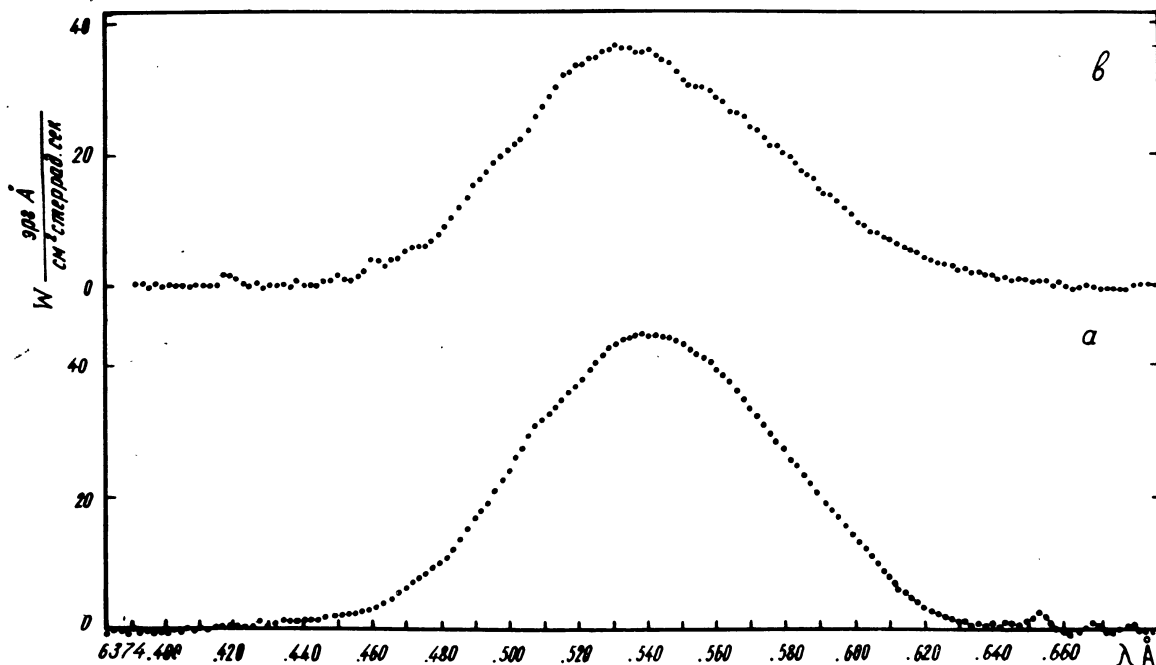


Рис. 1. а — симметричный контур линии λ 6374 Å; б — асимметричный контур линии λ 6374 Å.

Таблица 1

Дата	Позиционный угол ρ	Число разр.	Общее число за год
1	2	3	4
20.03 1968	83—90	4	
28.03	102—120	10	
	96—121	14	
	277—311	8	
	250, 254, 256	3	
	81—108	12	
30.03	250—286	17	
	173, 175, 196	3	
	106—108, 115—118,		
	122, 126, 133	8	
	55—70	9	
	319—357	11	
	273—298	8	
	221—256	19	
14.04	76—101	9	
	62,69, 92, 94	4	
	61—72	9	
	60—77	8	
16.04	62—72	12	168
25.06 1969	259—299	19	
9.08	139—170	14	
17.08	208—253	22	
	9—41	19	
8.09	279—324	12	
9.09	246—290	25	
	66—112	26	
	2—20, 335—356	26	
	240—285	26	
	104—150	25	
10.09	2—25, 334—357	25	
15.09	72—116	23	
	253—299	25	287
25.06 1970	303—322	12	
30.06	163—207	21	
	3—12, 320—357	27	
	43—91	27	
	226—266	21	
	132—184	24	
	4, 6, 322—355	21	
	254—295	24	
	76—124	20	
1.07 1970	73—119	40	
	74—97	25	
	256—302	25	
	169—176, 187—215	21	
	3—41, 354—356	22	
	63—107	24	
	246—294	26	
	156—174, 185—204	23	
	3—25, 341—357	24	
3.07	160—175, 187—206	21	
	4—27, 343—357	23	
	24—72	25	
	208—254	26	
	294—248	43	
	67—111	25	

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
3.07	3—25, 338—355	26	
	32—77	32	
	219 265	23	
	298—344	38	
	118—163	23	
	173—221	26	
6.07	166—210	24	
	203—243	22	
	27—72	26	
	124—164	21	
	309—353	25	
	4—338	21	
	68—108	22	
	259—307	26	
20.09	22—67	26	
	204—250	21	
	101—140	22	
	293—332	38	
	7—18,5; 338—353	21	
	160—204	23	
	253—295	24	
	66—79, 91—109	18	1135
11.07 1971	199—246	49	
	37—83	50	
	291—336	25	124
Всего			1714

только за счет ошибок наблюдений. Чаще асимметричные контуры встречаются среди более слабых линий, когда нельзя с уверенностью сказать, что эта асимметрия является реальной. Сильные линии всегда симметричны.

Фотометрирование спектров проводилось через $\varphi = 1,5^\circ$ с шагом 0,02 мм. Поскольку точки фотометрирования для слабых контуров линий ложились не столь гладко, как показано на рис. 1а,б, мы при машинной обработке на ЭВМ БЭСМ-4 производили сглаживание методом скользящего среднего по 9 точкам, которое практически не искажало форму контура. При сглаживании отбраковывались отдельные точки, отклонения которых от среднесглаженного значения превышало 2σ (σ — среднее квадратическое отклонение). На рис. 2а,б в качестве примера приведены распределения величины эквивалентных ширин линий вдоль лимба Солнца (сплошная кривая, относительные единицы) и полуширин линий (пунктирная кривая), исправленных за ширину входной щели спектрографа (за 6. 07. 1970 г. и 20. 09. 1970 г.).

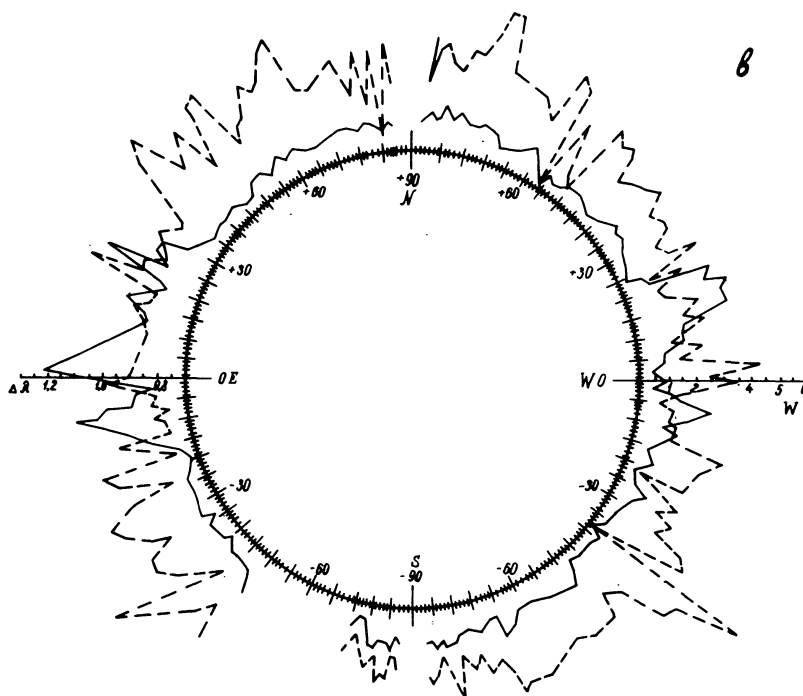
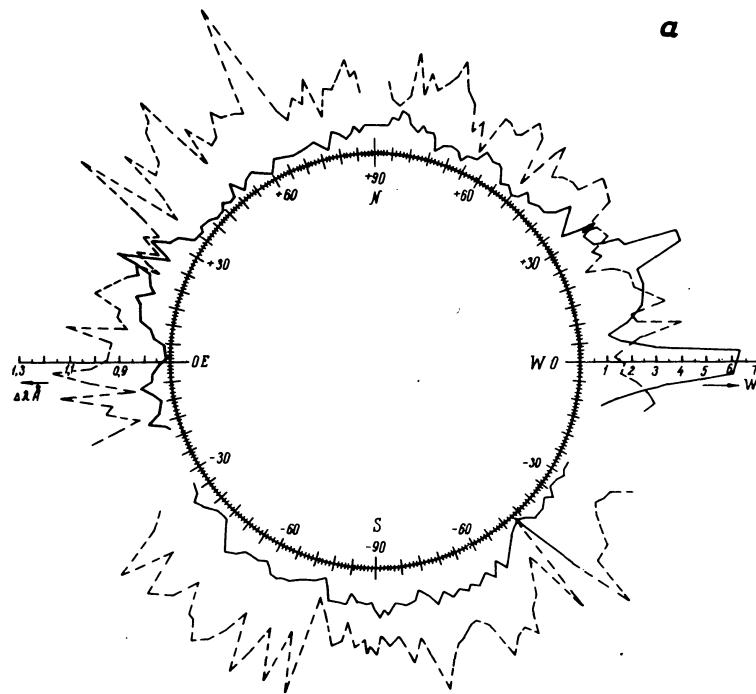


Рис. 2. Распределение вдоль лимба Солнца w (относительные единицы) и $\Delta\lambda$ (в Å) для λ 6374 Å. а - за 6.07.1970 г.; б - за 20.09. 1970г.

Результаты

На рис. 3 и рис. 4 на фоне отдельных наблюдений, показанных темными точками, представлены кривые распределения соответственно эквивалентных ширин w и полуширин линии $\Delta\lambda$ в зависимости от гелиографической широты для северного и южного полушарий Солнца. Кривые проведены по равновесным точкам, представляющим средние значения па-

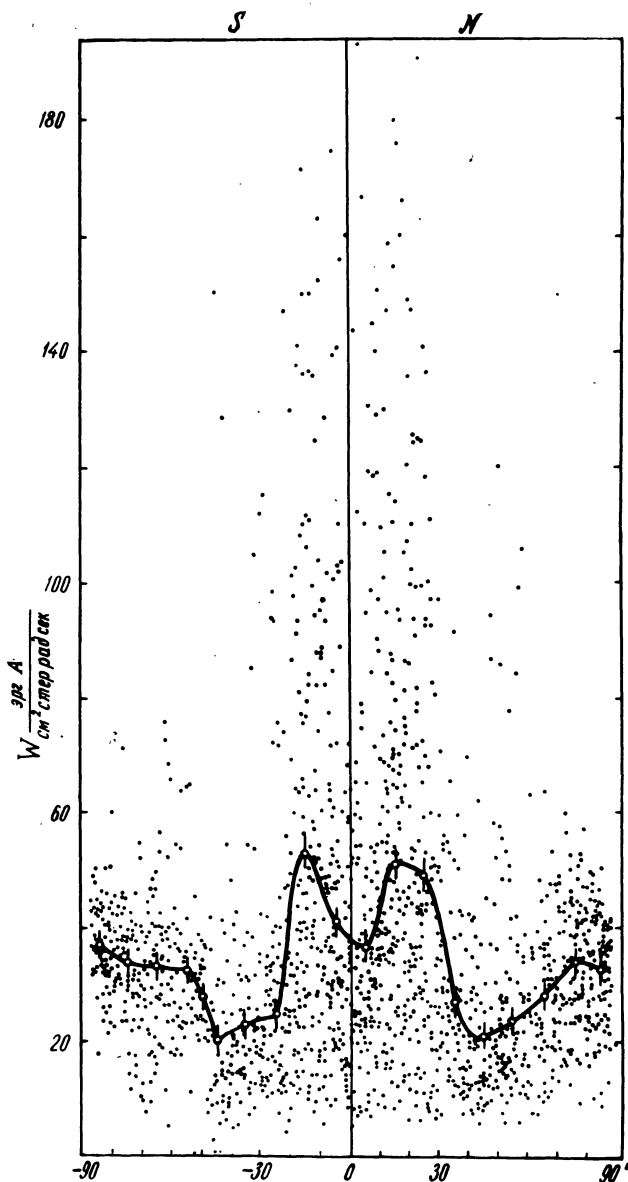


Рис. 3. Распределение эквивалентных ширин линии λ 6374 Å для N и S полушар Солнца в зависимости от гелиографической широты.

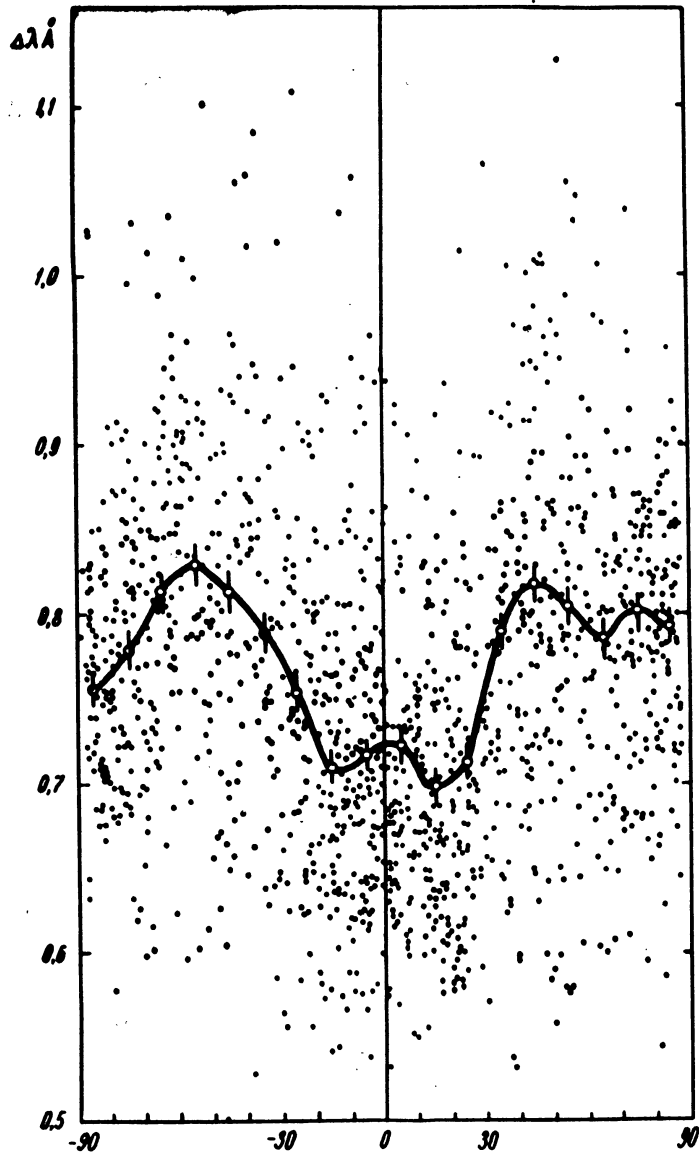
раметров в каждом интервале широт, равном 10° , с отбраковкой наблюдений, отклонение которых от среднего значения для данного интервала превышало 3Σ (Σ – среднее квадратическое отклонение).

Как видим из рис. 3, в активной области ($|\varphi| < 30^\circ$) эквивалентные ширины в среднем больше для северного, более активного, полушария Солнца, а для широт $|\varphi| > 60^\circ$ они больше для южного полушария. В этом наш результат отличается от результатов Вальдмайера [8], в которых красная корона в среднем для всех широт более активна в полусфере, где пятен и факелов меньше. Главный максимум эквивалентных ширин в северном полушарии находится на $\varphi = 20^\circ$, а в южном – на $\varphi = -15^\circ$. Минимум эквивалентных ширин имеется на экваторе и более глубокий – на широтах $\varphi = \pm 45^\circ$. От этого глубокого минимума величина непрерывно возрастает к полюсам, почти достигая её величины на экваторе. Следует отметить очень большой разброс в области активных широт, что вызвано наличием ярких образований в короне.

Кривая распределения полуширин для северного и южного полушария Солнца в зависимости от гелиографической широты является почти зеркальным отображением кривой распределения эквивалентных ширин. Резко выделяются главные максимумы на широтах $\varphi = +45^\circ$ и $\varphi = -55^\circ$ и второстепенный максимум на экваторе. Наиболее удивительным и интересным является появление глубокого минимума в полуширинах линий на широтах $\varphi = \pm 15^\circ$, т.е. там, где эквивалентные ширины линий достигают своего наибольшего значения. Далее, если в южном полушарии имеет место довольно значительное уменьшение $\Delta\lambda$ к полюсу, то для северного полушария $\Delta\lambda$ уменьшается незначительно.

На рис. 5a,b,c даны соответственно распределения эквивалентных ширин, полуширин линии и дисперсии скоростей в зависимости от φ , сведенные к одному квадранту. Каждая точка на графиках построена в среднем по 200 контурам линии λ 6374 Å, и поэтому кривые представляются очень надежными. Вертикальные отрезки на кривых характеризуют статистическую точность.

Распределение дисперсии лучевых скоростей в зависимости от гелиографической широты (см. рис. 5c) почти повторяет зависимость $\Delta\lambda$ от φ . Это распределение получено нами при



дальнейшем исследовании закона вращения короны Солнца по линии λ 6374 Å, предварительные результаты которого на меньшем материале были опубликованы [10]. Важно, что появляется вторичный максимум в дисперсии скоростей в области экватора, где точность определения положения линии (центра тяжести контура) достаточно высока. С увеличением широты к полюсам дисперсия резко уменьшается. Наилучшая точность при определении «центра тяжести» для единичного контура составляет ± 47 м/сек., т.е. примерно в два раза меньше, чем минимальная средняя величина дисперсии, определяемая по 200 контурам. Естественно, что на этих кривых 5a,b отчетливо выявляются те же закономерности, которые

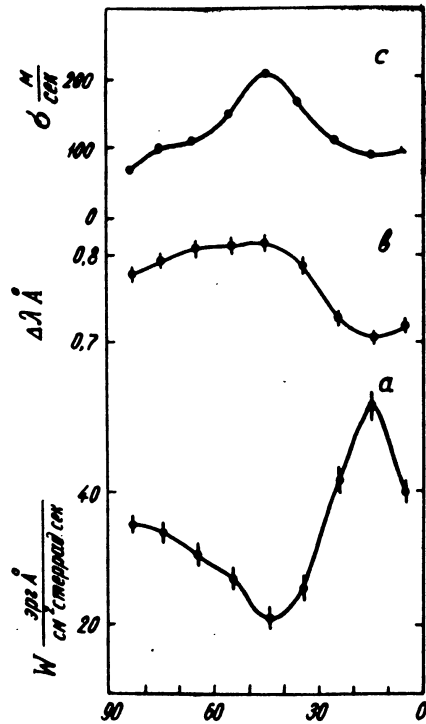


Рис. 5. Кривые широтного распределения: а — эквивалентные ширины; б — полуширины; в — дисперсии лучевых скоростей для линии λ 6374 Å. Проведено усреднение для одного квадранта.

Рис. 4. Распределение полуширин линии λ 6374 Å для N и S полусфер Солнца в зависимости от географической широты.

мы описывали при иллюстрации рис. 3, 4. Эквивалентные ширины имеют главный максимум в области активных широт ($\varphi = 15^\circ$), и на этой же широте имеются главные минимумы в полуширинах и в дисперсии лучевых скоростей. В области $\varphi = 45^\circ$ эквивалентная ширина имеет глубокий минимум, и на этой же широте кривые полуширин и дисперсии скоростей имеют главный максимум. В области экватора эквивалентные ширины имеют второстепенный минимум, а остальные кривые (рис 5b,c) — вторичный максимум. К полюсу эквивалентная ширина непрерывно возрастает, почти достигая величины у экватора, а кривые дисперсии лучевых скоростей и полуширины постепенно снижаются.

Обсуждение результатов

Поскольку эквивалентная ширина контура линии определяется температурой, электронной плотностью и ее неоднородностью, степень которой выражается коэффициентом скважности, а полуширина линии – температурой, микротурбулентностью, волновым движением и направленным движением отдельных корональных образований, которые находятся на луче зрения, то рассмотрение широтного хода только эквивалентных ширин и полуширин не дает нам возможности произвести полную физическую диагностику состояния коронального вещества.

Мы имеем только два уравнения при наличии 6 параметров, которые также имеют, по-видимому, свое широтное распределение. Поэтому в настоящей работе мы можем высказать лишь качественные соображения о характере изменения с широтой некоторых физических параметров состояния вещества короны.

Корона в линии Fe X λ 6374 Å совершенно прозрачна, поэтому полная эмиссия в линии, полуширина, форма контура определяются физическими свойствами газа и кинематикой движения вдоль луча зрения. Чтобы определить состояние газа в отдельной точке, мы должны делать какие-либо геометрические предположения, например, об осевой или сферической симметрии. Естественно, что этот способ, который многими применялся, не позволит нам существенно приблизиться к познанию процессов, локально протекающих в короне.

Все предыдущие исследования физических свойств газа короны, которые основывались на изучении контуров корональных линий, всегда предполагали, что контур корональной линии очень близок к доплеровскому и симметричен [14]. Поэтому полуширина линии определялась как

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{c} \sqrt{\frac{2RT}{\mu} + v_1^2}, \quad (1)$$

где v_1 – турбулентная скорость. Пуск и эксплуатация нашего коронографа и построение контуров на более надежном материале показали, что, действительно, в большинстве случаев, как мы указали выше, контур линии соответствует доплеровскому и симметричен, однако

среди контуров со средней и низкой интенсивностью встречаются контуры явно асимметричные (см. рис. 1). Это обстоятельство указывает на неприменимость формулы (1). При интерпретации контуров мы должны учитывать движения отдельных находящихся на луче зрения элементов, расширяющих контур спектральной линии и делающих этот контур иногда асимметричным. Общее выражение для контура спектральной линии должно иметь вид:

$$f(\lambda, \lambda_0, \bar{T}, \bar{v}_1, \bar{v}_2) = \\ = c \int \int \int e^{-\left(\frac{\lambda - \lambda_0}{f(T, v_1, v_2)}\right)^2} P_0(T) P_1(v_1) P_2(v_2) dT dv_1 dv_2, \quad (2)$$

где P_i ($i = 0, 1, 2$) – функции, характеризующие распределения параметров T , v_1 , v_2 вдоль луча зрения. Естественно, при теоретическом построении контура мы должны знать функции P_i . Это задача, которую предстоит решать. Сейчас мы хотим подчеркнуть, что при интерпретации поведения полуширины линии короны с широтой мы должны учитывать кинематику корональных потоков, определяемую функцией распределения $P_2(v_2)$.

По-видимому, существуют следующие виды движений, определяющие форму и положение контура линии: 1) кинетическое движение ионов (ионная температура); 2) турбулентные и волновые движения весьма малых элементов (скорость v_1); 3) упорядоченное движение в отдельных корональных струях, наличие которого подтверждается существованием асимметричных контуров (скорость v_2) (размеры этих струй по современным представлениям порядка 10000 км); 4) крупномасштабное движение элементов с размерами 100000–600000 км. Первые три вида движений определяют форму контура корональной линии. Если в первом приближении считать, что третий вид движения имеет гауссовское распределение, то формулу (1) следует видоизменить так:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{c} \sqrt{\frac{2RT_{\text{ион.}}}{\mu} + v_1^2 + v_2^2}. \quad (3)$$

Четвертый вид – крупномасштабные движения смещают линию в целом. Так как в формиро-

вании линии участвуют все элементы газа, которые попадают на луч зрения протяженностью до 600 000 км, то, несмотря на наличие ступенчатых движений (v_2), мы наблюдаем в большинстве случаев симметричные контуры и, если имеет место смещение линии, то это означает, что имеются крупномасштабные движения в короне, размер элементов которых может достигать 600 000 км. Конечно, наличие элементов с выделяющейся большой электронной плотностью и соответствующей T_e даст значительный вклад в формирование линии и в этом случае мы можем получить либо асимметричную линию, либо симметричную, в зависимости от величины полной эмиссии этого образования. Следовательно, смещение линии в этом случае не будет определяться скоростью крупномасштабного движения, а будет в большей степени характеризовать v_2 для этого образования.

Из рис. 6с мы можем заключить, что крупномасштабные движения получают наибольшее развитие на широте 45° , и скорости этих движений в среднем равны 200 м/сек. На экваторе и вблизи полюсов скорости в два раза меньше. Полуширина линии также максимальна на широте $\varphi = 45^\circ$. Для того, чтобы объяснить расширение линии температурой, на основании теории ионизации с учетом автоионизации и диэлектронной рекомбинации [11] для $\Delta\lambda = 0,814 \text{ \AA}$ необходима $T = 1,8 \cdot 10^6 \text{ }^\circ\text{K}$. (Наименьшая полуширина, найденная нами среди 1714 контуров равна $0,520 \text{ \AA}$, которая соответствует $T = 0,75 \cdot 10^6 \text{ }^\circ\text{K}$). На этой широте $\varphi = 45^\circ$ имеет место минимальное свечение зеленой линии и не наблюдаются области короны со свечением желтой линии. Поэтому нет основания считать, что на этой широте T ионная выше, чем в активной области. Кроме того, хотя здесь и существуют фоновые магнитные поля, но напряженность этих полей значительно ниже, чем в активной области. Следовательно, можно полагать, что имеет место слабое развитие ступенчатых и волновых движений.

Поэтому на широтах в области 45° существуют условия, способствующие развитию турбулентных и крупномасштабных движений – зональных ветров, что связано с уменьшением средней напряженности магнитного поля, которая вызывает уменьшение электронной плотности, а следовательно, объясняет малую величину полной эмиссии (рис. 6а).

В зоне же активных широт ($\varphi = 15^\circ$) магнит-

ные поля пятен и факелов, создавая повышенные величины электронной плотности в короне [5], могут уменьшить развитие турбулентных движений, вызвать анизотропию в температурах ($T_1 < T_2$) и тем самым приводить к увеличению полной эмиссии в линии, несмотря на увеличение температуры ($T > 10^6$), и к резкому уменьшению полуширины $\Delta\lambda$. Здесь возможно сильное возрастание коэффициента скважности, что также приведет к увеличению полной эмиссии. В полярных областях также нет основания предполагать наличие высокой температуры, т.к. свечение зеленой линии в этой области очень ослаблено. Кроме того, многочисленные наблюдения ширитного распределения электронной плотности при помощи К-коронметра свидетельствуют о падении Ne к полюсам [12, 13]. Следовательно, увеличение полной эмиссии к полюсам связано с оптимизацией температуры, с увеличением скважности в Ne (наличие полярных щеточек), что может быть объяснено структурой магнитного поля, а также некоторым увеличением напряженности магнитного поля, вызванного миграцией полей из активных областей к полюсам, сметанием потоков магнитных полей на меньшие площади. Конечно, диссипация полей, погружение их в подфотосферные слои и вынос в межпланетное пространство может уменьшить влияние сокращения площади на увеличение напряженности. Однако наши наблюдения показывают, что все же эти три последних фактора не уничтожают влияние сокращения площади к полюсам и имеет место, по-видимому, небольшое преобладание напряженности поля в полярных областях по сравнению с напряженностью на более низких, но близких широтах. Вследствие этого одновременно мы наблюдаем небольшое уменьшение полуширин линий.

Уменьшение полной эмиссии и небольшое увеличение $\Delta\lambda$ в области экватора по сравнению с активными областями также объясняется относительным уменьшением магнитных полей и падением электронной концентрации.

Из сопоставления хода кривых w и $\Delta\lambda$ с широтой φ (см. рис. 5а,б) можно видеть, что с возрастанием эквивалентной ширины уменьшается полуширина линии. Как известно, в фотосфере всегда с увеличением w растет $\Delta\lambda$. В хромосфере условия более сложные и зависимость w от $\Delta\lambda$ определяется функцией источников.

На рис. 6 мы построили зависимость w от $\Delta\lambda$, используя графики рис. 6а и 6б. Мы видим, что эта зависимость различна для широт $\varphi < 45^\circ$ и $\varphi > 45^\circ$. Для $\varphi < 45^\circ$ имеет место более сильная обратная зависимость w от $\Delta\lambda$. Это наблюдаемое разветвление зависимости w от $\Delta\lambda$ для полярной области и королевской зоны можно обнаружить и на зависимостях σ от w и σ от $\Delta\lambda$ (см. рис. 5 а,б,с). Таким образом, эти области, дающие разные ветви с существенно отличающимися условиями образования линий, могут создать ложное представление о наличии истинной зависимости эквивалентной ширины от полуширины. Поэтому мы рассмотрели зависимость w от $\Delta\lambda$ внутри различных интервалов широт. Эти исследования показали, что, если в активной зоне имеется более четкая зависимость (см. рис. 7), то в полярной области этой зависимости не обнаружено, а начиная от $\varphi = 60^\circ$ к $\varphi = 20^\circ$ она

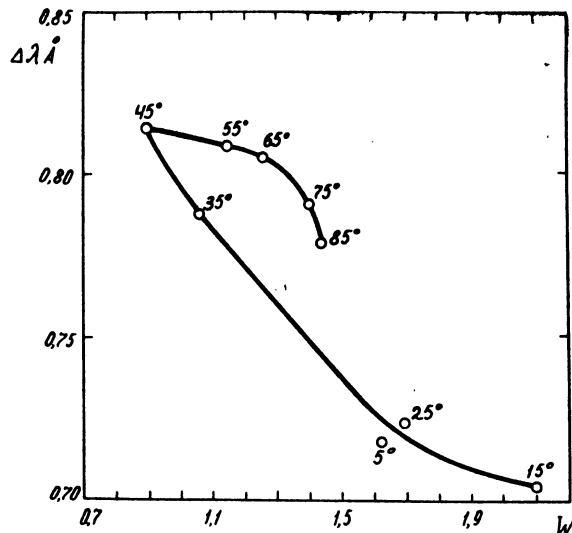


Рис. 7. Зависимость полуширины от эквивалентной ширины для линий $\lambda 6374 \text{ \AA}$ в интервале широт $\varphi = 15^\circ - 30^\circ$. Величины кружков соответствуют количеству данных, по которым получено среднее.

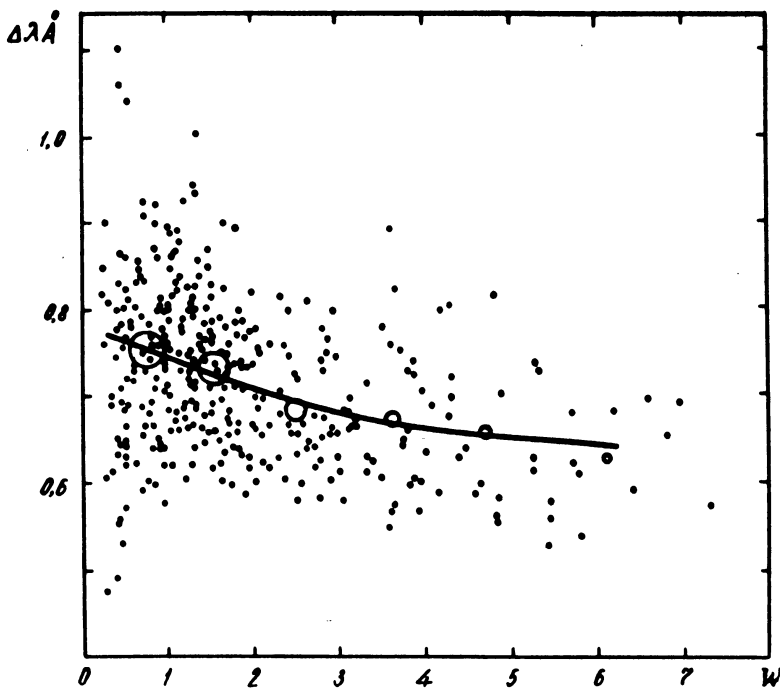


Рис. 6. Зависимость полуширины $\Delta\lambda$ от эквивалентной ширины для линии $\lambda 6374 \text{ \AA}$.

проявляется все более отчетливо и на экваторе вновь слабо выражена. Во всяком случае мы можем уверенно заключить, что, за исключением полярной области, везде имеет место увеличение эквивалентной ширины с уменьшением полуширины линии.

Выводы

1. В области активных широт имеет место увеличение электронной концентрации N_e , возникающее вследствие нестационарных процессов, происходящих в фотосфере и хромос-

фере. Одновременно, по-видимому, увеличивается неоднородность в распределении N_e за счет появления тонкоструктурных элементов. Все это приводит к увеличению полной эмиссии в линии Fe X λ 6374 Å.

2. В этой же области имеет место минимальная полуширина красной линии короны, что объясняется угнетением турбулентных скоростей магнитными полями и, возможно, появлением анизотропии T.

3. Сравнительно высокая эмиссия линии в полярной области и уменьшение полуширины может быть объяснено оптимизацией температуры, увеличением скважности в N_e , структурой магнитного поля.

4. На широтах, близких к 45° , существуют условия, которые способствуют развитию различного вида движений: турбулизации элементов, а также развитию зональных движений крупного масштаба со средними скоростями 0,2 км/сек.

5. В короне контуры линии в большинстве

случаев симметричные, близкие к гауссовским кривым. Однако встречаются контуры асимметричные, которые свидетельствуют о том, что в образовании этих контуров существенную роль играют движения отдельных элементов коронального газа с размерами до 600 000 км.

6. Общей характеристикой для короны в среднем является уменьшение полуширины линии с возрастанием полной эмиссии.

7. Зависимости w от $\Delta\lambda$, σ от $\Delta\lambda$ и σ от w показывают, что имеют место различные ветви в закономерностях для полярной области ($|\varphi| > 45^\circ$) и для королевской зоны ($|\varphi| < 45^\circ$). Широта $\varphi = 45^\circ$ является критической в эквивалентных широтах, полуширинах и в дисперсии лучевых скоростей.

Известно также, что на этой широте вскоре после максимума возникают протуберанцы, которые впоследствии мигрируют к полюсам; эта же область является границей изменения фотосферной и подфотосферной циркуляции.

Литература

1. ШАЙТ, Г. А. (1947): Изв. КрАО, 1, 102.
2. ШАЙТ, Г. А. (1948): Изв. КрАО, 3, 64.
3. LYOT, B., DOLLFUS, A. (1953): Comp. Rend. Acad. Sci., 237, 885.
4. ЗИРИН, Г. (1969): Солнечная атмосфера. Москва, Мир.
5. NEWKIRK, I. (1972): Solar Wind, NASA SP-308, 11.
6. WALDMEIER, M. (1947): Z. Astrophys., 21, 85—96.
7. WALDMEIER, M. (1965): Astron. Mitt., Zürich. No. 284.
8. WALDMEIER, M. (1971): Astron. Mitt., Zürich, No. 301.
9. НИКОЛЬСКИЙ, Г. и САЗАНОВ, А. (1966): Астрон. Ж., 43, 868.
10. STEPANOV, V. E., TYAGUN, N. F. (1971): In: R. Howard (Ed.), Solar Magnetic Fields, p. 667. I.A.U. Symp. No. 43. Paris 1970.
11. JORDAN, C. (1969): M. N., Vol. 142, No. 4, 501.
12. HANSEN, R. T., GARCIA, C. I., HANSEN, S. F., LOOMIS, H. G. (1969): Solar Phys., 7, 417.
13. Maps of the Sun, Fraunhofer Institute, Freiburg, 1969, 1970, 1971.
14. BILLINGS, D. E. (1962): A Guide to the Solar Corona. New York, Academic Press.