

GUMERSINDO SARMENTO DA COSTA LOBO

Doutor em Ciências Matemáticas  
e Assistente da Faculdade de Ciências da Universidade  
de Coimbra.

---

# Instrumentos espectroheliográficos e sua aplicação ao estudo da Atmosfera Solar



COIMBRA

IMPRESA DA UNIVERSIDADE

1933

Sala 5  
Gab. -  
Est. 55  
Tab. 20  
N.º 48

Sala 5  
Gab. —  
Est. 56  
Tab. 20  
N.º 48



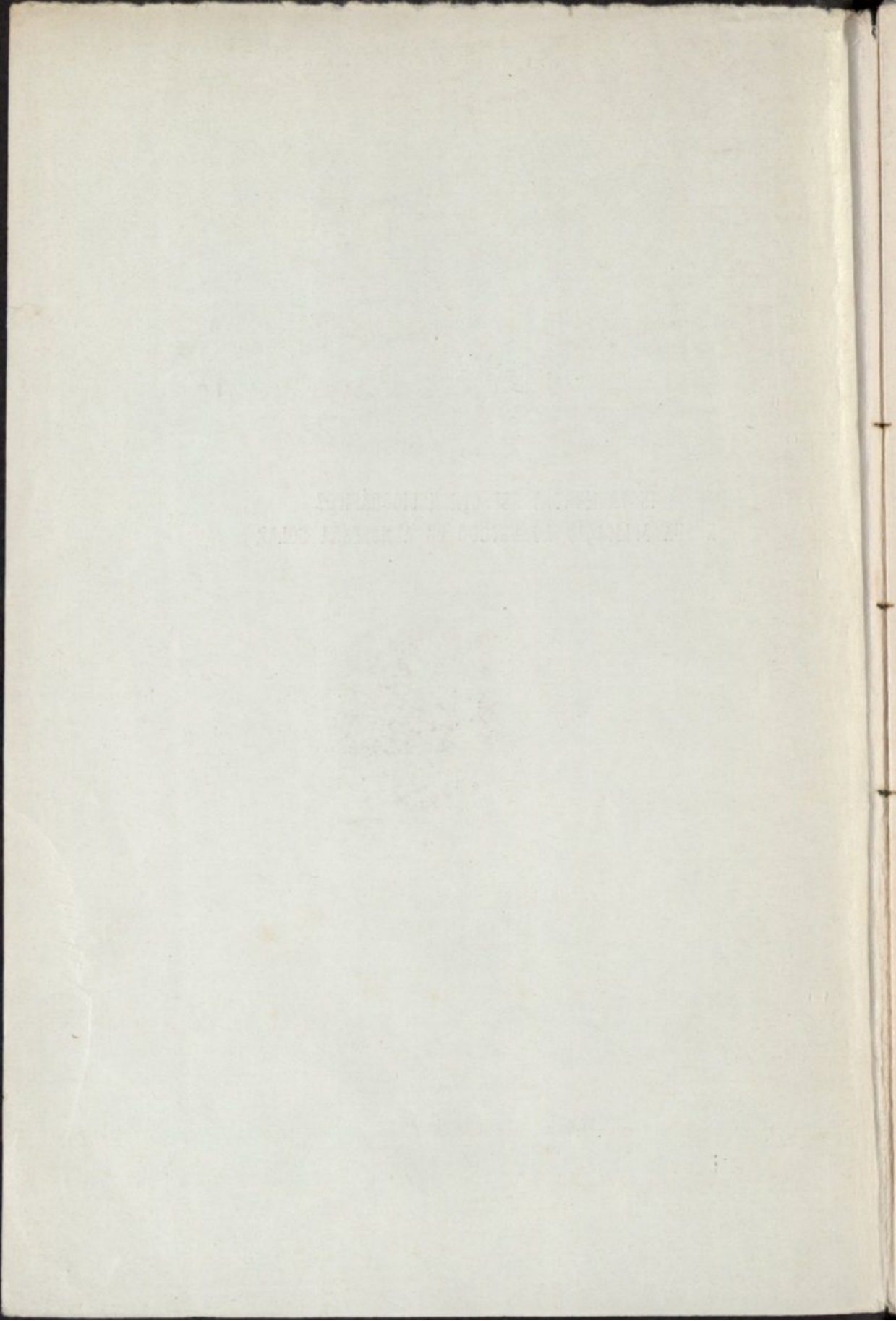
UNIVERSIDADE DE COIMBRA  
Biblioteca Geral



1301088458

INSTRUMENTOS ESPECTROHELIOGRÁFICOS  
E SUA APLICAÇÃO AO ESTUDO DA ATMOSFERA SOLAR







*Dissertação*

GUMERSINDO SARMENTO DA COSTA LOBO

Doutor em Ciências Matemáticas  
e Assistente da Faculdade de Ciências da Universidade  
de Coimbra

---

# Instrumentos espectroheliográficos e sua aplicação ao estudo da Atmosfera Solar



COIMBRA

IMPRESA DA UNIVERSIDADE

1933

UNIVERSIDADE DE COIMBRA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS

Instrumentos espectroscópicos  
e sua aplicação ao estudo da  
atmosfera solar

---

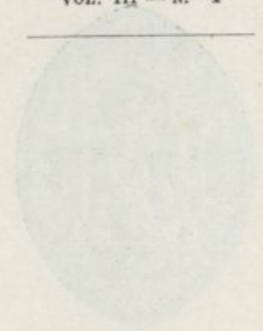
SEPARATA

DA

*Revista da Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra*

VOL. III — N.º 4

---



COIMBRA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Dissertação de concurso para professor  
auxiliar da 1.<sup>a</sup> Secção da Faculdade de  
Ciências da Universidade de Coimbra.



THE UNIVERSITY OF CHICAGO  
LIBRARY

## PREFÁCIO

Datam da época em que o uso das lunetas foi introduzido na astronomia, há pouco mais de três séculos, os primeiros estudos sôbre a constituição dos astros. Poucos progressos, porém, foram realizados neste sentido até ao momento em que se tornou possível aproveitar os trabalhos sôbre espectroscopia efectuados por Kirchoff em 1859.

Mas a partir de então, num período de cêrca de setenta anos, foi enorme o desenvolvimento adquirido por estas investigações, e um novo capítulo foi criado na ciência astronômica — a *Astrofísica*.

As investigações efectuadas até agora para o estudo do Sol demonstram a necessidade de uma observação contínua de todos os elementos da atmosfera solar. Sômente partindo de um estudo incessante de muitos anos poderemos conseguir as leis que regem os fenómenos solares e investigar a sua causa. No entanto, é certo que já têm sido obtidos resultados de grande importância mas, repito, tornam-se ainda necessários profundos estudos realizados durante um longo período para que a ciência astronômica possa estabelecer doutrina precisa sôbre os fenómenos solares e sôbre a correlação dêstes com os fenómenos que se passam na atmosfera terrestre, assunto da maior importância, tanto debaixo do ponto de vista da ciência pura, como dos resultados que podem ser obtidos de utilidade prática para a humanidade.

É de resto bem conhecida a grande importância que estas questões atingem debaixo de outro ponto de vista, pois que, além de fornecerem resultados qualitativos e quantitativos sôbre a constituição do Sol, conduzem também a conhecimentos que são de grande utilidade, e a bem dizer indispensáveis para o estudo das outras estrêlas. Ao mesmo tempo o conhecimento da estrutura dos corpos celestes contribui poderosamente para a

resolução do problema máximo da astronomia: a formação e constituição do Universo.

Os instrumentos mais importantes para o estudo da atmosfera do Sol são designados por espectroheliógrafos, aparelhos que exigem uma meticulosa instalação.

Um dos objectos d'este trabalho é dar conhecimento das condições a que estes instrumentos devem satisfazer, do seu aproveitamento, e dos principais resultados obtidos. Especialmente será neste sentido feito o estudo do grande espectroheliógrafo do Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra, e serão expostas algumas conclusões, que julgo podermos considerar já comprovadas.

Os pormenores, por vezes muito minuciosos, que se encontram neste trabalho são justificados porque resultam de estudo próprio.



## CAPÍTULO I

### Primeiras investigações solares — Aplicações das lunetas e da espectroscopia

Nas investigações astronómicas de que há notícia, efectuadas até ao século XVII, eram estudados os movimentos dos astros considerados de brilho constante e de forma circular perfeita, sem se inquirir da sua natureza. A grande distância a que se encontravam não permitia, mesmo à imaginação, sondar os corpos extralunares, como se lhes chamava, em oposição aos corpos sublunares da mesma natureza da terra. De facto, só depois da aplicação das lunetas à astronomia é que foi possível seguir alguns fenómenos mais de perto, e poudes aquela ciência tomar uma nova orientação, introduzindo ao mesmo tempo um maior rigor na parte dedicada ao estudo das posições.

As primeiras lunetas, destinadas somente a aproximar os objectos terrestres, foram fabricadas, cêrca de 1608, na Holanda. Galileu conta no *Nuncius Sidereus*, em Março de 1610, que tendo tido conhecimento desta invenção construiu uma luneta para a qual aproveitou as leis da refacção. Neste mesmo ano, além das descobertas dos quatro maiores satélites de Jupiter, das montanhas da Lua, das fases de Vênus, etc., Galileu descobre as manchas do Sol. Encontram-se é certo antigas referências a êste fenómeno, que realmente pode ser observado a olho nu, pois, como é sabido, muitas vezes a mancha atinge dimensões suficientes para ser observada sem auxilio de instrumentos.

Ao mesmo tempo J. Marius, na Alemanha, dirigia uma luneta para o céu. J. Fabricius fêz independentemente de Galileu, e na mesma ocasião, a descoberta das manchas. Também em 1611 Scheiner iniciou uma importante série de observações de manchas que foram publicadas na *Rosa Ursina*.

Galileu seguiu continuadamente as suas observações até que em 1612 ao comunicar os seus resultados ao Grão Duque Cossimo II anunciava:

«Annomi finalmente le continuaté osservazioni accertato, tali nacchie essere matérie contigue alla superficie del corpo solare, e quivi continuamente prodursene molte, e poi dissol versi, altre ni piu brevi ed altre in piu lunghi tempi, ed essere dalla conversione del sole in sé steoso, che in mese lunare in circa finisce il suo periodo, portate in giro; accidente persi grandissimo, e maggiore per le sue consequense».

Foi no entanto Galileu quem primeiro, já com precisão, consignou que as manchas faziam parte integrante do Sol, e lançou os fundamentos do estudo físico dêste astro. A par duma natural reacção contra estas ideas, visto que até então era o Sol considerado um corpo incorruptível e de forma perfeita, surgiram muitas discussões sobre a natureza das manchas e durante século e meio poucos foram os progressos realizados.

Galileu utilizou também o processo da projecção do Sol. O exame dos seus desenhos levou-o a atribuir o movimento das manchas à rotação do Sol, e para o máximo afastamento médio das manchas ao equador encontrou 30°. Foram também logo notadas por êle regiões em que o disco apresentava uma maior intensidade luminosa.

Talvez já com a intuição de que somente uma observação muito continuada permitiria interpretar os variadíssimos e desconexos resultados que apresentavam as observações, Scheiner, um dos primeiros que, como já dissemos, observou as manchas do Sol, reuniu um grande número de observações o que lhe permitiu indicar com grande aproximação o período do movimento de rotação do Sol e a posição do equador solar. Mas só mais tarde, nos meados do século XIX, é que Carrington deu a primeira demonstração rigorosa da variação da rotação com a latitude.

No século XVII começa a fazer-se uma interessante relação entre as fúculas e as manchas. Notou-se que aquelas envolvem os grupos de manchas e que permanecem no local onde as manchas desapareceram, e que a observação dêste fenómeno é mais nítida nos bordos do Sol. Mersier aproveitou muitas vezes as fúculas para prever a aparição das manchas que ainda não tinham entrado no disco do Sol.



A necessidade de uma observação mais geral do Sol começa a impor-se com as observações de W. Herschell que, munido de telescópios mais potentes, reconheceu o aspecto granuloso do Sol, fenómeno que mais tarde deu origem à designação de grãos de arroz. Procuraram logo os primeiros observadores investigar a natureza das manchas mas os métodos ao seu alcance eram muito rudimentares.

Algumas hipóteses: Galileu supoz que as manchas eram devidas a nuvens situadas em pontos elevados da atmosfera solar. Wilson nos fins do século XVIII considerou as manchas como cavidades existentes na superfície atendendo à sua configuração junto aos bordos do Sol. Herschel supunha que eram cavidades na superfície solar, as quais punham a descoberto a parte escura do globo sólido interior, e sugeriu que estas cavidades resultariam de erupções de gases que atravessando a atmosfera se misturavam às camadas superiores, dando-lhes a sua luminosidade.

Estas explicações eram completamente isentas do conhecimento do meio em que tinham lugar os fenómenos, em consequência das condições em que este estudo era feito. Por isso é interessante registar ainda que para W. Herschel em 1795, o globo solar, coberto por uma espessa camada de nuvens que o protegiam da intolerável radiação das regiões luminosas superiores, seria um sólido frio, obscuro, com montanhas e vales revestidos duma vegetação luxuriante e muito povoados. Como Wilson, atribuía as fúculas às eminências da fotosfera. Mais tarde seu filho John Herschel, impressionado pela disposição das manchas em duas regiões paralelas ao equador, comparou-as a ciclones atmosféricos que deslocando as camadas superiores brilhantes deixavam a descoberto o núcleo solar.

Schwabe, que fez uma longa série de observações, desde 1826 a 1869, foi levado à descoberta da periodicidade das manchas, e indicou o período de dez anos em 1843. Pouco depois de anunciado este resultado, os gráficos dos registos magnéticos, induziram à consideração de períodos semelhantes para estes fenómenos. Estes estudos marcam o ponto de partida da investigação da relação entre os fenómenos solares e muitos dos fenómenos que têm lugar na atmosfera terrestre. Os casos isolados, nem sempre eram concordantes o que demonstrou a necessidade dum estudo mais completo. Neste sentido são notáveis entre



outros os trabalhos de Secchi, Lockyer, Langley, sobre as manchas.

Faltavam, porém, novos processos que permitissem ampliar as observações até então circunscritas às manchas, as quais, com os recursos de que a ciência dispunha, representavam, por assim dizer, o único fenómeno que era possível estudar e que, por isso, adquiriu uma especial importância.

A diminuição da intensidade luminosa do Sol para a periferia fazia presumir a existência duma atmosfera no Sol, mas o estudo d'este fenómeno só pôde ser realizado depois da descoberta das riscas espectrais por Fraunhofer em 1814, e da sua explicação, dada por Kirchhoff em 1859, descobertas que trouxeram a estes estudos o poderosíssimo auxílio da análise espectral.

Os fenómenos luminosos que surgiam em volta da Lua nos eclipses totais do Sol, e que eram exclusivamente observados debaixo do ponto de vista da astronomia de posição, nalgumas referências que lhes são feitas até ao século XVIII, não eram relacionados com o Sol.

Em 1733 o astrónomo sueco Vassenius comunicou o aparecimento, num eclipse total do Sol daquele ano, de algumas pequenas nuvens inteiramente destacadas do limbo lunar, as quais supôs que flutuavam na atmosfera da Lua.

No relatório do Capitão Stannyan sobre o eclipse de 1706, observado em Berne, lê-se que a imersão do Sol foi precedida por um anel luminoso encarnado visível durante seis ou sete segundos no limbo oeste. O mesmo viram Haley e Louville em 1715. Os primeiros observadores, porém, estiveram muito tempo em desacordo sobre a natureza e proveniência d'estes fenómenos.

Enquanto uns faziam depender as protuberâncias da Lua, outros consideravam-as como simples ilusões de óptica. À coroa encontram-se referências mais antigas, mas sobre a sua origem existiam as mesmas dúvidas.

A observação do eclipse de Julho de 1842, para o qual se prepararam importantes missões de astrónomos levantou uma larga discussão, não só sobre a causa e localização das protuberâncias, mas também sobre a sua verdadeira existência. Desde então decidiram os astrónomos aproveitar os eclipses para o estudo físico do Sol, e a importância desta orientação ficou demonstrada com a aplicação da fotografia à astronomia.

A invenção da fotografia em 1839, por Daguerre, foi aplicada

ao Sol por Fiseau e Foucault em 1845 e, em 1857, Warren de la Rue, prosseguindo no seu aperfeiçoamento, organizou um aparelho chamado fotoheliógrafo para a fotografia diária do Sol, processo que desde então permitiu um registo precioso dos fenómenos solares. A fotografia foi aplicada pela primeira vez com sucesso por Warren de la Rue no eclipse de 18 de Julho de 1860, época em que ficou admitida a existência duma atmosfera no Sol.

Warren de la Rue fez uma série de fotografias com pequenos intervalos durante a totalidade. Assim ficou registado o desaparecimento sucessivo das protuberâncias de um lado e o aparecimento do outro, devido ao movimento da Lua, o que levou à conclusão de que estes fenómenos pertenciam ao Sol. Secchi também conseguiu fotografar este eclipse. Começava a patentear-se a importância da aplicação da fotografia à astronomia física. Pelo seu constante aperfeiçoamento a fotografia em breve principiou a fornecer os pormenores que não dava a observação visual, e em 1875 Janssen obteve grandes fotografias do Sol muito perfeitas, as quais continham inúmeros pormenores inéditos. Nestas fotografias o Sol apresenta-se coberto por uma granulação a que Janssen chamou «réseau photospherique». A comparação das fotografias, revelaram pelas diferenças notadas nos mesmos pontos da superfície solar, grandes movimentos nas diferentes regiões.

Aumentou desde então, como era natural, o interesse pelos eclipses totais e foram organisadas missões especialmente destinadas ao estudo físico do sol. A-pesar-da complexidade destes fenómenos e dos grandes intervalos com que são feitas estas observações, com os eclipses de 1868, 1869, 1871 conseguiram-se já alguns progressos importantes no estudo físico do Sol. As conclusões apresentadas por Secchi foram as seguintes:

1.º — As protuberâncias não constituem illusões de óptica, constituem um fenómeno real pertencente ao Sol.

2.º — As protuberâncias são massas de matéria luminosa cuja radiação possui uma grande acção química.

3.º — Algumas protuberâncias flutuam na atmosfera solar como as nuvens terrestres. As variações de forma operam-se tão gradualmente que são insensíveis no espaço de dez minutos.

4.º — Por baixo das protuberâncias há uma camada da mesma



substância luminosa que envolve o Sol e da qual se elevam as protuberâncias.

5.º — O número das protuberâncias é muito grande; com o auxilio duma luneta verifica-se que o Sol aparece rodeado de tantas chamas que nem se podem contar.

6.º — As protuberâncias atingem uma grande altura; uma delas tinha uma altura superior a dez diâmetros terrestres.

Ainda hoje nada teremos de alterar a este primeiro resumo de Secchi se atendermos a que as protuberâncias, sede de alterações rápidas, são fenómenos de curta duração e que no n.º 5 são incluídas as pequenas protuberâncias que pouco se elevam acima da cromosfera dissimuladas por toda ela. A esta parte da cromosfera exterior ao disco deu Airy em 1842 o nome de sierra.

Desde logo ocorreu a ideia de procurar uma disposição que, eliminando ou mesmo diminuindo a luz difusa que não permite ver a atmosfera do Sol, tornasse possível a sua observação fora da época dos eclipses totais para um exame mais seguido.

A observação do eclipse de 18 de Agosto de 1868, visível na Índia, conduziu, por sucessivas modificações, aos métodos espectroscópicos agora adoptados. Deve-se esta aplicação, como é sabido, à ideia que Janssen teve a seguir à observação deste eclipse, de que as riscas finas características dos vapores observados nas protuberâncias, por serem muito brilhantes, deveriam ser ainda visíveis depois do eclipse. Janssen, passado o eclipse, dirigiu de novo o seu espectroscópio para a mesma região do bordo solar e, como esperava, tornou a encontrar as riscas brilhantes que se destacavam com nitidez sobre o espectro da luz difusa do céu. Pelo estudo espectroscópico duma nova, em 1866, N. Lockyer teve também a ideia deste método e procurou as riscas brilhantes das protuberâncias em 1867. Mas por não dispor dum aparelho suficientemente potente e não estar certo da sua existência e localização, só depois do eclipse de 1868 as descobriu.

Faltava encontrar um processo prático para a observação. Em 1869, Janssen fez algumas tentativas para observar, sobre o resto da superfície solar, os fenómenos que pode tornar visíveis na periferia fora dos eclipses totais. Para conseguir este fim procurou isolar uma determinada radiação por meio duma



segunda fenda colocada num espectroscópio de visão directa, o qual por meio duma rotação em volta do eixo óptico deveria produzir uma imagem monocromática do Sol. Antes de ser dada realização a esta idea só era possível a observação das protuberâncias pela forma que vamos indicar.

A fenda onde incide o feixe de luz solar coloca-se nas posições sucessivas (1), (2), (3), (4), (5) e (6), fig. 1, e registam-se ao mesmo tempo os comprimentos correspondentes sôbre o papel, duma das riscas do espectro como mostra a figura.

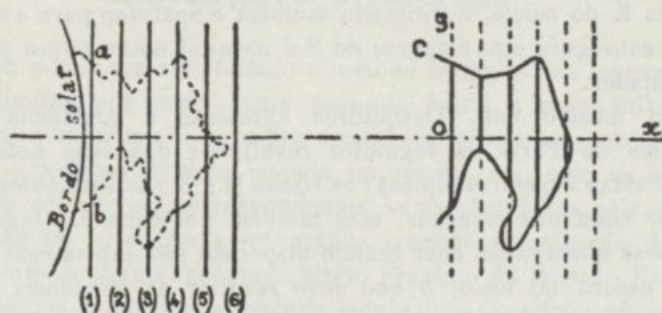


Fig. 1

Obtem-se o perfil da protuberância, mas sem pormenores, unindo por um traço contínuo as extremidades dos comprimentos marcados.

Com a disposição sugerida por Huggins e Zöllner, adoptou-se depois a fenda alargada, processo ainda hoje empregado para a observação visual.

Secchi iniciou logo observações diárias das protuberâncias, continuadas hoje de acôrdo com a organização feita pela União Internacional Astronómica.

Para efectuar a sua publicação Secchi e Tacchini fundaram em 1871 a *Societa degli Spettroscopisti Italiani*.

No entretanto foram registados alguns progressos na espectroscopia solar os quais haviam de tornar possível o registo fotográfico pelo método da fenda fina. A observação visual da cromosfera e das protuberâncias era realizada apenas na parte mais luminosa do espectro. Young em 1874 empregou pela primeira vez a fotografia para o registo das protuberâncias com a fenda larga, mas a nitidez era pequena e indicou já, nas

suas observações visuais, que as riscas H e K do cálcio se tornavam brilhantes no espectro das manchas e dos bordos. Braun em 1872 também preconizou um processo com a fenda fina análogo ao de Janssen, não chegando porém a realizá-lo.

Vários progressos realizados nas chapas fotográficas permitiram nesta ocasião um conhecimento mais completo do espectro.

Em 1891 H. Deslandres e Hale adoptaram então as riscas H e K do cálcio.

No observatório de Kenwoode de Chicago, Hale obteve em 1892 uma imagem monocromática das protuberâncias com a risca K do cálcio, e dirigindo também o aparelho para o disco solar conseguiu uma imagem do Sol na qual notou novas particularidades.

No mesmo ano, Deslandres apresenta à Academia das Ciências de Paris os seguintes resultados das suas notáveis descobertas espectroscópicas: as riscas H e K são brilhantes não só por cima das manchas, mas também por cima das fáculas; as riscas observadas com grande dispersão são duplas com uma risca escura no meio, o que deve resultar da existência dum vapor composto de duas camadas sobrepostas. A camada mais elevada emitirá radiações mais fracas e mais finas. As disposições propostas para o registo fotográfico das protuberâncias poderão aplicar-se também a estes novos vapores projectados sobre todo o disco solar.

Foram estes importantísimos estudos espectroscópicos que permitiram iniciar os trabalhos que conduziram à exequibilidade da fotografia da cromosfera solar, apenas dependentes desde esta data (1892) dos aperfeiçoamentos que ainda durante muitos anos obrigaram a resolver difficilimos problemas de ordem teórica e técnica.



## CAPÍTULO II

### Espectrógrafo e Cœlostato

Para poder ser aproveitado o método da fenda fina foi necessário limitar por meio duma segunda fenda a risca útil do espectro e imprimir à primeira fenda um movimento contínuo. Nestas condições a risca isolada impressionaria, com os seus aspectos sucessivos, correspondentes às secções feitas pela primeira fenda, uma chapa fotográfica igualmente animada dum movimento contínuo executado muito próximo da fenda. Estes instrumentos compõem-se essencialmente dum espectrógrafo com duas fendas, munido de mecanismos especiais que permitam obter os movimentos simultâneos acima indicados e ainda dum instrumento astronómico que forneça sobre a primeira fenda uma imagem fixa do sol.

Foram construídos instrumentos de potências muito diversas e muitas têm sido igualmente as disposições adoptadas para dar execução ao princípio exposto. A-pesar-disso podem todos ser incluídos numa das duas soluções gerais seguintes:

A primeira consiste em fixar a parte correspondente ao espectroheliógrafo atrás duma luneta astronómica montada paralacticamente. O instrumento desloca-se solidariamente com a luneta por meio dum movimento diurno. Por outro lado o espectrógrafo, munido das duas fendas, é susceptível dum movimento de translação e desloca-se lentamente por meio dum motor eléctrico diante da imagem do Sol e da chapa fotográfica fixa à luneta.

A segunda disposição adopta-se nos casos de grande potência óptica e estabilidade com disposições que não permitem fixar o espectrógrafo a uma luneta. É deste tipo a instalação do Observatório Astronómico de Coimbra. A luneta está reduzida à objectiva, e é suprimido o tubo habitualmente usado. É neces-



sária, pois, neste caso uma disposição, exterior ao espectrógrafo, que forneça uma imagem fixa do Sol.

Poderá ser aproveitado qualquer instrumento paraláctico, munido de um aparelho dispersivo e duma disposição apropriada para que a fotografia possa ser utilizada. Quando este instrumento é destinado especialmente ao estudo analítico do Sol toma a designação de espectroheliógrafo.

Foram aproveitados então os espelhos planos introduzidos no século XVII nas observações astronómicas, os quais animados por um movimento de relojoaria permitem obter numa direcção constante os raios reflectidos dum astro.

Já Boffat, matemático do século XVII, teve a idea de aplicar estes espelhos à astronomia, e expôs a sua teoria numa memória lida em Dezembro de 1682 à Academia das Ciências de Paris.

Perrault em 1721 fez a descrição, acompanhada de uma figura da disposição indicada por Boffat que deu a este aparelho a designação de «Compas Catoptrique». Os raios do astro eram reflectidos paralelamente ao eixo do mundo, em volta do qual girava um espelho com a velocidade do movimento diurno. Estas disposições só passado muito tempo tiveram realização prática em virtude da dificuldade que resultava dos espelhos não darem imagens aproveitáveis.

Por ser de particular importância vamos aqui resumir como se consegue este resultado com o celostato que é o aparelho agora aproveitado para este efeito, e que permite immobilisar todo o campo de visão. Começaremos por estudar a trajectória descrita pela normal ao espelho, na esfera celeste, de maneira que se conserve constante o feixe reflectido durante o movimento diurno.

Para estabelecermos as equações desta curva em coordenadas polares e rectangulares consideramos o espelho colocado na origem das coordenadas em O, fig. 2.

Sejam:

N o ponto de intersepção da normal ao espelho com a esfera celeste;  $P_1$  o polo norte;  $P_2$  o polo sul;  $P'$  a imagem do polo norte; A, a estrela a observar;  $A_1 A_2$  o paralelo da estrela;  $A'$  o ponto fixo para onde são dirigidos os raios reflectidos ou a imagem da estrela A;  $P_1 A' P_2$  o círculo horário do raio reflectido;  $t = \angle A P_1 A'$  o ângulo horário da estrela A contado a partir do círculo horário;  $t_N = \angle N P_1 A'$ , o ângulo horário da normal ao

espelho;  $p = P_1 A = P_1 A'$  a distância ao polo da estrela;  $p_R = P_1 A'$  a distância polar da imagem da estrela;  $p_N = P_1 N$ , a distância polar de N (contadas as distâncias polares de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ );  $i = \angle A N = \angle A' N$  os ângulos incidente e reflectido dos raios da estrela A;  $U = \angle P' A' P_2$ , o ângulo de que girou a imagem P' em volta de A' desde a passagem da estrela A no círculo ho-

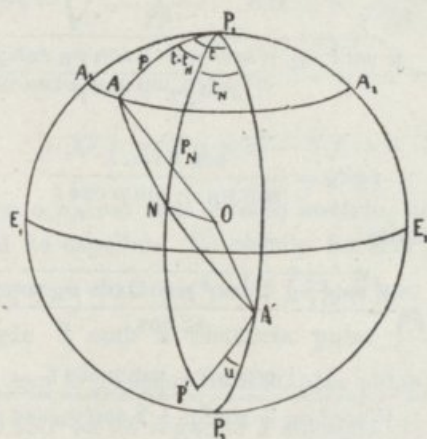


Fig. 2

rário. Considerando os triângulos  $P_1 N A'$  e  $P_1 N A$  podemos escrever:

$$\cos p_R = \cos p_N \cos i + \sin p_N \sin i \cos P_1 N A'$$

$$\cos p = \cos p_N \cos i + \sin p_N \sin i \cos P_1 N A$$

donde

$$\cos p_N = \frac{\cos p_R + \cos p}{2 \cos i} \quad (1)$$

mas

$$\frac{\sin i}{\sin p_N} = \frac{\sin t_N}{\sin P A' N} = \frac{\sin(t - t_N)}{\sin P_1 A N}$$

$$\frac{\sin P_1 A' N}{\sin P_1 A N} = \frac{\sin p}{\sin p_R}$$

e portanto

$$\sin t_N = \frac{\sin p}{\sin p_R} \sin(t - t_N) \quad (2)$$



Do triângulo  $P_1 A A'$ , tira-se

$$\cos 2i = \cos p_R \cos p + \operatorname{sen} p_R \operatorname{sen} p \cos t \quad (3)$$

$$2 \cos i = \sqrt{2 + 2 \cos p_R \cos p + 2 \operatorname{sen} p_R \operatorname{sen} p \cos t}$$

valor que substituído em (1) dá:

$$t g p_N = \frac{\sqrt{\operatorname{sen}^2 p_R + \operatorname{sen}^2 p + 2 \operatorname{sen} p_R \operatorname{sen} p \cos t}}{\cos p_R + \cos p} \quad (4)$$

De (2), resulta

$$t g t_N = \frac{\operatorname{sen} p \operatorname{sen} t}{\operatorname{sen} p_R + \operatorname{sen} p \cos t} \quad (5)$$

De (4) e (5) resulta

$$\operatorname{sen} p_N = \frac{\sqrt{\operatorname{sen}^2 p_R + \operatorname{sen}^2 p + 2 \operatorname{sen} p_R \operatorname{sen} p \cos t}}{2 \cos i}$$

$$\cos t_N = \frac{\operatorname{sen} p_R + \operatorname{sen} p \cos t}{\sqrt{\operatorname{sen}^2 p_R + \operatorname{sen}^2 p + 2 \operatorname{sen} p_R \operatorname{sen} p \cos t}}$$

$$t g p_N \operatorname{sen} t_N = \frac{\operatorname{sen} p \operatorname{sen} t}{\cos p_R + \cos p} \quad (6)$$

$$t g p_N \cos t_N = \frac{\operatorname{sen} p_R + \operatorname{sen} p \cos t}{\cos p_R + \cos p} \quad (7)$$

Eliminando nas fórmulas (6) e (7) o ângulo horário  $t$  da estrêla, obtem-se como expressão da trajectória da normal (com as coordenadas  $p_N$  e  $t_N$ ) a expressão:

$$(\cos p_R + \cos p) t g^2 p_N - 2 \operatorname{sen} p_R t g p_N \cos t_N = \cos p_R - \cos p$$

ou fazendo

$$m = \frac{\cos \frac{p_R + p}{2} \cos \frac{p_R - p}{2}}{\operatorname{sen} p_R}$$

$$n = \frac{\operatorname{sen} \frac{p_R + p}{2} \operatorname{sen} \frac{p_R - p}{2}}{\operatorname{sen} p_R}$$

$$\cot g t_N = m t g p_N + n \cot g p_N \quad (8)$$



Se tomarmos o sistema de referência XYZ de eixos rectangulares com o eixo dos ZZ dirigido para o polo positivo, o dos YY no plano do círculo horário, contado positivamente no sentido dos raios reflectidos, e o eixo dos XX com o sentido positivo dos ângulos horários, será

$$tg p_N = \sqrt{\frac{X^2 + Y^2}{Z^2}} \quad \cos t_N = \frac{Y}{\sqrt{X^2 + Y^2}}$$

valores que substituídos em (8) dão

$$m X^2 + m Y^2 + n Z^2 - Y Z = 0 \quad (9)$$

Assim dados  $p$  e  $p_R$  em cada círculo horário, há duas posições para a normal ao espelho. No círculo horário principal tem a posição 1 sempre a distância polar  $\frac{p_R + p}{2}$ ; se  $p_R + p < 180^\circ$ , há uma posição 2 com a distância polar  $\frac{p_R - p}{2}$  e se fôr  $p_R - p > 180^\circ$  tem a posição 2 a distância polar  $180^\circ - \frac{p_R - p}{2}$ . Para  $p_R + p = 180^\circ$  só há segundo a equação (1) a posição

$$p_N = \frac{p_R + p}{2} = 90^\circ$$

Se fizermos girar o sistema de coordenadas em volta do eixo dos XX de maneira que o eixo dos ZZ fique no meio das posições 1 e 2, o ângulo  $\alpha$  de que o sistema de eixos teve de girar será igual a  $\frac{p_R}{2}$  para  $p_R + p < 180^\circ$  e para  $p_R + p > 180^\circ$  é igual  $90^\circ + \frac{p_R}{2}$ .

Designando o novo sistema de coordenadas por  $x, y, z$ , ficará.

$$X = x \quad Y = z \operatorname{sen} \alpha + y \cos \alpha \quad Z = z \cos \alpha - y \operatorname{sen} \alpha$$

a equação (9) assumirá a forma:

$$\begin{aligned} x^2 m + y^2 (m \cos^2 \alpha + n \operatorname{sen}^2 \alpha + \operatorname{sen} \alpha \cos \alpha) + \\ + z^2 (m \operatorname{sen}^2 \alpha + n \cos^2 \alpha - \operatorname{sen} \alpha \cos \alpha) - \\ - y z (\cos 2 \alpha + [n - m] \operatorname{sen} 2 \alpha) = 0 \end{aligned}$$

Introduzindo os valores de  $m$  e  $n$ , para

$$\alpha = \frac{p_R}{2} \quad p_R + p < 180^\circ$$

$$x^2 (\cos p_R + \cos p) + y^2 (1 + \cos p) + z^2 (1 - \cos p) = 0$$

e para

$$\alpha = 90^\circ + \frac{p_R}{2} \quad p_R + p > 180^\circ$$

$$x^2 (\cos p_R + \cos p) - y^2 (1 - \cos p) + z^2 (1 + \cos p) = 0$$

ou

$$x^2 \frac{\cos \frac{p_R + p}{2} \cos \frac{p_R - p}{2}}{\operatorname{sen}^2 \frac{p}{2}} + y^2 \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \frac{p}{2}} - z^2 = 0 \quad (10)$$

$$-x^2 \frac{\cos \frac{p_R + p}{2} \cos \frac{p_R - p}{2}}{\operatorname{cos}^2 \frac{p}{2}} + y^2 \frac{1}{\operatorname{cotg}^2 \frac{p}{2}} - z^2 = 0 \quad (11)$$

Esta equação representa um cone de 2.<sup>a</sup> ordem com o vértice no centro da esfera. A curva que a normal ao espelho descreve no céu, é a resultante da interseção da esfera com um cone de 2.<sup>a</sup> ordem.

A equação (10) para a qual é  $p_R + p < 180^\circ$  e em que os coeficientes de  $x^2$  e  $y^2$  são positivos representa a equação dum cone elíptico.

A curva de interseção com a esfera é uma elipse esférica. Mas também a equação (11), pela qual é  $p_R + p > 180^\circ$  representa a equação dum cone elíptico pelo coeficiente de  $x^2$  também ser positivo.

Das equações (10) e (11) obtem-se as seguintes expressões para o semieixo maior e menor

$$\operatorname{sen} a = \frac{\operatorname{sen} \frac{p}{2}}{\operatorname{cos} \frac{p_R}{p}} \quad b = \frac{p}{2} \quad \text{para } p_R + p < 180^\circ$$



$$\operatorname{sen} a \frac{\cos \frac{p}{2}}{\operatorname{sen} \frac{p_R}{2}} \quad b = 90^\circ - \frac{p}{2} \quad \text{para } p_R + p > 180^\circ$$

e da equação (1) resulta para  $p_R + p = 180^\circ$  que a normal ao

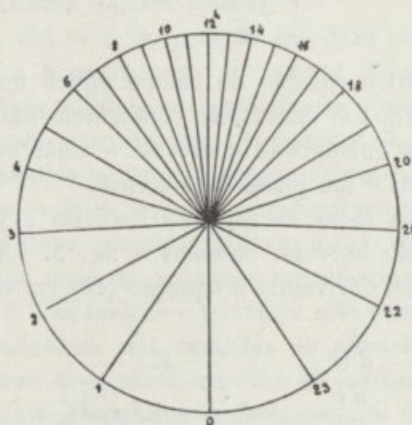


Fig. 3

espelho descreve o equador; podemos considerá-lo como uma elipse esférica com os semieixos

$$a = 90^\circ \quad b = 90^\circ \quad \text{para } p_R + p = 180^\circ$$

A rotação do campo óptico, foi um problema tratado teoricamente pela primeira vez por Cornu em 1900. Em virtude do que acima expozemos, verifica-se que a imagem do polo descreve em volta da imagem da estrela uma circunferência com o raio  $p$ . Vamos calcular o ângulo  $U$  em função de  $t$ . Do triângulo  $P_1 P' A'$ , tira-se

$$t g \frac{1}{2} U = \frac{\cos \frac{1}{2} (p_R + p)}{\cos \frac{1}{2} (p_R - p)} t g \frac{1}{2} t$$

e pondo

$$K = \frac{\cos \frac{1}{2}(p_R + p)}{\cos \frac{1}{2}(p_R - p)} \quad (12)$$

fica

$$tg \frac{1}{2} U = K tg \frac{1}{2} t \quad (13)$$

Daqui resulta *a*) a rotação do campo óptico tem o período do movimento diurno; *b*) executa-se constantemente no mesmo sentido, directo ou retrógrado conforme o sinal de *K*; *c*) o plano horário principal é um plano de simetria.

Se tomarmos tôdas as rotações horárias a partir da passagem pelo círculo horário, obtemos a fig. 3. A velocidade de rotação obtém-se derivando a equação (13) em relação a *t*.

$$\frac{dU}{dt} = \frac{K}{\cos^2 \frac{1}{2} t + K^2 \sin^2 \frac{1}{2} t}$$

Se fôr o 2.º membro igual a 1, a velocidade de rotação do campo é igual à do movimento diurno. Dá-se isto quando  $K = \pm 1$  ou

$$tg \frac{t}{2} = \pm \sqrt{\frac{1}{K}}$$

A velocidade de rotação tem um mínimo para  $t = 0^\circ - \frac{dU}{dt} = K$ ; um máximo para  $t = 180^\circ - \frac{dU}{dt} = \frac{K}{1}$ ; *K* está compreendido entre +1 e -1 como se reconhece pela equação (1). Se *K* fôr positivo ( $p_R + p < 180^\circ$ ), a rotação do campo terá lugar no sentido do movimento diurno. Se *K* fôr negativo ( $p_R + p > 180^\circ$ ) a rotação efetuar-se-á no sentido contrário.

No caso de  $K = 0$  ( $p_R + p = 180^\circ$ ) — o campo não se move, que é o caso do cœlostato.

O espelho do cœlostato gira em volta dum eixo situado no seu plano, paralelo ao eixo do mundo executando uma volta completa em 48 horas no sentido do movimento diurno. Os



siderostatos, excepto o siderostato polar têm, como é sabido, uma disposição de maneira a satisfazerem esta condição num caso particular.

O cœlostato do Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra, fig. 4, compõe-se de um espelho de quarenta centímetros de diâmetro e de sete centímetros de espessura. A sua superfície tem sido espelhada no Observatório Astronómico com o intervalo de cêrca de três meses.

Assenta o seu eixo de rotação em duas chumasseiras e encontra-se em *e* o movimento de esferas de aço. No suporte de ferro montado sòlidamente está fixado o movimento de relojoaria de grande precisão com um sistema de engrenagens que regulam a velocidade para o tempo médio nos dois sentidos. A transmissão é feita por um parafuso tangente *t*; dispõe-se ainda dum parafuso que permite levar o raio reflectido à posição conveniente por meio de pequenos movimentos. Numa posição mais elevada a dois metros e trinta do solo para subtrair o feixe luminoso à influência das camadas da atmosfera próximas da terra, desloca-se o segundo espelho *E'* ao longo duma escala graduada *G* para determinar o deslocamento dêste espelho que é necessário efectuar para tornar o cœlostato independente da variação da declinação do sol durante o ano.

O suporte do cœlostato assenta sôbre railes colocados na direcção Leste Oeste, e os railes do segundo espelho *E'* estão colocados na direcção Norte Sul. O feixe luminoso depois de incidir no espelho do cœlostato é reflectido, em geral, para o segundo espelho, no plano do meridiano. Os raios luminosos são depois enviados horizontalmente pelo segundo espelho para a objectiva que forma a imagem do Sol sôbre a primeira fenda do espectroheliógrafo. Para esta posição dos espelhos a linha Norte Sul da imagem do Sol tem a direcção da vertical em frente da primeira fenda do espectroheliógrafo. Em certas épocas do ano a sombra produzida pelo segundo espelho vai projectar-se sôbre o espelho do cœlostato, o que obriga a deslocar êste espelho para Leste de manhã e para Oeste de tarde. Nestas duas posições do primeiro espelho a linha Norte-Sul faz um ângulo com a vertical, que varia com a declinação do Sol.

As operações a efectuar para regular o cœlostato depois da sua montagem numa posição aproximada são as seguintes:

Para regular a direcção do eixo em altura pode utilizar-se

o teodolito. O teodolito coloca-se diante do espelho do celostato ficando a luneta em T, fig. 5. Por meio duma observação pre-

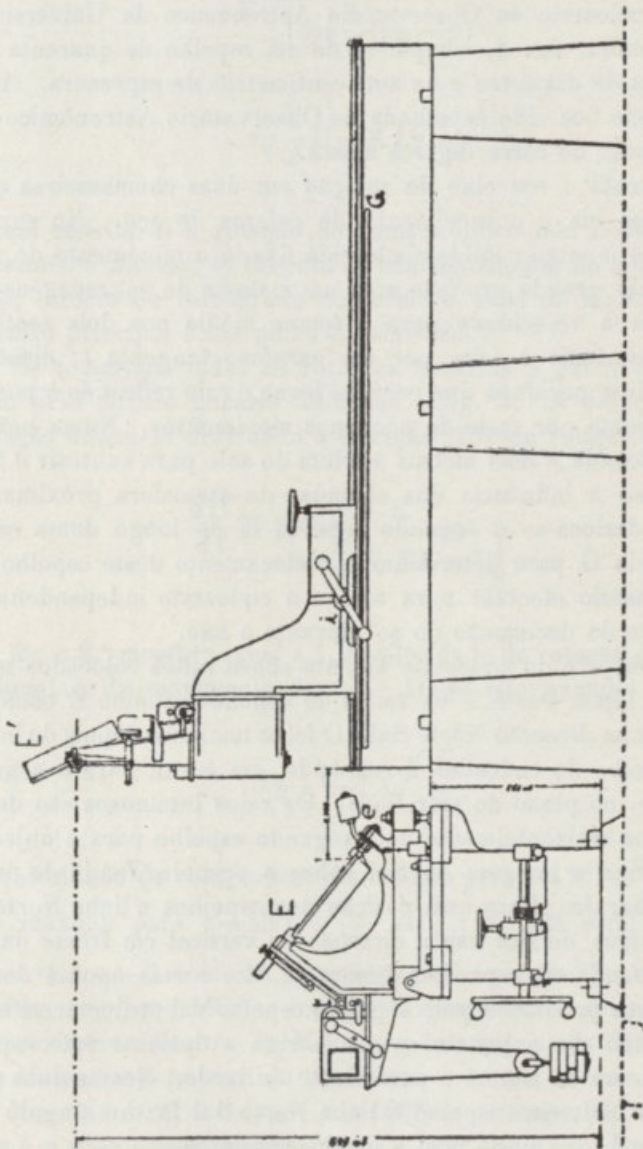


Fig. 4

liminar com a polar, coloca-se a luneta no plano do meridiano. Em frente da ocular põe-se um espelho *e*. Este espelho tem



por fim reflectir a luz  $L$  duma lâmpada eléctrica segundo a direcção da luneta para permitir a autocolimação. Desloca-se então o espelho do cœlostato em volta do eixo horário e a luneta em volta do seu eixo de rotação até se obter a autocolimação, o que se dá quando se observa a coincidência da imagem do

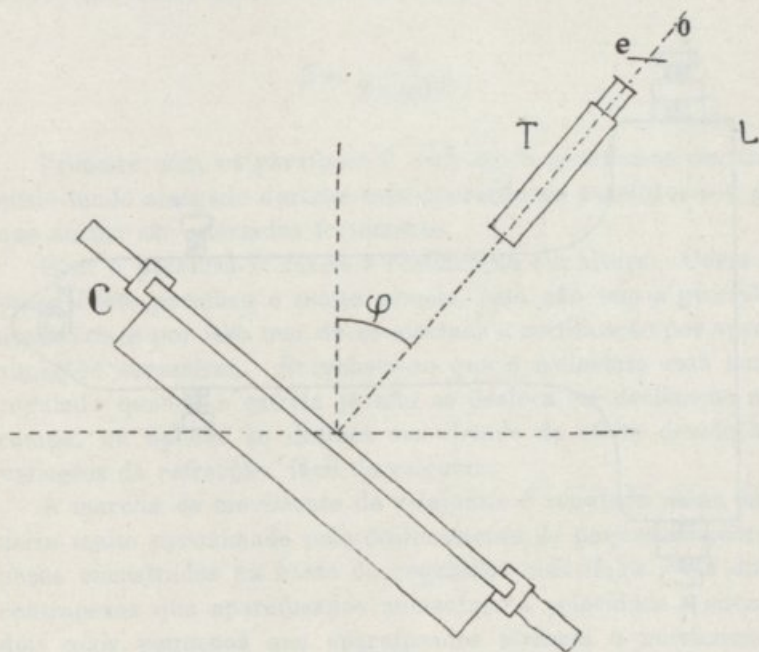


Fig. 5

cruzamento dos fios iluminados pela lâmpada, com os fios do reticelo vistos directamente pelo observador em  $O$ .

Neste momento a luneta tem a direcção da normal ao espelho. A seguir, por meio do parafuso  $P'$ , fig. 6, situado ao sul do suporte do cœlostato, desloca-se progressivamente a parte do cœlostato ligado directamente ao espelho; ao mesmo tempo acompanha-se este movimento com a luneta de maneira a não perder de vista a imagem até que o ângulo da luneta com o horizonte seja precisamente igual a  $\pi - \varphi$  sendo  $\varphi$  a latitude do Observatório Astronómico. Obtida por esta maneira a orientação aproximada do eixo do cœlostato termina-se a rectificação pelo processo astronómico.

Para executar a rectificação em azimute monta-se sobre o espelho do celostato uma luneta astronómica que possa ter um movimento em declinação. A luneta deve estar munida dum micrómetro que se desloca paralelamente ao movimento de declinação. A luneta assim montada aponta-se para uma estrela

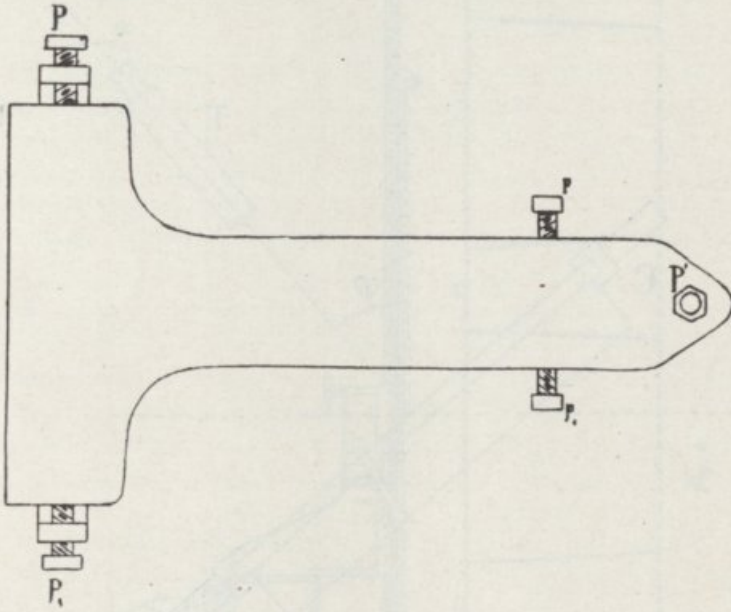


Fig. 6

antes da sua passagem no meridiano e fazem-se diferentes leituras no micrómetro. Repete-se a mesma operação depois da passagem no meridiano, com o mesmo intervalo. Sendo  $a$  a diferença das duas leituras em segundos de arco,  $\varphi$  a latitude do lugar e  $\alpha$  o erro angular em azimute do eixo horário. é, supondo  $a$  e  $\alpha$  pequenas quantidades:

$$\alpha = \frac{a}{2 \operatorname{sen} t} - \operatorname{sen} \varphi$$

Por uma forma análoga acaba-se de regular o celostato em altura. Deve tomar-se a estrela simetricamente dum e doutro lado do círculo horário a 6 ou 18 horas. Para este fim escolhe-se



uma estréla com grande declinação para que a correcção devida à refracção não seja muito sensível. Corrigidas as observações da refracção, e designando por  $a$  a diferença, expressa em segundos de arco, entre as duas pontarias efectuadas nos ângulos horários 17 horas 30 minutos e 18 horas 30 minutos e sendo  $\beta$  o erro em altura do eixo horário, temos:

$$\beta = \frac{a}{2 \cos 30^m}$$

Primeiro com os parafusos P e P<sub>1</sub> fig. 6 rectifica-se em azimuth tendo alargado durante esta operação os parafusos  $p$  e  $p_1$  que ao fim são apertados fortemente.

Com o parafuso P' faz-se a rectificação em altura. Como o passo dêste parafuso é muito grande, esta não tem a precisão necessária e por isso tem de se efectuar a rectificação por aproximações sucessivas. Reconhece-se que o cœlostato está bem regulado quando a estréla já não se desloca em declinação no campo, ou apenas se desloca em virtude do efeito devido às variações da refracção, fácil de calcular.

A marcha do movimento de relojoaria é regulada duma maneira muito aproximada pelo deslocamento de pequenos contrapesos encastrados na haste do regulador centrífugo. Há dois contrapesos que aparafusados aumentam a velocidade e outros dois mais pequenos que aparafusados atrasam o movimento, produzindo variações mais pequenas.

Duma maneira geral os movimentos de relojoaria que deslocam os equatoriais, e portanto no caso particular de que nos occupamos, os cœlostatos dos Observatórios, não conseguem por meio do regulador de que estão munidos a regularidade dos relógios astronómicos, e entre as diferentes causas que afastam o astro da sua posição inicial (rectificação imperfeita do eixo horário, flexões, refracção astronómica, etc.) os devidos a irregularidade da marcha das engrenagens são quasi sempre os mais importantes. Daqui resulta a necessidade de estabelecer, por meio de uma disposição de sincronisação apropriada, a ligação da pêndula astronómica com a engrenagem.

Em virtude de ser preciso em regra, usar estes instrumentos para longas poses, tornou-se necessária uma instalação desta natureza, para o que podem ser aproveitadas várias soluções.

No sistema adoptado para o aparelho do Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra, tomou-se para dar a direcção uma pêndula que sincronisa um motor accionado por um pêso. Este sistema de sincronisação deriva do princípio de sincronisação usado nos motores Baudot.

Um tal movimento tem contudo de ser revisto freqüentemente por ser este regulador muito sensível às variações de temperatura.

A centragem da imagem, dada pelo cælostato, em altura, depende apenas da posição do segundo espelho no seu deslocamento horizontal. Primeiro realizou-se por aproximação para algumas declinações do Sol notando-se as leituras do index  $i$  que corre sobre a grande régua de latão G, fig. 4. Cinco leituras foram julgadas suficientes para determinar com precisão as constantes instrumentais. As fórmulas seguintes permitem calcular as posições intermediárias. Com o cælostato no centro é

$$x = z t g(\varphi + \delta)$$

nas duas posições a Leste e a Oeste:

$$x = \frac{z \operatorname{sen}^2 \varphi + 2 \operatorname{sen} \delta \sqrt{z^2 \cos^2 \delta + y^2 (\cos^2 \varphi - \operatorname{sen}^2 \delta)}}{2 (\cos^2 \varphi - \operatorname{sen}^2 \delta)}$$

em que

$l$  = leitura na régua

$l + c = x$  = distância horizontal dos espelhos no plano do meridiano

$y$  = distância horizontal dos espelhos num plano perpendicular ao plano do meridiano

$z$  = distância vertical dos espelhos

$\varphi$  = latitude do lugar

$\delta$  = declinação do sol

$c$  = distância do primeiro espelho ao zero da régua.

Como dissemos, o cælostato, por meio do segundo espelho, envia o feixe luminoso para uma objectiva O, fig. 7, colocada



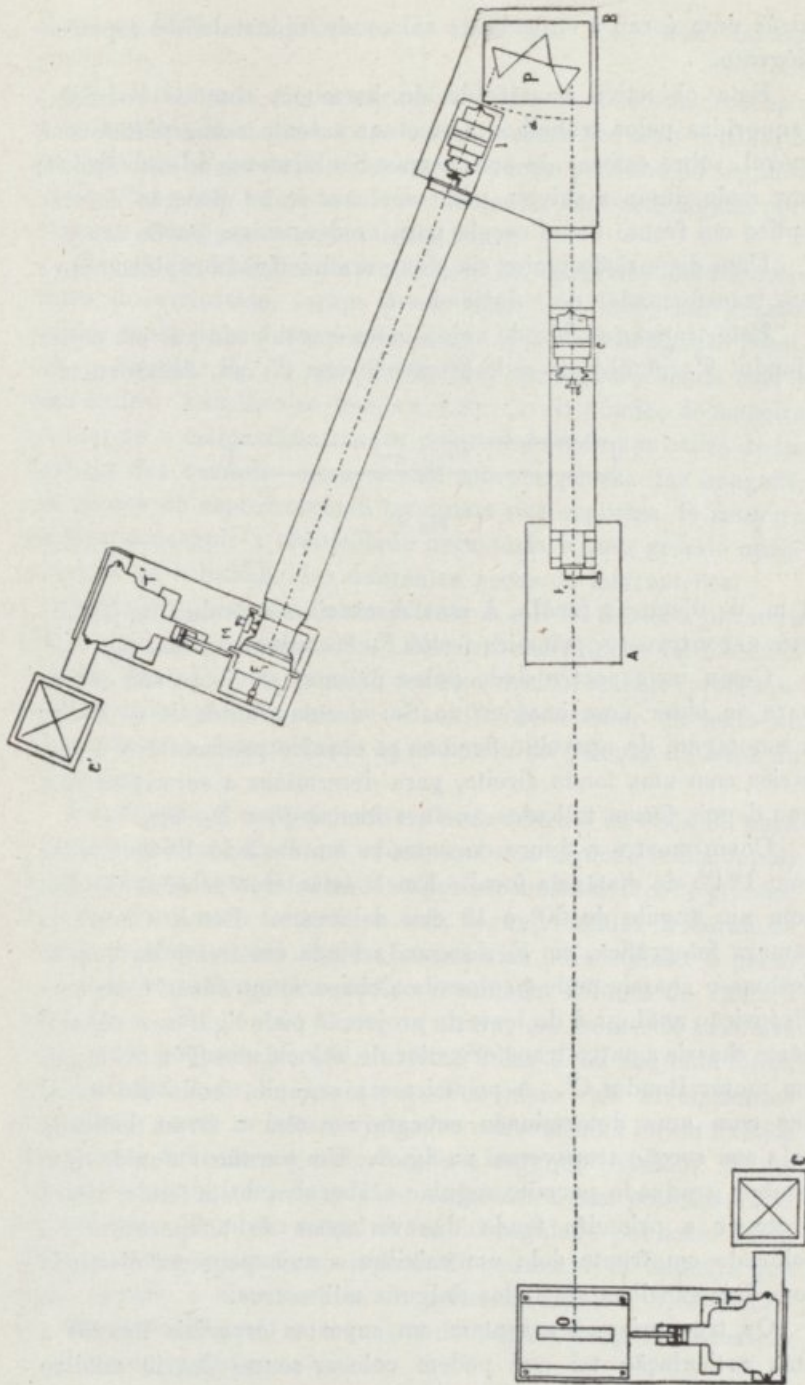


Fig. 7

atrás dum écran à entrada da sala onde foi instalado o espectroeliógrafo.

Esta objectiva construída de harmonia com as condições requeridas pelos trabalhos a efectuar assenta numa plataforma, móvel, sobre esferas de aço, perpendicularmente ao eixo óptico; por meio duma manivela pode deslocar-se na direcção do eixo óptico em frente duma escala para as determinações do foco.

Uma disposição muito simples permite ligá-la rapidamente a um transformador de velocidades  $t$ .

Este transformador de velocidades é accionado por um motor Baudot C. A objectiva de projecção tem 25 cm. de abertura e

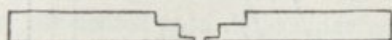


Fig. 8

4 m. de distância focal. A uma distância sensivelmente igual a esta encontra-se a primeira fenda  $F_1$  do espectrógrafo, fig. 7.

Como no espectro dado pelos prismas as riscas são curvas para se obter uma imagem do Sol circular, antes de se iniciar a montagem do aparelho fizemos os ensaios preliminares necessários com uma fenda direita, para determinar a curvatura com que depois foram talhadas as duas fendas  $F_1$  e  $F_2$ , fig. 7.

Como mostra a figura encontra-se em  $c$  a lente do colimador com 1<sup>m</sup>,25 de distância focal. Em  $P$  estão três prismas de flint com um ângulo de 60° e 15 cm. de aresta. Em  $L$  a lente da câmara fotográfica, em  $F_2$  a segunda fenda em frente da qual se desloca o chassis onde é colocada a chapa fotográfica. Com uma disposição análoga à da lente de projecção pode ligar-se o suporte deste chassis a outro transformador de velocidades  $T'$  movido por um motor Baudot  $C'$ . A primeira e a segunda fenda são talhadas com uma determinada curvatura e têm a forma indicada pela sua secção transversal na fig. 8. Um parafuso munido dum tambor graduado permite regular a abertura desta fenda. Para proteger a primeira fenda das variações de temperatura foi colocado em frente dela um caixilho a uma pequena distância com dois espelhos afastados dalguns milímetros.

Os três prismas assentam em suportes especiais ligados a uma articulação tal que podem colocar-se no desvio mínimo



para um dado comprimento de onda por meio dum tambor graduado.

Solidariamente com a segunda fenda coloca-se o microscópio micrométrico M o qual, com o auxílio dum pequeno prisma de reflexão total P, permite observar o espectro próximo da segunda fenda. Na parte relativa ao funcionamento daremos alguns pormenores sobre a montagem desta fenda.

Depois de determinada a direcção do meridiano para a colocação do celostato, foram construídos os pilares com grande solidez tendo sido determinado com a maior aproximação possível, o ângulo, fig. 7, que faz o pilar da segunda fenda com o eixo óptico. Escolheu-se depois a altura do eixo óptico de maneira a obter-se o maior afastamento possível do solo por causa da influência das camadas atmosféricas sobre a pureza das imagens. Os pilares do espectroscópio terminam por suportes de madeira para se conseguir a elasticidade necessária e uma grande aproximação na colocação das diferentes peças do instrumento.

Numa viga encastrada nos pilares A e B foi fixada a primeira fenda e a lente de colimação. Pelo processo óptico foi colocada a lente do colimador normal ao eixo óptico, e pelo processo de autocolimação fêz-se com o auxílio do tambor da lente de colimação uma determinação aproximada da posição da lente do colimador.

Identificado o comprimento de onda (região da risca K) para a posição habitual do chassi, observando na segunda fenda depois de retiradas as faces, foi alinhada a posição média da face do prisma, da lente da camera fotográfica e da segunda fenda. Fizeram-se depois as observações ópticas necessárias para colocar o plano da fenda normal ao eixo óptico e também a lente da cámara fotográfica. Foi levado à mesma altura, em frente da primeira fenda uma pequena porção do feixe solar e na segunda fenda uma estreita faixa de espectro. Por meio dos nivelamentos necessários e com as leituras julgadas convenientes foram fixados em pilares diferentes o celostato e o segundo espelho. Estas operações permitiram fixar já o celostato numa posição muito aproximada. Também nesta altura foi regulado por meio dum luneta o index existente no suporte do celostato, de maneira que nesta posição o eixo horário do primeiro espelho, o colimador do espectroheliógrafo e o centro do segundo espelho ficassem no plano do meridiano.

Para a determinação da curva de acromatismo do colimador foram determinadas as divisões do suporte da lente correspondentes aos diferentes comprimentos de onda por autocolimação como para a colocação preliminar.

No foco devê ter-se uma luz monocromática. Para obter este resultado foi empregada a disposição indicada na fig. 9.

O feixe solar incide numa fenda auxiliar  $f$ , a seguir encontra-se um prisma  $P'$  que reflecte o espectro num espelho  $e$ . Imprimindo um movimento giratório ao espelho podemos obter

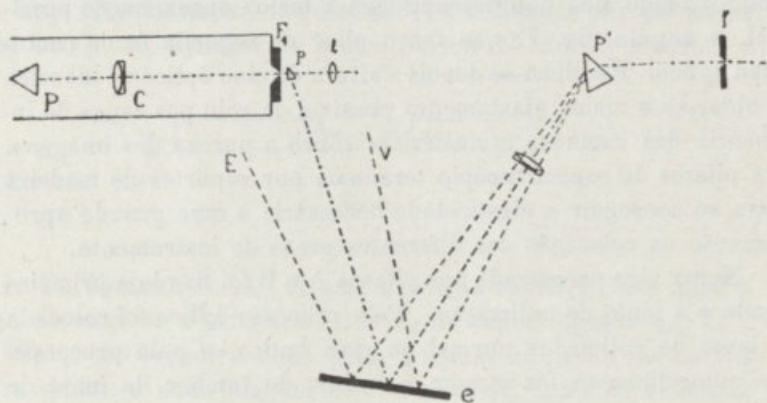


Fig. 9

sucessivamente em frente da primeira fenda  $F_1$  todo o espectro; resta depois identificar para cada operação as riscas de Fraunhofer.

Variando sucessivamente as posições das lentes de projecção, do colimador, e da chapa fotográfica, procurou-se a combinação correspondente ao melhor foco, eliminando assim um pequeno estigmatismo dos prismas.

Foi depois determinada a ampliação que dá o espectrógrafo. Com este valor, depois de se determinar o zero da divisão dos transformadores, tanto quanto possível, no eixo comum aos dois discos  $d$  e  $d'$ , fig. 10, determinou-se a correcção. Para este fim foi iluminada, com o auxílio duma lâmpada eléctrica, a primeira fenda e foi deslocada, por meio dum motor e do transformador, uma chapa fotográfica, durante um certo tempo  $t$ , diante da segunda fenda o que dá uma zona de comprimento  $e$ , tendo-se primeiro o disco transmissor do movimento na divisão  $a$  do eixo  $x$  graduado.



Repete-se a mesma operação colocando o disco na divisão  $2a$  e durante o mesmo tempo  $t$ . A nova zona terá o comprimento  $2e+l$ . A distância  $x$  a corrigir será pois:

$$x = a \cdot \frac{l}{e-l}$$

A sincronisação dos dois motores Baudot efectua-se por meio de dois magnetes pelo processo da reacção das correntes alternativas tendo funcionado sempre com a regularidade necessária.

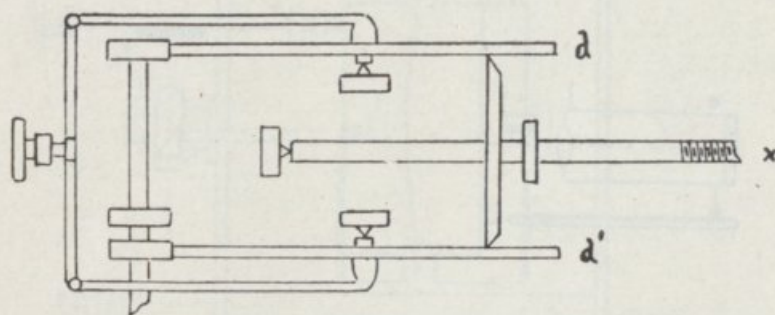


Fig. 10

Esta instalação, tanto quanto o permitiram as condições a que tem de sujeitar-se debaixo do ponto de vista astronómico e espectroscópico, tem uma montagem, como rapidamente acabamos de mostrar, que permite realizar a rectificação do instrumento no mais curto espaço de tempo possível sempre que se tenha de fazer uma observação solar. Esta última condição, que tem ainda hoje, como logo de comêço se estabeleceu, a maior importância para o estudo da atmosfera do Sol, é portanto, não só necessária como de grande valor debaixo do ponto de vista técnico.

Como exemplo vamos indicar alguns pontos mais importantes do método seguido para se obter um espectroheliograma monocromático da atmosfera do Sol, uma vez conseguida a rectificação que acabamos de expor. Por meio da tabela organizada para os valores da régua do segundo espelho coloca-se êste na posição correspondente à declinação do Sol. Depois, por meio do parafuso dos pequenos movimentos do celostato centra-se a imagem no segundo espelho, o que se consegue rapidamente

lateralmente, por meio duma disposição que fixa os dois pontos de referência nos dois espelhos.

A acção do calor do Sol altera a posição determinada, como já dissemos, para o foco da objectiva correspondente a um dado comprimento de onda, e para se obter a distância exacta da objectiva de projecção, em frente da primeira fenda foi montada uma disposição óptica representada esquemáticamente na figura 11. No suporte  $p$  pode colocar-se um pequeno prisma de reflexão total que depois de feitas as leituras na escala anexa pode ser facilmente retirado. Num suporte que corre ao longo da escala  $E$

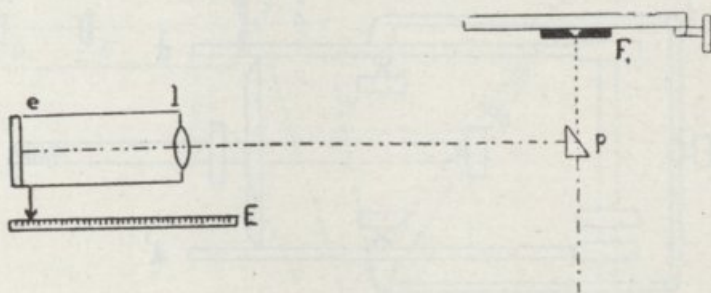


Fig. 11

encontra-se uma lente  $l$  e um écran  $e$  onde se efectua esta observação. Em seguida desloca-se a imagem do Sol até que incida imediatamente tangente à primeira fenda por meio dum comutador colocado junto desta fenda, o qual desloca o segundo espelho em altura e azimute.

Uma outra operação importante consiste em isolar a risca correspondente a um determinado comprimento de onda com que se quer trabalhar na segunda fenda. Colocada a segunda fenda numa posição aproximada e com a abertura conveniente, faz-se uma fotografia do espectro que em virtude das duas aberturas existentes nos extremos da fenda  $F_2$ , fig. 12 em  $a$  e  $b$ , permite obter a fotografia duma porção do espectro nas vizinhanças da risca a isolar. Supunhamos que a risca está em  $r$ , e seja  $a$  a distância do seu centro ao centro da fenda na parte superior, e  $b$  na inferior. A correcção a efectuar com o tambor  $P_3$  será  $\frac{a+b}{3}$  num sentido fácil de determinar. Se representarmos por  $d$  a semialtura da fenda; por  $c$ , a distância entre o eixo de rotação



da fenda no seu plano e o parafuso  $P_1$  que produz o movimento de rotação, a correcção a adoptar para o tambor  $P_1$  será  $\frac{a-b}{2} \cdot \frac{c}{d}$ .

A seguir a este isolamento fixa-se com o retículo da luneta  $M$  a posição duma determinada risca que se encontra nesse instante no campo da luneta, e pelas leituras do tambor temos um processo então muito rápido para collocarmos a fenda em frente da risca com que se deseja efectuar a fotografia. É preciso contudo

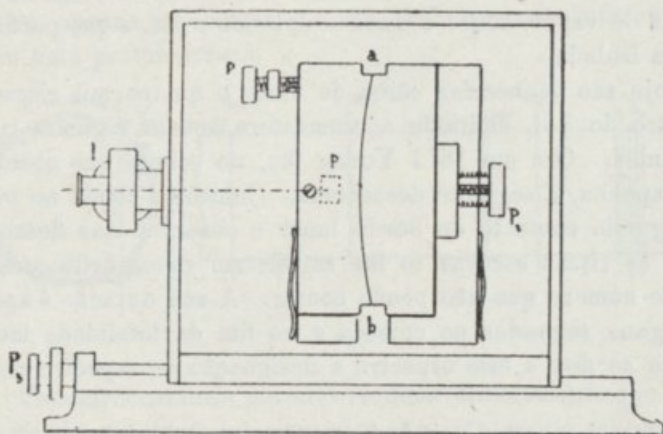


Fig. 12

atender a que são bastante diferentes para os dois comprimentos de onda os deslocamentos que resultam para as duas riscas em virtude do calor, aumentando o seu afastamento para um aumento de temperatura. Conhecida a lei desta variação este facto não atrasa esta rectificação. Mas isto não dispensa, é obvio, uma verificação freqüente, sôbre tudo para alterações bruscas de temperatura, pelo processo de fotografias das imagens testemunhas.

Por meio dum comutador eléctrico estabelece-se o movimento simultâneo e sincronizado com os motores Baudot, da lente de projecção e da plataforma que contém o chassis. O comprimento e brilho da risca isolada traduzirá a cada instante o comprimento e brilho da secção feita sucessivamente, e duma maneira continua pela primeira fenda na imagem do Sol. Na chapa ficará pois fotografada uma imagem circular que integra, todos estes aspectos elementares.

No espectro solar, em harmonia com os estudos espectroscópicos atrás mencionados, encontra-se um espectro contínuo correspondente a uma superfície sólida ou líquida incandescente. Por cima encontrar-se-ão vapores de diferentes substâncias que absorvendo a própria luz darão lugar a um espectro de absorção formado por riscas escuras. Por isso os primeiros observadores, quando isolaram um determinado comprimento de onda na segunda fenda, consideraram a imagem monocromática obtida pela maneira como acabamos de indicar, como sendo a fotografia das formas do vapor, sobre o disco e exterior a ele, a que pertencia a risca isolada.

Hoje são conhecidas cerca de vinte e quatro mil riscas no espectro do Sol, emitindo a cromosfera apenas algumas riscas brilhantes. Ora em 1871 Young fez, no eclipse que observou em Espanha, a seguinte descoberta. Colocou a fenda no ponto do segundo contacto do bordo lunar e observou que desaparecendo as riscas escuras se lhe sucederam riscas brilhantes em grande número que não pode contar. A sua duração é apenas de alguns segundos no começo e no fim da totalidade motivo porque se deu a este espectro a designação de espectro relâmpago.

Estas riscas são emitidas por uma camada delgada situada no interior do anel avermelhado observado em volta da lua a maior parte das quais produzem a absorção, e por isso foi chamada esta camada inversora. Estas riscas chamadas de absorção, têm o aspecto escuro por contraste; na realidade tem sensivelmente o mesmo brilho das observadas no espectro relâmpago. Quanto mais completa for a absorção, mais o brilho da risca no espectro de absorção, se aproxima do brilho da risca brilhante emitida pelo vapor.

O espectro relâmpago foi depois fotografado reconhecendo-se que no seu conjunto as riscas brilhantes coincidem com as riscas escuras observadas quando se considera a camada interposta entre nós e a fotosfera.

Em 1909 Hale fotografou o espectro da camada inversora fora dos eclipses.

O espectro de absorção contém pois o conjunto das riscas da camada inversora e das riscas provenientes da cromosfera. Sendo este último espectro idêntico ao das protuberâncias, são ainda estas riscas que exteriormente ao bordo solar se prolon-



gam para formar as protuberâncias, como mostra a figura 13, que medem em toda a extensão o mesmo que a imagem das formas monocromáticas numa secção feita pela primeira fenda para produzir este espectro na direcção paralela à linha Norte Sul. Outra constatação importante é a que resulta de que mesmo para uma secção *a* efectuada pela primeira fenda fora da protuberância ainda é suficientemente espessa a cromosfera para que seja visível a saliência das riscas cromosféricas ultrapassando os limites do espectro contínuo, fig. 13. Na parte superior a secção é feita apenas na cromosfera, atingindo na parte inferior *b* também uma protuberância.

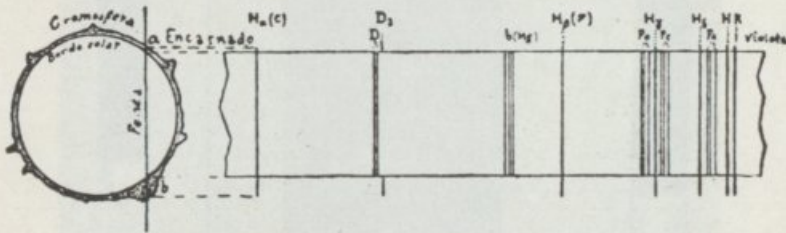


Fig. 13

Esta circunstância permite verificar directamente que o brilho da risca é constante interiormente ao bordo; sendo aparentemente devido ao efeito de contraste que parecem escuras sobre o fundo contínuo do espectro e luminosas sobre o fundo do céu.

Com o arco voltaico podemos registar um fenómeno análogo para uma pequena região do espectro onde se encontra a risca designada, no espectro de Fraunhofer, por K. Para isso isolámos na segunda fenda a risca  $K_3$  que fotografámos juntamente com uma pequena porção de espectro nesta região.

Sem deslocarmos a fenda fotografámos depois o espectro do arco voltaico efectuando diferentes secções com a fenda na imagem do arco voltaico, depois de focada a imagem na primeira fenda.

A média duma série de medidas deram para a risca K da cromosfera do Sol, obtida pouco depois com uma secção feita pela primeira fenda na imagem do Sol, a mesma posição que a risca obtida com o arco voltaico, fig. 14.

Para a completa interpretação deste fenómeno foi elaborada uma série de experiências, que de grande importância para o estudo Sol, não o são menos para a física pelo facto destas

experiências conduzirem ao conhecimento da variação da estrutura dos espectros com as condições físicas em que se encontra o corpo cujas radiações se querem estudar.

A-pesar-de não ser o objectivo especial dêste trabalho, referirmo-nos à interpretação das imagens monocromáticas, vamos

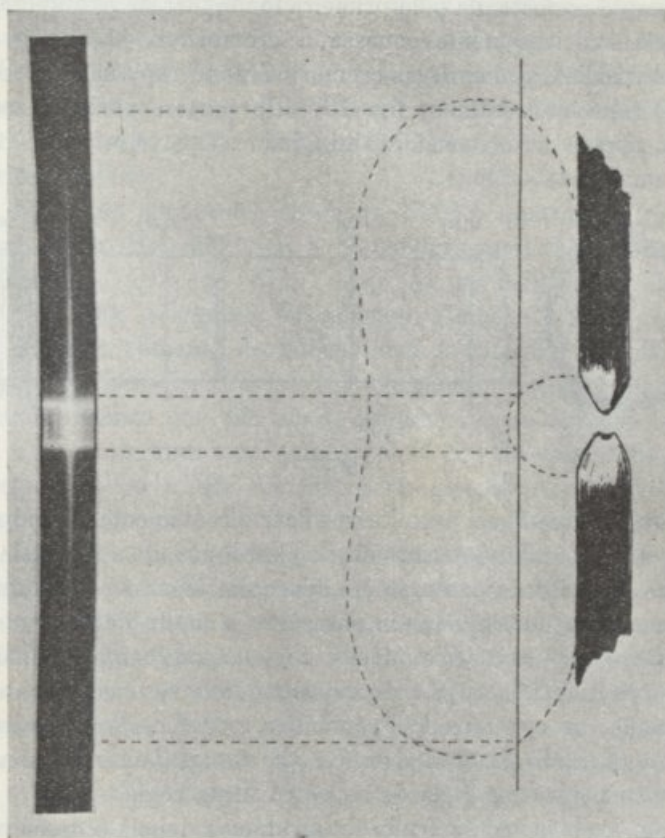


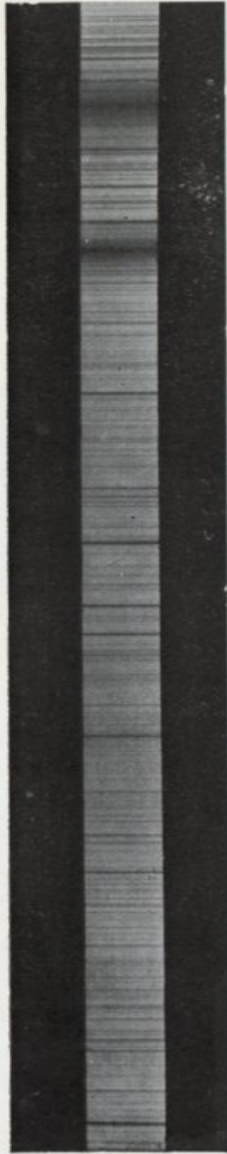
Fig. 14

arquivar mais alguns resultados de que necessitamos fornecidos pela espectroscopia.

Entre as riscas do espectro da cromosfera composto quasi exclusivamente de hidrogénio, hélio e vapor de cálcio, algumas riscas do cálcio e do hidrogénio elevam-se mais ou menos à mesma altura.

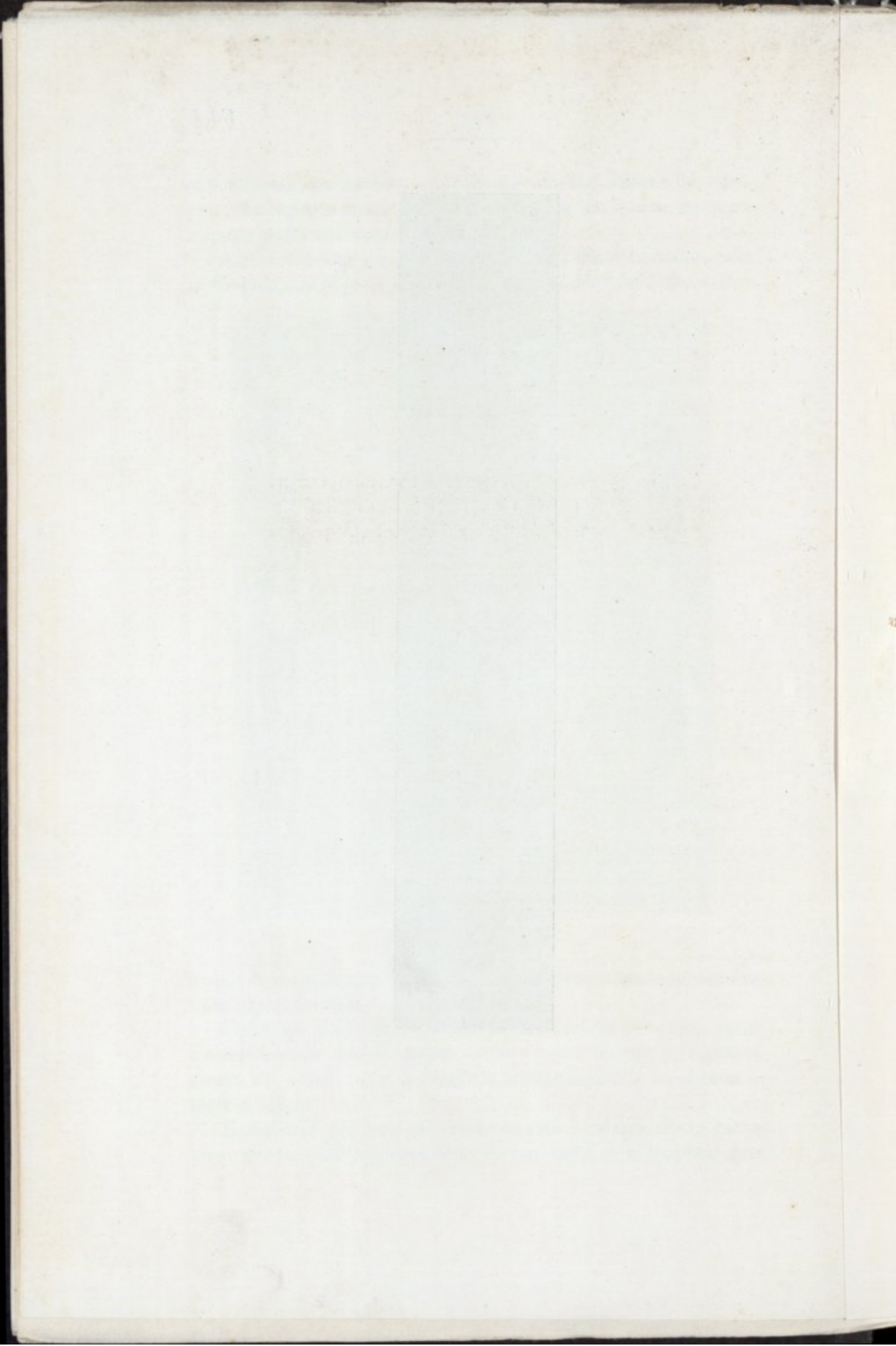
O facto de se elevarem sensivelmente à mesma altura como mostram as saliências das suas riscas, tanto o hidrogénio gás





| K

| H





ligeiro, como o cálcio elemento pesado, tem levado a diferentes hipóteses, que não pretendemos discutir agora, as quais não permitiram que chegassem a acôrdo os diferentes investigadores.

Para o caso do átmo de cálcio revelado nas altas camadas da atmosfera do Sol pelas riscas H e K, em virtude dos cálculos efectuados atendendo à fôrça da gravitação exercida pelo Sol, a camada dêste vapor deveria ser muito mais fina. Diverge-se porém quanto à fôrça que nesta hipótese teria de opor-se à gravitação solar.

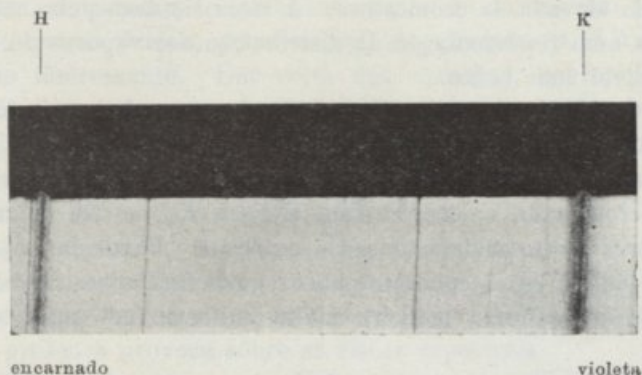


Fig. 15

Segundo cremos, devemos ainda atender neste caso às condições físicas particulares em que se encontra o vapor, as quais permitem que emita as riscas nas condições que acima indicámos.

Estas características das riscas deviam fazer pressentir que as imagens apresentariam aspectos diferentes conforme a risca isolada. Entre as riscas da cromosfera, as do hidrogénio e do cálcio, logo utilizadas de princípio, são as que melhor se prestam.

Na Est. I reproduzimos a fotografia duma parte do espectro solar onde se encontram as riscas H e K. Esta fotografia foi obtida com os 3 prismas de flint já referidos, do Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra.

Mesmo para uma região calma do Sol a sua estrutura é muito complexa como mostra a fig. 15 que representa uma porção do espectro, fotografada no espectroheliógrafo na região das riscas H e K. Ao meio duma banda designada respectivamente por  $H_1$  e  $K_1$ , encontram-se as riscas que a princípio se supunham duplas  $H_2$  e  $K_2$ , designando-se por  $H_3$  e  $K_3$  as riscas que dividem as riscas  $H_2$  e  $K_2$ .

No bôrdo do Sol, tanto as riscas  $H_2$  e  $H_3$  como as riscas  $K_2$  e  $K_3$ , se elevam acima do espectro contínuo. Nas riscas  $H_1$  e  $K_1$  não se notam saliências sensíveis, fig. 15, que contudo se atribuem a tôdas.

A risca  $K_3$  é pois produzida pelas camadas mais elevadas da cromosfera, sendo a risca  $K_2$  dupla apenas aparentemente.

Se atendermos ainda a que a risca  $K_3$  atravessa o bôrdo solar sem diminuir de intensidade poderemos considerar a imagem monocromática do Sol com a risca  $K_3$ , como relativa a uma camada elevada da cromosfera. A risca  $K_2$  dará pelas mesmas razões uma representação da distribuição dos vapores de cálcio num nível mais baixo.

A risca  $K_1$  fornece a fotografia das camadas mais baixas. O espectroheliograma desta risca tem um aspecto semelhante ao apresentado pelas fotografias da fotosfera.

A fotografia efectuada com a risca  $K_2$  mostra as regiões faculares muito mais intensas e extensas. Parte das manchas estão muitas vezes cobertas pelas regiões faculares. Os flóculos encontram-se duma maneira muito uniforme em quasi todo o disco.

A fotografia que se obtém isolando na segunda fenda a risca  $K_3$ , mostra as regiões faculares e os flóculos ainda mais desenvolvidos, e as manchas chegam a estar completamente cobertas; além disto, como a teoria fazia prever, revela novas figuras, sombras geralmente alongadas, a que H. Deslandres deu a designação de *filamentos*. Na periferia vêem-se as protuberâncias.

As novas figuras observadas passaram desde logo a caracterizar as imagens monocromáticas correspondentes às camadas superiores da cromosfera.

Em volta das regiões faculares existe uma zona mais escura chamada circunfacular.

Nas boas imagens, efectuadas em dias livres de perturbações atmosféricas, os grãos apresentam-se desdobrados noutros mais pequenos e o fundo escuro revela um aspecto granular análogo ao da fotosfera, Est. VIII. A agitação das imagens devida às camadas inferiores da atmosfera terrestre, faz desaparecer os grãos de menores dimensões por ser a sua ordem de grandeza apenas de cerca de  $2''$ .

As imagens fornecidas pelas riscas do hidrogénio, diferem muito das do cálcio.



A risca vermelha  $H_{\alpha}$ , a mais importante da série, não apresenta tão nitidamente a divisão em componentes, bem visíveis nas riscas H e K. Contudo, as imagens que dão as diferentes partes da risca oferecem entre si diferenças muito grandes.

A característica mais acentuada da imagem obtida com a periferia daquela risca é mostrar em negro as regiões faculares e os flóculos que são brilhantes no cálcio e nos outros elementos da camada inversora.

Na camada superior, os filamentos aparecem com uma grande nitidez, e destacam-se muito sobre o fundo da imagem relativamente pouco rica em pormenores. A estrutura geral é contudo muito interessante. Em volta das manchas, sobretudo onde apenas se vêem os pontos mais brilhantes das regiões faculares do cálcio, formam-se correntes de matéria cujo aspecto tem feito recordar os espectros magnéticos destinados a evidenciarem as linhas de força dum campo produzido por um iman. Esta disposição particular sugeriu a Hale a idea de que as manchas poderiam ser a sede dum campo magnético. De facto Hale conseguiu revelar este campo observando certas alterações que a sua presença provoca sobre as riscas espectrais.

O facto das imagens monocromáticas do cálcio e do hidrogénio oferecerem diferenças tão grandes, tem sido objecto de investigações especiais. Como as camadas correspondentes estão sensivelmente ao mesmo nível, continuamente misturadas pelas grandes correntes existentes na atmosfera solar, deveria esperar-se que apresentassém os mesmos pormenores.

Estas diferenças, porém, não se estendem à estrutura dos filamentos a qual é sensivelmente igual para os dois elementos. O mesmo tem ainda lugar para as protuberâncias.

As fotografias monocromáticas de que nos temos occupado têm pois a maior importância para o estudo das relações entre os diferentes fenómenos cromosféricos. Mas por ser indispensável, na interpretação das imagens monocromáticas, atender ao principio das velocidades radiais, occupar-nos-emos deste assunto no capítulo seguinte, antes de apresentarmos mais algumas das observações feitas com o espectroheliógrafo do Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra, e com a instalação que fizemos neste Observatório com o fim de utilizar este valioso método.

## CAPÍTULO III

### Velocidades Radiais

Nas suas applicações à astronomia, a análise espectral, além de nos permitir analizar a luz que a Terra recebe do espaço sideral, facultando a investigação dos elementos que o constituem, fornece-nos também um processo para a determinação das suas velocidades.

Este processo resultou do estudo do fenómeno da variação das côres nas estrêlas duplas considerando-o C. Doppler como devido ao movimento das componentes na direcção do observador.

Doppler apresentou este princípio em 1842. Fizeau numa comunicação à Sociéte Philomatique de Paris em 1842 tornou possível a medida daquelas velocidades, e estabeleceu que o princípio de C. Doppler, impossível para as côres, podia applicar-se à posição duma risca no espectro, calculando-se o valor da grandeza da velocidade dum foco luminoso relativamente ao observador pela medida do deslocamento duma risca emitida pelo corpo.

Tanto na sua applicação à astrofísica, como a problemas da astronomia de posição, foi este princípio logo de grande utilidade. A sua importância tem aumentado sempre. Por meio de disposições instrumentais convenientes podem assim avaliar-se as velocidades radiais, tanto do movimento de translação dos astros, como dos movimentos que neles têm lugar.

Apoiando-nos na teoria elementar deste princípio facilmente se pode deduzir a fórmula que o traduz.

Consideremos o caso em que o foco luminoso se desloca, ficando imóvel o observador. Seja  $V$  a velocidade da luz e  $n$  o número de ondas emitidas por segundo.

Se o foco luminoso estiver animado da velocidade  $v$ , as  $n$  ondas occuparão o espaço  $v \mp V$  conforme o sentido do desloca-



mento fôr o da radiação ou o oposto. Haverá  $\frac{n}{V \mp v}$  ondas por unidade de comprimento e o número de ondas recebidas pelo observador, por segundo, será:

$$N = \frac{n V}{V \mp v}$$

Portanto, quando o foco se aproxima, a freqüência aparente é maior, e observa-se no espectro o deslocamento das riscas para o lado do violeta; no caso em que foco se afasta a freqüência é menor, observando-se então um deslocamento das riscas espectrais no sentido do vermelho.

Anàlogamente se verificaria o que sucede quando tanto o foco como o observador estão em movimento.

Da última expressão deduz-se facilmente o valor de  $v$  em função dos comprimentos de onda, atendendo a que entre a freqüência  $n$  e o comprimento de onda  $\lambda$  duma radiação existe a relação fundamental

$$n = \frac{V}{\lambda}$$

Se representarmos por  $\Delta \lambda$  a variação do comprimento de onda correspondente ao efeito Doppler-Fizeau obtemos a expressão da velocidade em função dos comprimentos de onda:

$$v = \frac{V}{\lambda} \Delta \lambda$$

Conhecidos os comprimentos de onda dos elementos terrestres com rigor suficiente, podemos determinar a variação  $\Delta \lambda$  observada nos espectros emitidos pelos corpos celestes.

À variação das condições físicas que produzem os diferentes aspectos das riscas já notados por Secchi, Young e Lockyer, também se têm atribuído algumas variações de comprimentos de onda das riscas.

Foi William Huggins quem primeiro applicou este princípio em 1867 às estrélas, utilizando um espectroscópio visual.

Só em 1890 é que Vogel introduziu o método espectrográfico tornando estas medidas mais precisas.

Estes serviços estão já montados em alguns observatórios,

e os resultados obtidos interessam a tóda a astronomia física, sendo já muito considerável o número de estrêlas estudadas.

Noutro trabalho que temos em preparação nos ocuparemos pormenorizadamente da aplicação geral dêste princípio.

Para o Sol, com o fim de estudar a sua rotação, fêz Duner, de 1888 a 1890, e entre 1901 e 1903, medidas consideradas muito célebres, e discutiu as fórmulas de Carrington, Fay e Spörer, obtidas com as observações das manchas.

Estes estudos demonstraram diferentes variações na rotação do Sol.

Confirmou-se a variação com a latitude e foram verificadas variações com os elementos escolhidos no Sol relativamente ao período undecenal.

Halm, entre 1903 e 1906, indicou diferenças sistemáticas na rotação, de ano para ano.

Em Mount Wilson, Adams e depois St. John efectuaram grandes séries de medidas que permitiram comparações valiosas, pois êste método permitiu estender o estudo da rotação solar além das zonas reais. Os resultados mais recentes demonstram a necessidade de se prosseguir nestes estudos para a investigação da circulação da atmosfera do Sol.

Também por êste método se pode realizar o estudo das velocidades que se observam nos diferentes elementos da atmosfera solar. Os instrumentos destinados a estas medidas considerou-os H. Deslandres desde logo fundamentais para a interpretação das fotografias da atmosfera solar. H. Deslandres pôde, de facto, por êste processo conseguir a primeira caracterização mais rigorosa dêstes fenómenos.

No Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra fêz-se também uma instalação com êste fim. A montagem foi realizada de maneira a fotografar-se uma imagem sensivelmente circular do Sol, por meio de secções sucessivas dadas pela segunda fenda, mais ou menos alargada de maneira a isolar além das risca a estudar uma pequena porção do espectro. Os movimentos contínuos da objectiva de projecção e da chapa fotográfica, transformam-se em movimentos descontínuos.

Para operar é necessário colocar em frente da primeira fenda um obturador eléctrico. Como indica a fig. 16 num suporte colocado junto ao que sustenta a objectiva O, foi fixado um parafuso sem fim P. Êste parafuso por meio da manivela M colocada



num tambor graduado comunica o movimento descontínuo à objectiva O por intermédio da alavanca AB móvel em volta de B. Esta ligação pode efectuar-se rapidamente. O comprimento do parafuso foi determinado em harmonia com as dimensões das imagens do Sol. A alavanca fixa-se numa posição, que calculámos atendendo à amplificação do espectroheliógrafo e tal

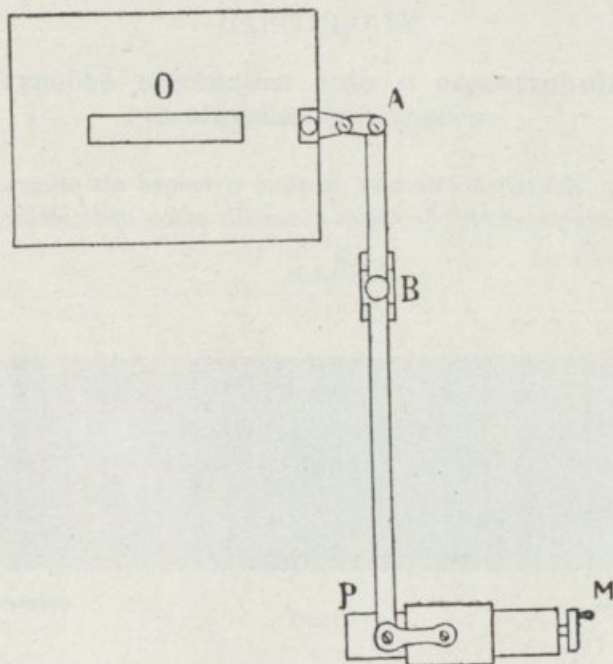


Fig. 16

que o deslocamento de toda a imagem em frente da primeira fenda permita uma fotografia circular, formada pelos espectros sucessivos da região que se pretende estudar. Estes espectros correspondem às secções efectuadas no Sol pela primeira fenda.

No eixo do transformador de velocidades da segunda fenda coloca-se uma roda com um dente assente na armadura dum electro-iman a qual é posta em movimento por um sistema de engrenagens a que está ligada por uma correia. Este movimento só tem lugar quando é atraída a armadura do electro-iman.

Os dois comutadores eléctricos que comandam o electro-iman

que produz o movimento descontínuo da chapa fotográfica e o obturador da primeira fenda, foram colocados junto do parafuso sem fim, de maneira que nesta posição, um observador executa os três movimentos necessários para a determinação das velocidades radiais dos diferentes elementos do Sol.



## CAPÍTULO IV

### Observações efectuadas com o espectroheliógrafo e algumas conclusões

A região do espectro onde se encontra a risca K, perto do ultra-violeta, tem como dissemos especial interêsse para os estu-

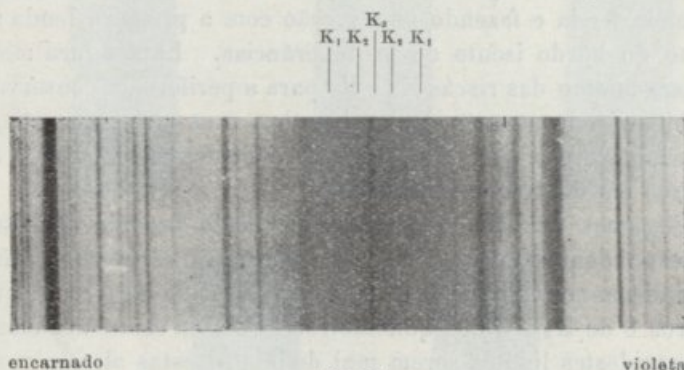


Fig. 17

dos solares, e por isso, foi logo utilizada nas investigações de física solar, no Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra.

Aproveitando o espectroheliógrafo como espectroscópio e espectrógrafo foram feitos desde logo diversos estudos espectroscópicos, parte dos quais já indicámos nos capítulos anteriores a propósito da rectificação de algumas peças ópticas e mecânicas.

Fizemos séries de fotografias de espectros, e na região da risca K obtivemos o espectro representado na fig. 17 fazendo intersecções com a primeira fenda nas regiões calmas do Sol. Nesta figura podemos seguir a variação média da intensidade K e avaliar as larguras médias correspondentes.

A risca central que é representada com a letra  $K_3$  tem uma largura média de  $0,15 \text{ \AA}$ .

Efectuadas as fotografias monocromáticas para diferentes posições da segunda fenda verificou-se que a imagem característica de  $K_2$  é obtida colocando a fenda à distância de  $0,25 \text{ \AA}$  contados a partir do centro, e a de  $K_1$  à distância de  $0,50 \text{ \AA}$  a  $1,27 \text{ \AA}$ .

A intensidade de  $K_1$  aumenta gradualmente até atingir a intensidade do espectro contínuo vizinho. Os seus limites são pois mal definidos indicando alguns autores  $15 \text{ \AA}$ . Às intensidades das componentes da risca  $K$ , que têm sido objecto de repetidas e cuidadosas medidas, atribuem-se os seguintes valores: — a intensidade de  $K_3$  é  $10\%$  do espectro contínuo vizinho, a intensidade de  $K_2$  é  $18\%$ , e  $K_1$ , ao princípio, é  $16\%$ .

As figs. 18, 19, 20, 21 e 22 mostram alguns aspectos da risca no bôrdo.

A fotografia representada na fig. 18 foi obtida alargando a segunda fenda e fazendo uma secção com a primeira fenda num ponto do bôrdo isento de protuberâncias. Esta figura mostra o alargamento das riscas  $K_3$  e  $K_2$  para a periferia, a conservação da intensidade através do bôrdo solar, e os níveis que atingem na cromosfera a risca  $K_2$  e  $K_3$ . Estendemos êste estudo a todo o disco em diferentes épocas.

Algumas medidas que temos efectuado fazendo as leituras correspondentes aos extremos de  $K_3$  e do espectro contínuo, permitiram-nos fixar o nível médio superior de  $K_3$  a  $8.000$  quilómetros e de  $K_2$  a  $4.000$  quilómetros. Como a estatística mostra, a-pesar-dêstes limites serem mal definidos, estas alturas variam sensivelmente com os diferentes pontos da periferia e com a época da observação.

Nos eclipses tem-se observado a risca  $K_3$  até à altura de  $14.000$  quilómetros.

Ainda se vê nesta figura que a largura máxima de  $K_3$  é atingida além do bôrdo, diminuindo a seguir, o que lhe dá o aspecto duma lança.

Na fig. 19 representamos o caso em que se encontra na periferia uma região facular.

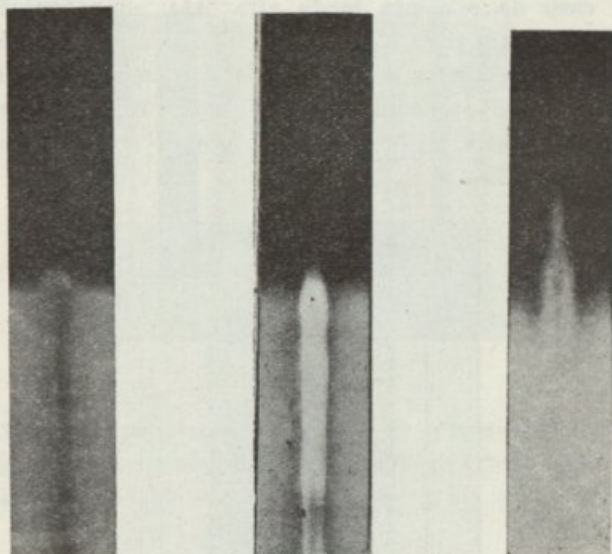
As riscas  $K_2$  são mais brilhantes e talvez por isso não se verifica o augmento habitual da risca  $K_3$ , devido ao contraste, neste caso, pouco visível. É um dos casos que exige medidas fotométricas e micrométricas rigorosas.

A fig. 23 mostra como se comportam estas riscas sobre uma região facular situada no interior do disco. Observa-se o

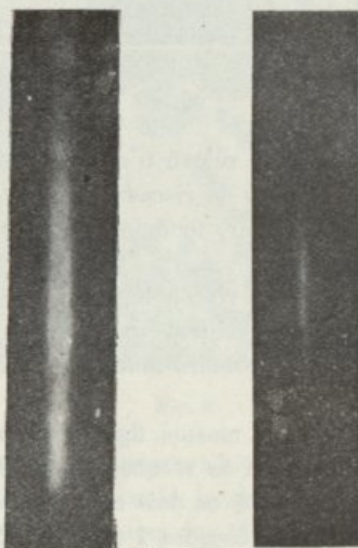


augmento da intensidade das riscas  $K_2$  e um estreitamento da risca  $K_3$ , pelo menos aparente.

A risca  $K_3$  também é mais brilhante neste caso.



Figs. 18, 19 e 20

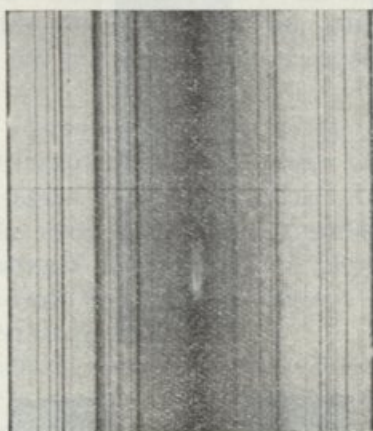


Figs. 21 e 22

A dissimetria que se nota nas riscas  $K_2$ , sendo mais larga a risca  $K_2$  situada do lado do vermelho, diminui gradualmente

a partir do centro, e desaparece por completo na periferia. Os deslocamentos da risca  $K_3$  desfazem por vezes esta dissemetria.

No caso da primeira fenda atravessar uma protuberância estende-se mais a risca  $K_3$  de harmonia com a elevação da protuberância, como mostra a fig. 20. Se a primeira fenda atravessa apenas a protuberância, aparecem nesta região do espectro sòmente as riscas  $K_3$  e  $K_2$  como mostra a fig. 21 ou só a risca  $K_3$  fig. 22.



encarnado

violeta

Fig. 23

Êste exemplo põe em relêvo o caso já referido da variação que se observa no número de riscas emitidas, com as diferentes camadas da atmosfera solar, fenómeno que ainda não está completamente elucidado.

Sòbre as manchas as riscas  $K_2$  aproximam-se ou unem-se como mostra o aspecto central da fig. 24 correspondente à secção feita em 3 pela primeira fenda no núcleo duma mancha, figs. 25 e 26.

Os dois espectros da mesma figura que se seguem dum e doutro lado correspondem às secções 2 e 4, figs. 25 e 26, sòbre a penumbra da mancha, e os dois espectros das extremidades, fig. 24, correspondem às secções 1 e 5, figs. 25 e 26, efectuadas pela primeira fenda na região facular a que pertence a mancha.

Na fig. 25 reproduzimos a fotografia efectuada com a risca  $K_3$ . Nela se vê a região facular onde está situada a mancha



considerada. Na fig. 26 encontra-se a fotografia da mancha obtida na imagem integral do Sol, efectuada poucos minutos depois da imagem monocromática.

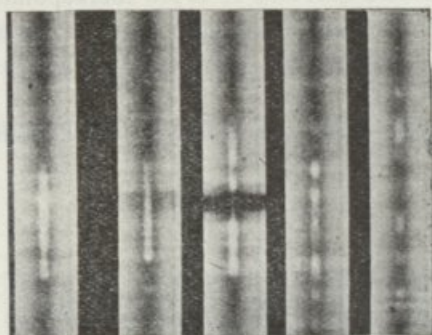


Fig. 24

As riscas  $K_1$  seguem as variações de intensidade das outras componentes, mas tendem a desaparecer no bôrdo solar.

Atendendo ao que se passa nos bordos em que a camada de

1 2 3 5 5  
| | | | |



Fig. 25

vapor é vista sob uma espessura muito maior, H. Deslandres, visto ser ali a risca  $K_3$  mais larga, concluiu que a camada superior é muito fina por cima das fáculas, que têm maior espessura em volta das fáculas, faltando a camada média sôbre as manchas.

Na fig. 1 da Est. II e na Est. III reproduzimos duas foto-

grafias monocromáticas tiradas com um pequeno intervalo de tempo uma da outra. A fotografia da Est. II foi tirada às 8<sup>h</sup> e 40<sup>m</sup> T. U. no dia 11 de Outubro de 1928 com a risca K<sub>3</sub>. Demos à primeira fenda uma abertura de 0<sup>m</sup>,09 correspondente a 0,15 Å. Obtem-se assim um bom isolamento da risca K<sub>3</sub> em virtude da dispersão que determinámos para esta região do espectro ser de 1 Å por 0<sup>m</sup>,6.

Nesta fotografia vê-se bem a rede dos flóculos distribuída por

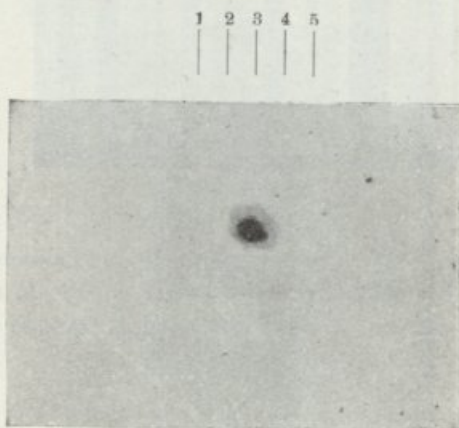


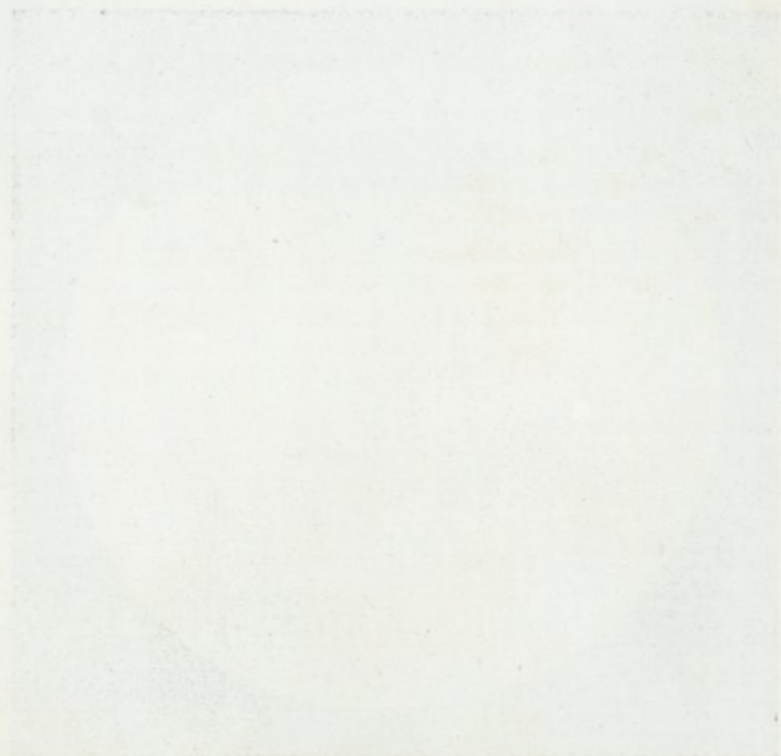
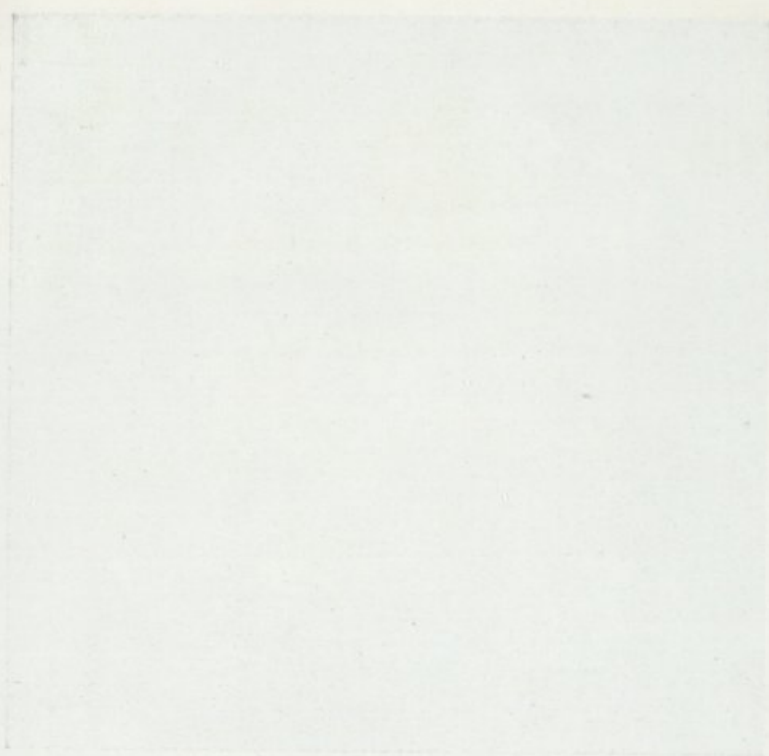
Fig. 26

todo o disco. As outras zonas brancas de maiores dimensões constituem *regiões faculares* dispostas ao longo das zonas reais, logo referidas nos primeiros estudos do Sol, para as *fáculas* observadas na fotosfera. Vêem-se também umas regiões mais escuras, geralmente alongadas, os filamentos, que são as regiões em que a risca K<sub>3</sub> é mais escura.

Na Est. II, fig. 2, reproduzimos a mesma fotografia com outra pose para ser possível reproduzir as protuberâncias.

A fotografia representada na Est. III mostra uma imagem monocromática do Sol tirada com a risca K<sub>1</sub> pouco tempo depois de ser tirado o espectroheliograma representado na fig. 1 da Est. II. A abertura das duas fendas era a mesma que serviu para a fotografia anterior. Deslocámos a segunda fenda de 0,50 Å contados a partir do centro da risca K<sub>3</sub>. Um rápido exame indica logo a diferença de estrutura das camadas de vapores fotografadas com as riscas K<sub>3</sub> e K<sub>1</sub>. O aspecto desta última apro-





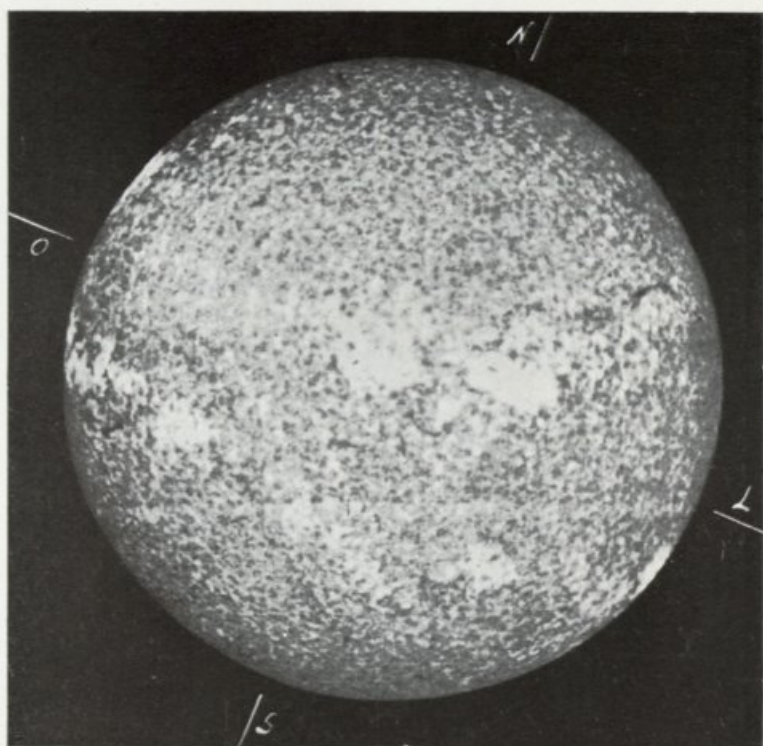


Fig. 1

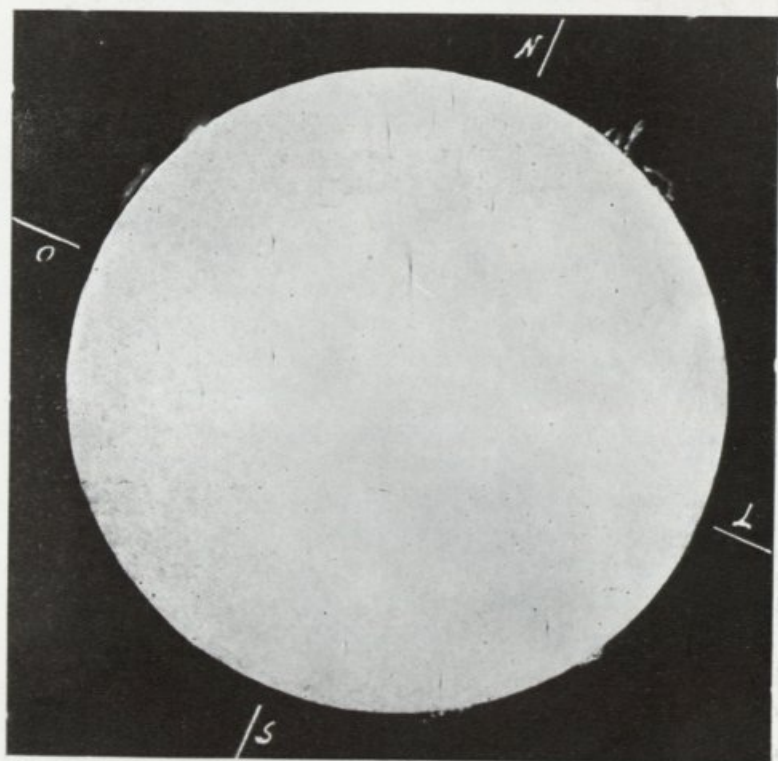
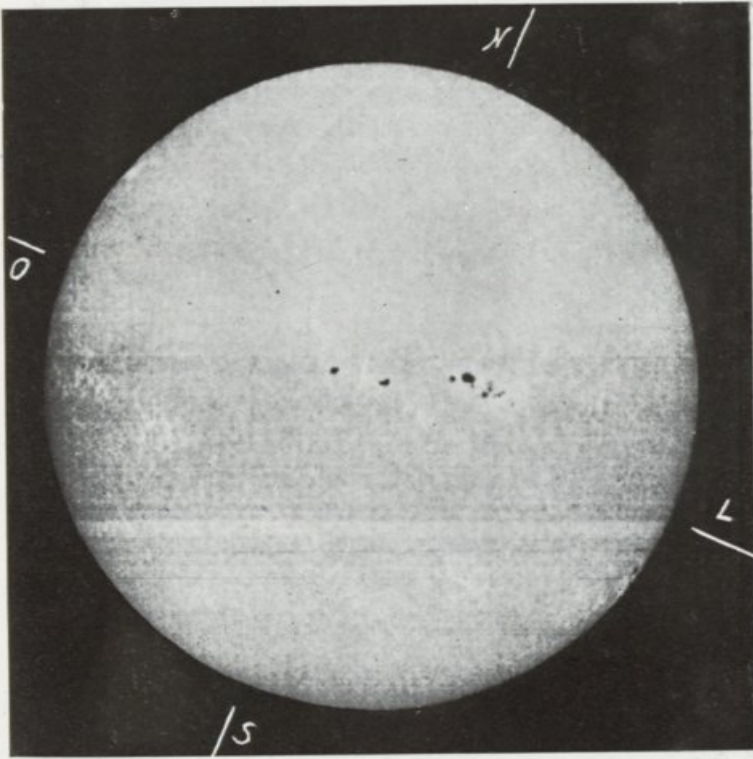
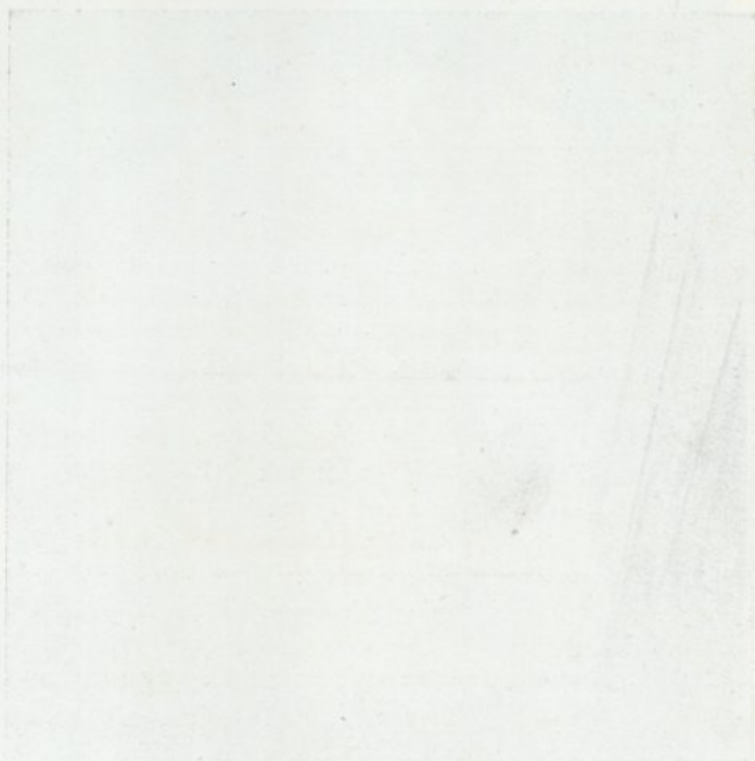


Fig. 2









xima se muito das fotografias da fotosfera. Nesta fotografia mostram-se as manchas com a penumbra e as fáculas.

Tanto as fáculas desta fotografia (risca  $K_1$ ) como os flóculos têm sido atribuídos a parte da luz da fotosfera. P. Fox verificou que à distância de  $3,1 \text{ \AA}$  a partir do centro da risca o espectro contínuo das fáculas sobrepõe-se à risca  $K_1$ . Torna-se pois necessário prosseguir o estudo desta influência por meio dum deslocamento gradual da segunda fenda através das bandas  $K_1$  efectuando simultaneamente fotografias da fotosfera.

Debaixo deste ponto de vista são já muito completas as investigações feitas por L. d'Azambuja com outras riscas também providas de bandas laterais esbatidas, fenómeno que os estudos espectroscópicos indicam estender-se a tôdas as riscas fortes do espectro solar. As riscas estudadas por L. d'Azambuja apresentam uma saliência nos limites do espectro contínuo na posição ocupada pela risca média. São as riscas que se vêem nas protuberâncias eruptivas chamadas também metálicas. L. d'Azambuja considerou dois grupos: o grupo formado pelas riscas de bandas fortes e o grupo formado pelas riscas de bandas pequenas.

Nas riscas do primeiro grupo a curva de visibilidade das regiões faculares e flóculos passa por dois mínimos muito nítidos nos dois limites da risca média. O centro da risca revela as regiões faculares e os flóculos. Nos limites só se obtém a granulação, e a uma distância do centro correspondente a  $60\%$  da intensidade do espectro vizinho tornam a aparecer as fáculas e os flóculos.

Para L. d'Azambuja a proveniência das fáculas não deve ser a mesma, facto que, se atendermos às medidas efectuadas, devemos considerar paralelo ao que se passa nesta representação com  $H_1$  e  $K_1$  correspondendo a  $1 \text{ \AA}$ , a parte em que  $K_1$  atinge  $\frac{2}{3}$  da intensidade do espectro contínuo.

Nas riscas do segundo grupo, constituído pelas riscas de pequenas bandas, quasi não há reaparição das fáculas e dos flóculos, o que está de acôrdo com as conclusões a que chegou L. d'Azambuja, visto as bandas atingirem os  $\frac{2}{3}$  de intensidade do espectro contínuo, nos limites da parte central.

Nas figs. 27 e 28 reproduzimos duas fotografias da mesma região do Sol tiradas com um pequeno intervalo de tempo, a

primeira, fig. 27, com a risca  $K_3$ , que isolámos pelo processo já indicado por meio da segunda fenda, e a segunda com a risca  $K_2$ .

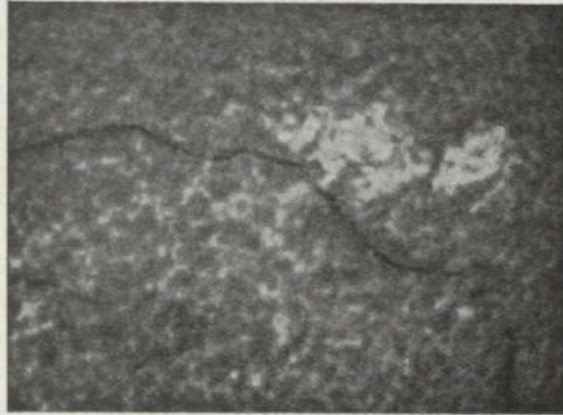


Fig. 27

Estas figuras mostram, em harmonia com a descrição que fizemos destas imagens monocromáticas no capítulo II — a va-

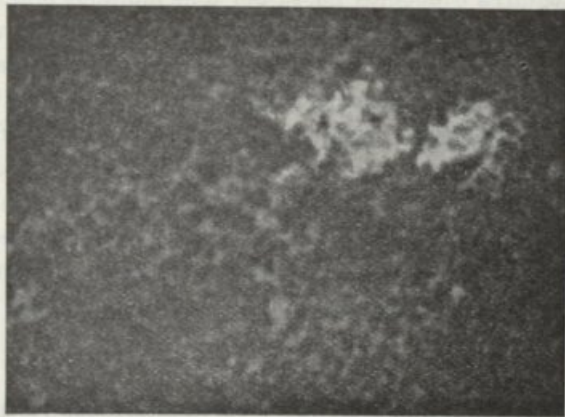


Fig. 28

riação dos elementos que as caracterizam quando se passa com a segunda fenda da risca  $K_3$  para a risca  $K_2$ , risca que dá uma camada intermediária entre a chamada camada inversora e a parte mais elevada da cromosfera.

Com uma risca da natureza da risca  $K_3$ , sinuosa e com



grandes variações de intensidade, quando se faz uma fotografia monocromática com a segunda fenda de largura constante durante a pose, nem sempre fica conhecido o isolamento com o rigor necessário, registando-se por vezes, para algumas regiões do Sol, os fenómenos revelados por outra luz.

Para êste estudo temos também aproveitado o espectro registador de velocidades descrito no capítulo anterior, que nos fornece ao mesmo tempo as velocidades radiais dos fenómenos solares relativamente às camadas atmosféricas de que nos temos ocupado. Para se conseguir uma interpretação mais completa das imagens monocromáticas das formas, Ests. II e III, é realmente de grande utilidade a imagem das velocidades radiais circular.

O método que seguimos para obtermos estas imagens é essencialmente o seguinte:

Depois de isolarmos a risca  $K_3$ , alarga-se a segunda fenda. Afasta-se depois a face fixa da segunda fenda por meio do tambor graduado  $P_3$ , fig. 12 capítulo II, de maneira a podermos observar os deslocamentos das riscas situadas na região do espectro isolado, tanto no sentido ultra-violeta como no sentido infra-vermelho. Colocada a imagem do Sol na posição conveniente na primeira fenda, imprimem-se deslocamentos sucessivos ao *chassis* que contém a chapa por meio do comutador a que nos referimos no capítulo anterior, e à lente por meio do tambor graduado M, fig. 16.

Para cada uma destas posições fotografa-se o espectro, que passa através da segunda fenda, sempre com a mesma pose que se obtém com o outro comutador que produz o funcionamento do obturador colocado em frente da primeira fenda.

A Est. IV representa a fotografia que obtivemos, pelo método que acabamos de descrever, em 2 de Julho de 1932 às 15<sup>h</sup> e 40<sup>m</sup> T. U.

Tirada num período de mínimo de actividade solar, a calma que se observa estende-se a quasi todo o disco, e denuncia logo num primeiro exame, um tal período.

Para melhor se poder comparar com a imagem tirada com a risca  $K_3$  pouco tempo antes, damos nas Figs. 29 e 30, as zonas, onde se encontram regiões faculares e manchas, que se correspondem sobre o disco nas duas fotografias, respectivamente das velocidades radiais e da risca  $K_3$ .

Estas fotografias põem claramente em evidência que a

imagem das velocidades radiais circular dá também indicações aproximadas quanto às formas dos diferentes elementos do Sol.

Apresentamos também nas figs. 31 e 32 as fotografias parciais das velocidades radiais e do espectroheliograma obtido com a risca  $K_3$  das imagens correspondentes a uma região do bordo solar onde se encontra uma protuberância.

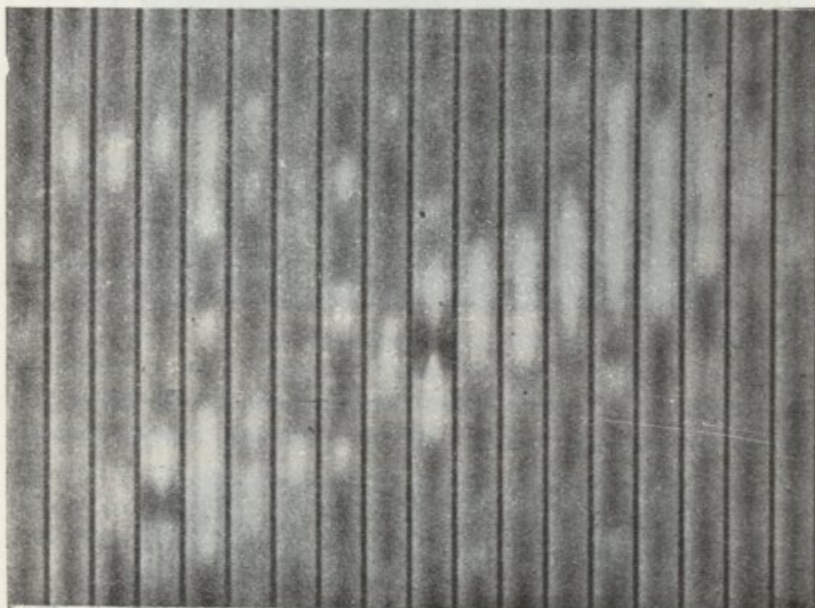


Fig. 29

Na fig. 31 observa-se o aspecto sinuoso da risca  $K_3$ , a única nesta região do espectro emitida pela protuberância representada na fig. 32.

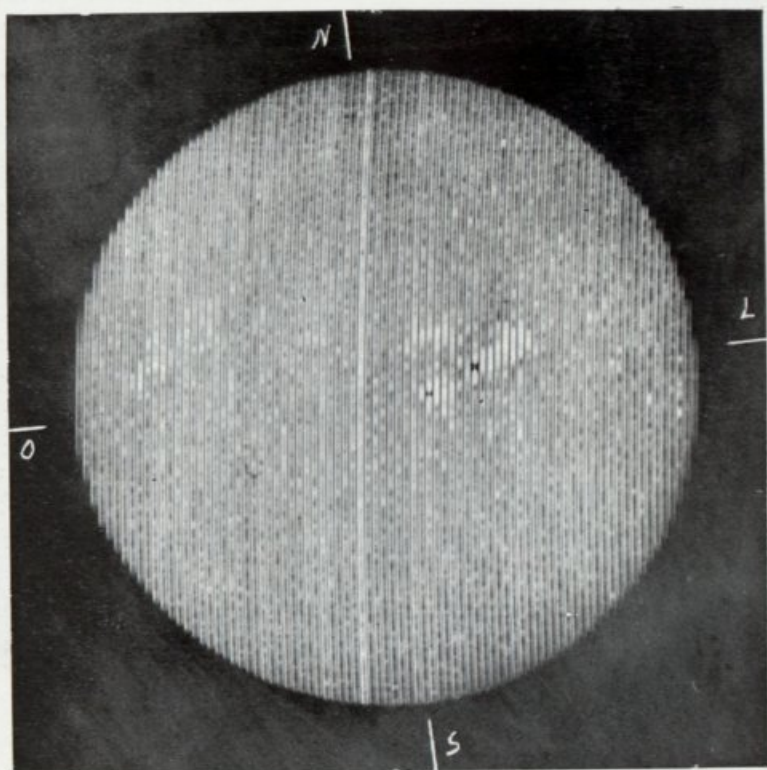
Nos pontos de maior velocidade a média das leituras indicou a velocidade de 15 quilómetros por segundo. Efectuámos as medidas a partir do bordo fixo da segunda fenda.

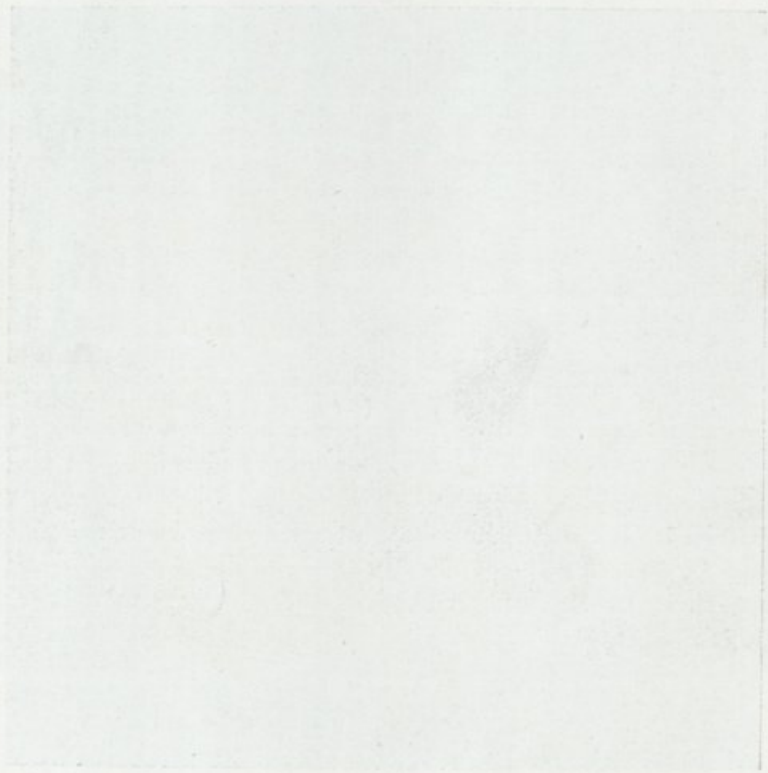
Nas figs. 33 e 34 representamos um caso análogo.

A fig. 35 mostra as variações da risca  $K_3$  com as diferentes regiões da protuberância representada na fig. 36.

Para os casos em que é necessário recorrer a um espectro terrestre de comparação podemos colocar em frente da objectiva de projecção um arco voltaico junto a um condensador formado por uma lente.









Também estamos a reunir por meio das imagens das velocidades radiais os elementos necessários para o estudo da dissimetria das duas riscas  $K_2$ . A observação dá um deslocamento relativo de  $K_3$  para o vermelho, o que está de acôrdo com os estudos de Deslandres e Saint John sôbre os movimentos verticais descendentes da camada superior relativamente à camada inferior



Fig. 80

dos vapores. As medidas, realizadas na região central do disco solar dão uma velocidade média da risca  $K_3$ , em relação à risca  $K_2$ , de três quilómetros por segundo.

Medidas de grande precisão indicam um deslocamento geral das riscas do espectro para o lado do vermelho.

Segundo a teoria da relatividade generalizada de Einstein foi previsto um deslocamento geral das riscas sôbre todo o disco. Fazendo-se a correcção do efeito Einstein observam-se os deslocamentos característicos do efeito Doppler-Fizeau correspondentes aos movimentos de descida dos vapores elevados, e de ascensão dos vapores das camadas inferiores. De facto as riscas mais intensas são deslocadas para o vermelho e as mais fracas para o violeta. Êstes deslocamentos são proporcionais aos comprimentos de onda, que são máximos no centro do disco e tendem

a anular-se para o bordo. O chamado efeito do bordo também introduz um deslocamento das riscas para o vermelho, devido à dissimetria introduzida pela difusão molecular.

Com efeito a difusão molecular será tanto mais forte quanto a espessura do vapor atravessado for maior.

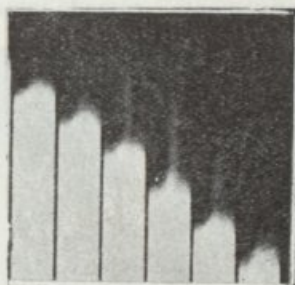


Fig. 31

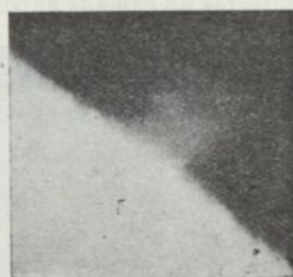


Fig. 32

Deve pois fazer-se sentir mais este efeito junto do bordo, porque aqui os raios emitidos pelas camadas inferiores atravessam uma camada com uma espessura que cresce rapidamente.

Para A. Unsöld a explicação das correntes verticais pode tornar-se independente da suposição de Saint John de que as

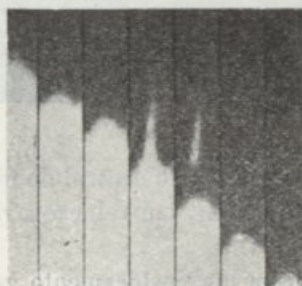


Fig. 33



Fig. 34

riscas fracas pertencem aos níveis inferiores da cromosfera, e as riscas fortes aos níveis elevados.

A parte média de todas as riscas correspondente ao mínimo de intensidade é, segundo A. Unsöld, produzida pelas camadas altas e os bordos das riscas pelas camadas baixas.

O efeito Doppler-Fizeau, devido às correntes verticais, introduz portanto uma dissimetria que produz um deslocamento relativo da parte média para o vermelho.



Conforme fôr mais larga ou mais estreita a risca, assim o observador aprecia o seu mínimo de intensidade, ou aponta ao centro.

As diferenças registadas não resultariam pois dos diferentes níveis de produção das riscas, mas sim da sua dissimetria.

Enquanto que, desde logo, foram relacionados os elementos

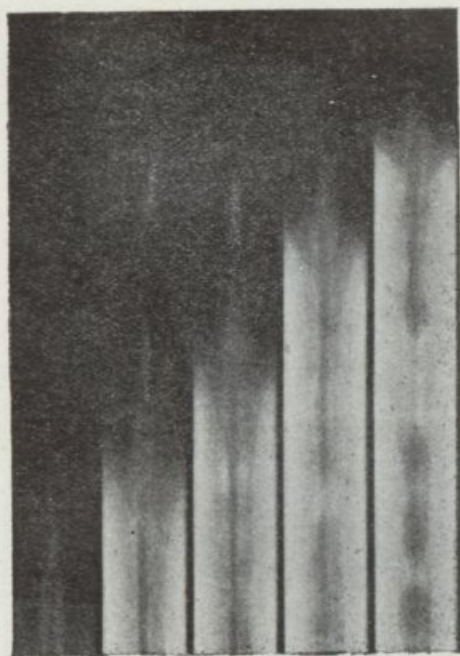


Fig. 35

mais característicos das camadas cromosféricas, as zonas escuras, talvez porque não tinham nada que lhes correspondesse nos fenómenos observados até então sobre o disco, ficaram por muito tempo desligadas dos outros fenómenos. Logo que foi possível observá-las pelo isolamento da risca  $K_3, H$ . Deslandres designou estas zonas por *filamentos*, atendendo apenas à sua forma característica. Com as imagens  $K_{2,3}$ , Hale e Ellerman referiam-se na mesma ocasião a estes fenómenos descrevendo-os como linhas escuras sobre o disco, elementos curiosos provindo muito provavelmente das camadas superiores, e designaram-os por *compridos flocculi negros de cálcio*.

O aparecimento, por vezes observado, duma protuberância,

depois dum filamento atingir o bôrdo solar nessa região, ou dum filamento, ao cortar o bôrdo uma protuberância, e mais tarde a observação, por meio do espectrógrafo registador das velocidades, do comportamento paralelo entre os filamentos e as protuberâncias, levou a pensar que os filamentos poderiam ser considerados como sendo a projecção das protuberâncias sôbre o disco.



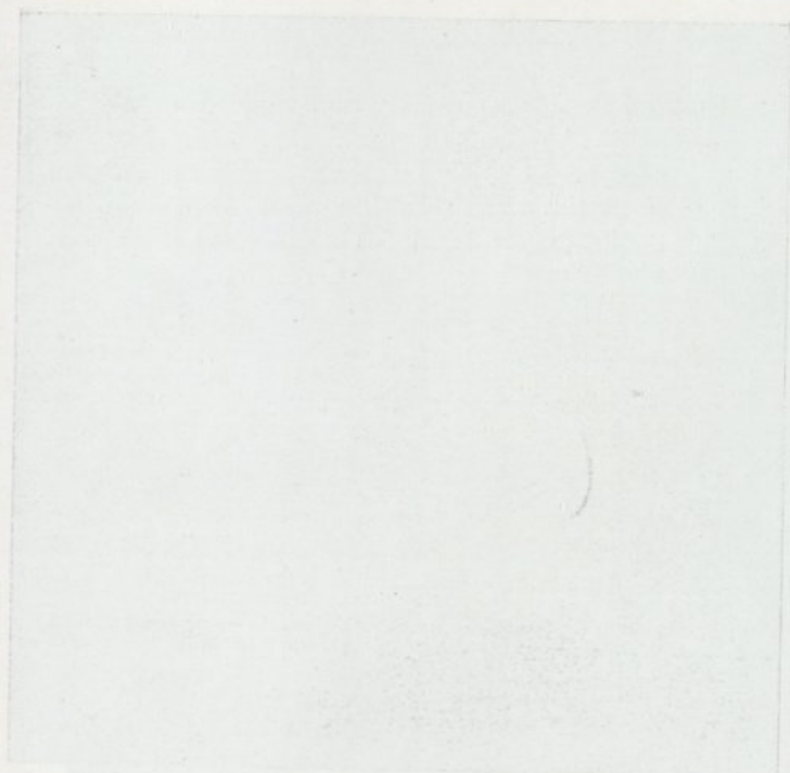
Fig 38

As duas séries de fotografias reproduzidas nas figs. 1 e 2 Est. V, na Est. VI e figs. 38, 39, 40 em que reproduzimos os espectroheliogramas da risca  $K_3$ , efectuadas com o intervalo de 24 horas dá um exemplo dêste paralelismo.

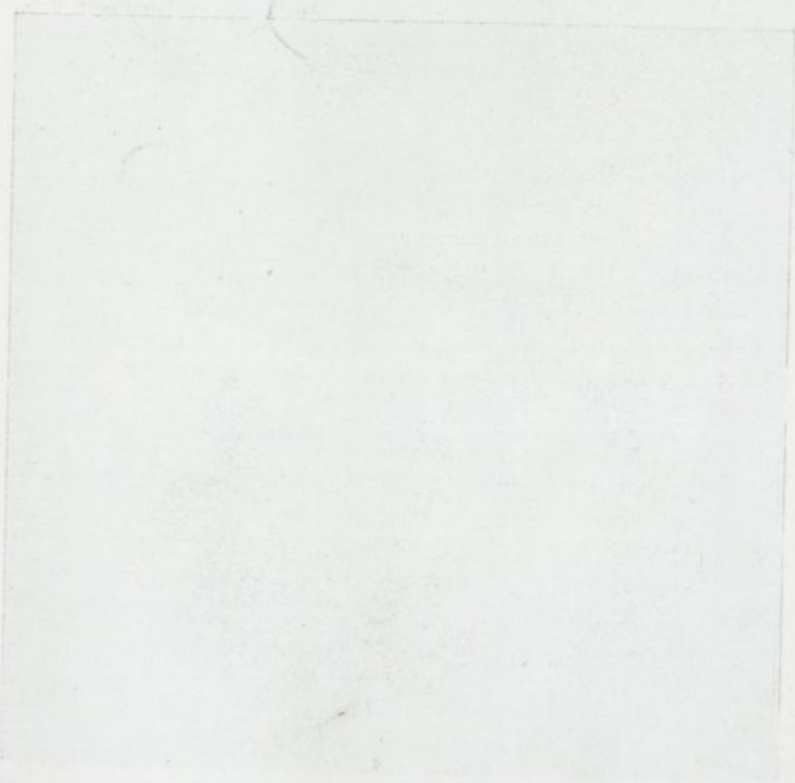
Nas Ests. V e VI vê-se entre N e L um filamento que se alarga e difunde rapidamente. Na fig. 37 desenhámos os três aspectos do contôrno dêste filamento, correspondentes aos três dias, e também indicamos a sua localização no hemisfério solar.

As posições sucessivas ocupadas por êste filamento nos três dias, estão designadas pelas letras *a*, *b* e *c*. Na posição *b*<sub>1</sub> desenhámos o filamento na posição que deveria ocupar no terceiro





1. 14



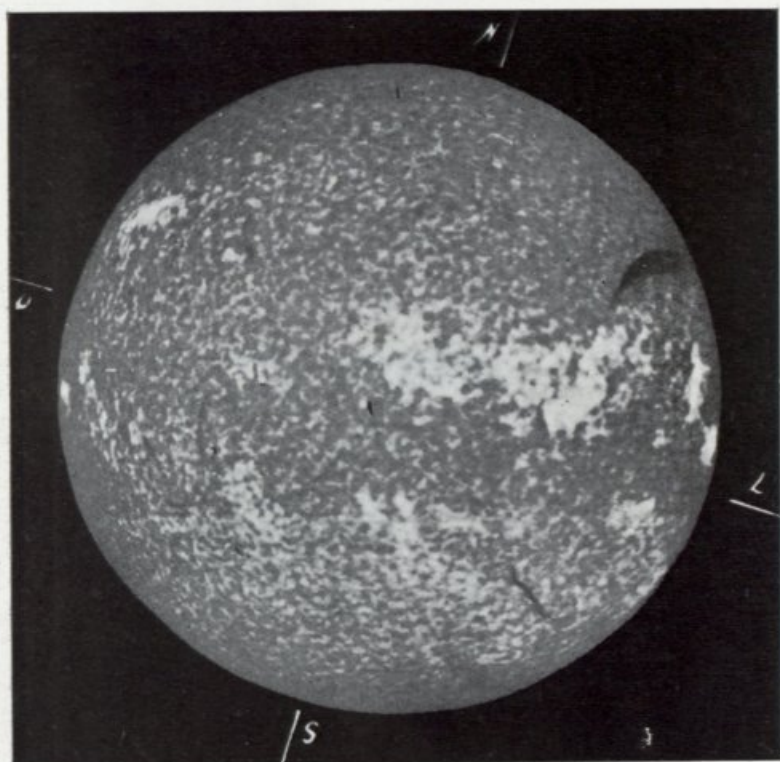


Fig. 1

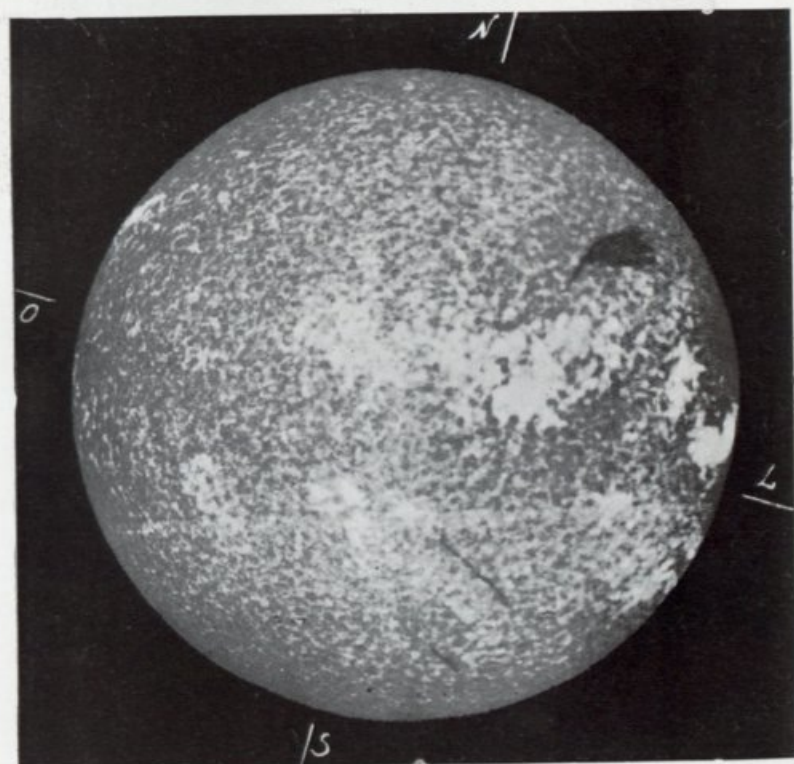
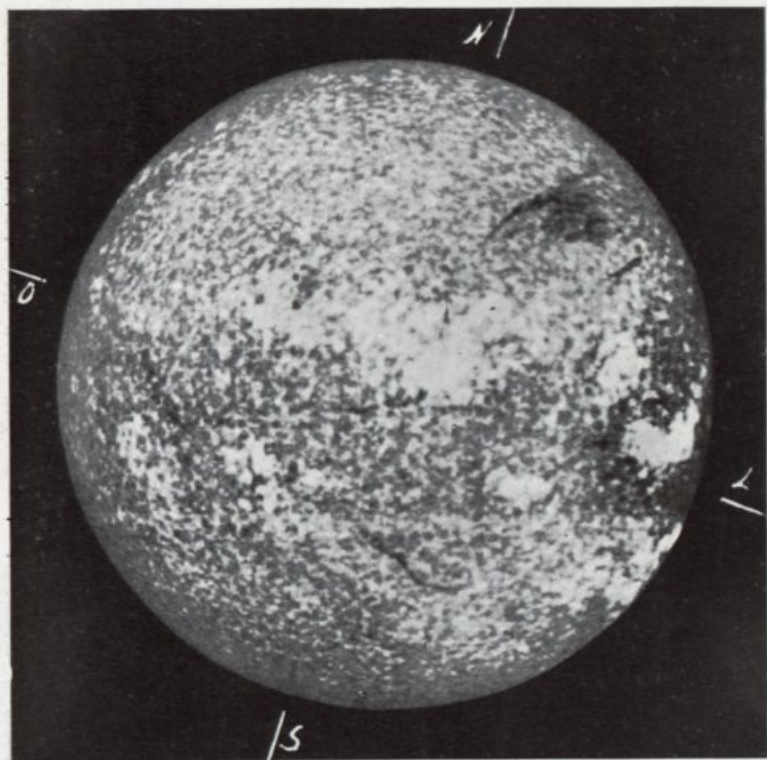
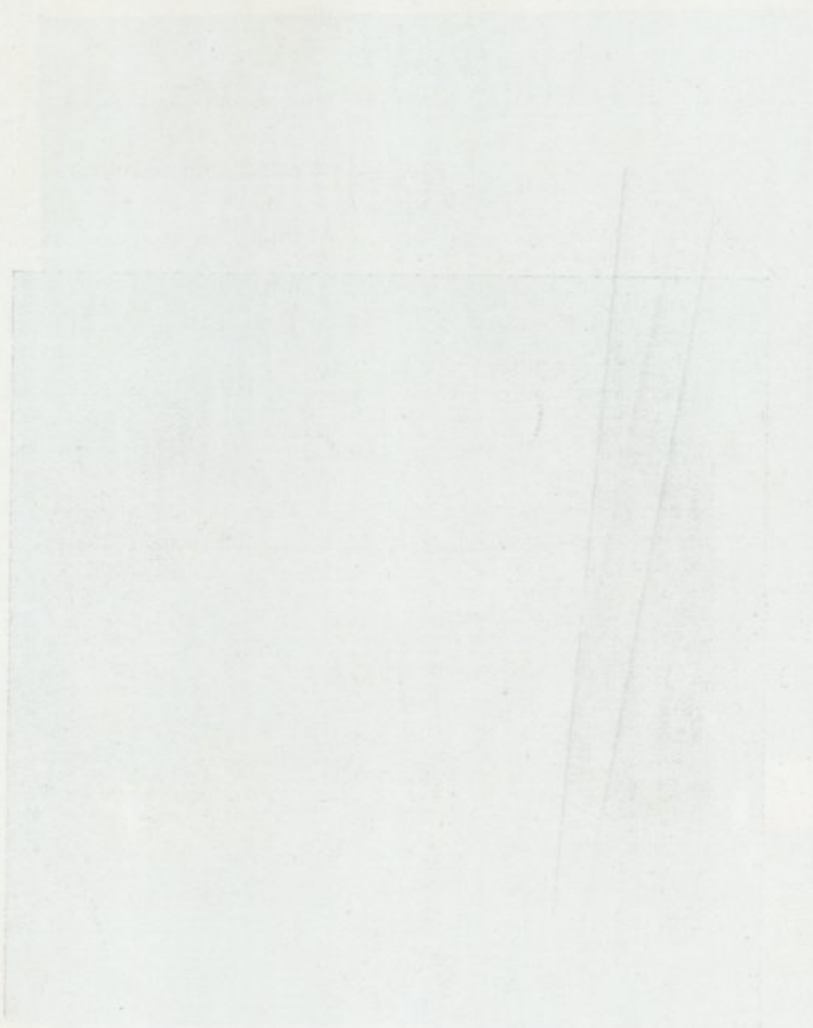


Fig. 2









dia, devido à rotação solar, e conservámos-lhe a forma que tinha na véspera. Vê-se pois na figura que, ocupando a posição *c*, no terceiro dia, o filamento teve um grande deslocamento relativo à superfície do Sol, modificando-se muito simultaneamente. Do lado Leste atingiu uma largura dupla da do dia anterior. A

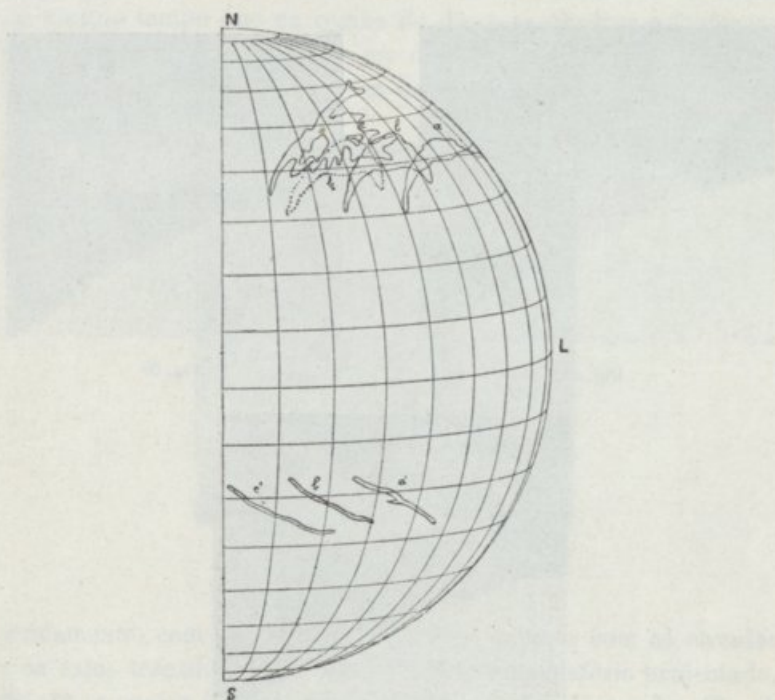


Fig. 37

extremidade situada mais ao Norte, nas 24 horas, percorreu, sobre a superfície da cromosfera, em virtude da difusão do filamento, uma distância de 190.000 quilómetros.

Um fenómeno análogo tem lugar com a protuberância representada nas figs. 38, 39 e 40 que se eleva e reduz rapidamente. Estas três fotografias foram tiradas em três dias sucessivos.

Por outro lado o filamento situado ao Sul nas Ests. V e VI conserva durante os 3 dias a mesma configuração.

Na fig. 37 onde representámos as posições correspondentes deste filamento verifica-se que a modificação operada foi devida à rotação do Sol. Igualmente se observam muitas protuberân-

cias onde a única variação de aspecto é apenas devida à rotação do Sol.

H. Deslandres escreveu em 1905 que por vezes a base da protuberância se prolongava através do bordo para o interior do disco, mas acrescentava que a protuberância não estava exactamente no seu prolongamento. Ficava assim demonstrada clara-



Fig. 38



Fig. 39



Fig. 40

mente a necessidade de se procurarem as relações entre estes dois fenómenos.

L. d'Azambuja prosseguiu mais tarde nestes estudos tendo obtido já resultados muito importantes.

Quando tive de estudar de novo os espectrogramas efectuados no Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra com a risca  $K_3$ , com o fim de desenhar em verdadeira grandeza nas imagens planificadas, adoptadas nos *Anais* deste Observatório, os fenómenos revelados pela risca  $K_3$ , procurei logo verificar esta relação que já tinha sido indicada pela primeira vez como



conseqüência da observação das imagens obtidas no Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra. Para esta investigação tenho adoptado o seguinte método :

Estudo minuciosamente, em todas as imagens que se prestam, as transformações que se operam à medida que as protuberâncias contornam o disco solar, tanto na sua entrada como na saída, ao mesmo tempo que na região do disco se observa o fenómeno *filamentoso*. Comparo então em dias sucessivos a fotografia no próprio negativo, única imagem que em geral dá os pormenores

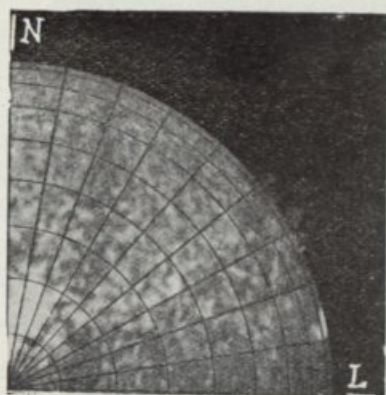


Fig. 41

nitidamente, com a imagem no positivo coberto com os círculos e os raios traçados de  $10^\circ$  em  $10^\circ$  sobre o hemisfério projectado, fig. 41, e com a imagem planificada correspondente, fig. 42. A primeira zona a partir da periferia leva à pormenorização da base das protuberâncias no momento em que começam a contornar o bôrdó solar, pormenorização indispensável para se desenharem esta base em verdadeira grandeza na primeira zona de  $10^\circ$  das imagens planificadas.

Na primeira imagem de 1 de Janeiro de 1929 pude logo efectuar este estudo para a protuberância situada no sector N L, figs. 41 e 42. Pelo processo acima pude verificar, como mostram as duas figs. 41 e 42, que as regiões de maior absorção da protuberância junto ao bôrdó são continuadas por filamentos em pontos diferentes da protuberância e que os filamentos correspondentes desenhados em verdadeira grandeza na primeira zona de  $10^\circ$ , fig. 42, eram os que apareciam a formar os filamentos

depois da protuberância ter desaparecido por ter passado completamente para a parte interior do disco em virtude da rotação do Sol. Verifiquei também que as regiões da protuberância que em geral vão formar o filamento, são aquelas que têm mais intensidade. É por este motivo que algumas linhas mais escuras visíveis pela sua posição dentro da protuberância nos mostram logo por contraste o que depois da rotação vai ser um filamento

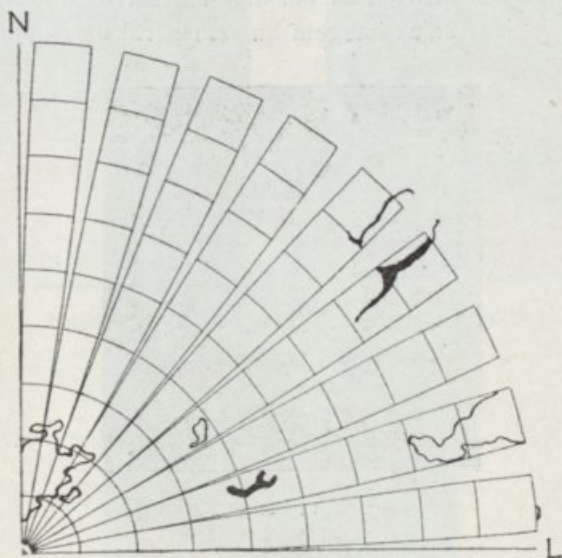


Fig. 42

quando a protuberância aparece a Leste. A zona periférica da protuberância quando dá lugar ao aparecimento dum filamento, é que em virtude da luz difusa do céu dá aspectos muito diversos, fazendo, pelo efeito do contraste, diminuir gradualmente a sua intensidade a partir da protuberância para o exterior; é este efeito de contraste que dá muitas vezes a impressão do filamento ser mais largo do que a região da absorção que está na sua continuação para o lado da protuberância, e quando o estrangulamento é grande apresenta-se o caso, que segundo o que acabamos de explicar é apenas aparente, do filamento não ficar na continuação da protuberância.

Outro caso mais importante que observámos também por este processo, consiste no facto de que as partes mais luminosas da protuberância entram algumas vezes no disco solar de maneira



a serem vistas também em projecção. A fig. 43 reproduz uma das muitas fotografias do Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra em que foi observado este fenómeno.

Além destes casos extremos, tivemos ocasião de observar já



Fig. 43

muitos casos intermediários (só bem visíveis nos negativos) sendo portanto muito variável a nitidez com que se apresentam estes fenómenos. Nos casos de pequena elevação da protuberância, pode aparecer na periferia um filamento sem que tenha sido precedido por uma protuberância. Basta, para se dar este caso,



Fig. 44

que o limite da protuberância, pouco elevada, seja formado por massas de absorção onde se dê o fenómeno de degradação luminosa.

Num filamento de 1 de Janeiro de 1929 situado entre N e O dá-se em diferentes pontos o caso em que pelo efeito da difusão, só um exame especial acompanhado do estudo que tome em consideração o efeito Doppler-Fizeau permite verificar que se trata duma região filamentosa observando-se nos referidos pontos,

ainda que um pouco modificada, apenas a r ede cromosférica. Em tais regiões pode ter lugar o aparecimento, pela rotação do Sol, duma protuberância sem que tenha havido o prévio prolongamento da protuberância por um filamento.

A protuberância representada na figura 44 a qual foi fotografada no dia 20 de Fevereiro de 1928 às 9<sup>h</sup> 42<sup>m</sup> T. U., prolonga-se até à periferia apenas por umas colunas de vapor muito

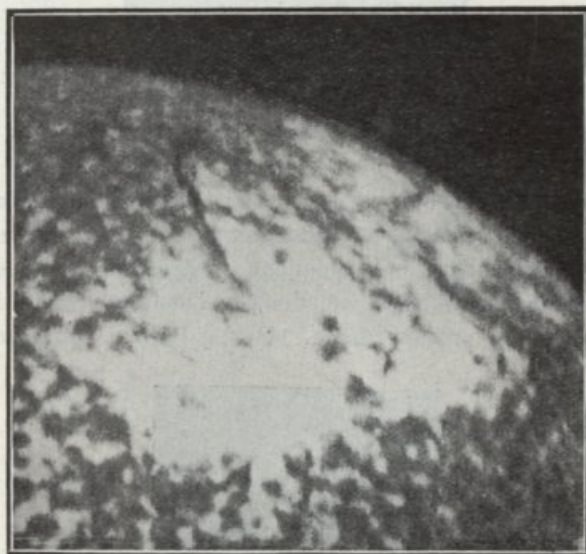


Fig. 45

finas e pouco intensas. A primeira coluna a partir da base situada do lado esquerdo d  um exemplo do efeito de contraste e da importância que pode ter a duração da *pose* na interpretação dêstes fenómenos.

Mesmo esta pose já mal define a primeira coluna de vapor considerada e s  no negativo se pode verificar, examinando a chapa com lupa, que esta coluna   prolongada por um filamento.

Uma *pose* um pouco menor, que seria suficiente atendendo ao aspecto geral da imagem monocromática, não deixaria ver a coluna de vapor que sai da parte triangular da protuberância, e portanto os prolongamentos desta protuberância por filamentos.

Junto da periferia do disco solar onde se encontra a protuberância, fig. 44, os filamentos são vistos sôbre uma camada com



o aspecto que apresenta em geral a r ede cromosférica na região pouco antes ocupada por regiões faculares.

Esta camada apresenta uma eleva o que se observa quási sempre que uma região facular atravessa a periferia. A média das medidas que efectuámos permitiu-nos avaliar em 16.000 quil ometros a altura máxima da camada em frente da protuberância acima do nível médio atingido neste dia pela cromosfera. Como

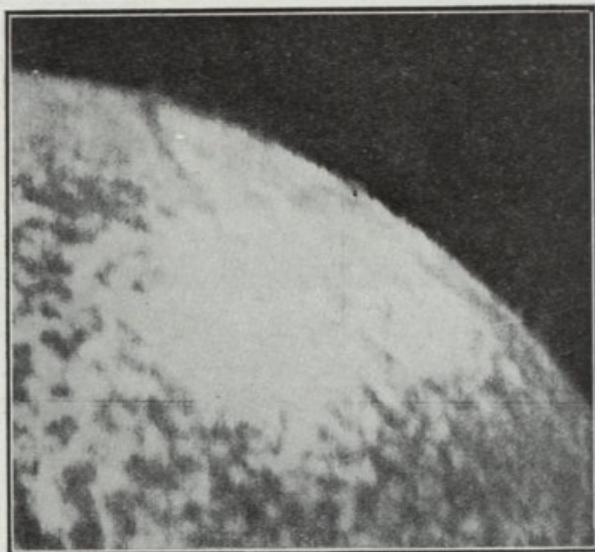


Fig. 46

por outro lado esta eleva o está rodeada por uma região facular, esta figura permite-nos portanto ver em altura a estrutura duma região agitada aonde se encontram diferentes filamentos no prolongamento das diferentes colunas de vapor que ligam a protuberância   cromosfera, num local aonde está a desfazer-se uma região facular.

Encontrámos também muitas vezes, no estudo sistemático das imagens arquivadas no Observatório, um caso que pode dificultar as compara es com os fenómenos terrestres pela dificuldade de identificar o fenómeno solar.

Isto dá-se quási sempre que os filamentos são vistos em projec o numa região facular, onde não se d  o contraste que permite identific -los f cilmente projectados na r ede cromosférica.

Quando podemos seguir êste fenómeno durante a rota o

solar, a relação, a que já nos referimos, entre as protuberâncias e os filamentos, permite-nos identificar o filamento projectado sobre a região facular da maneira seguinte. Formamos na imagem planificada os filamentos correspondentes à base da protuberância que aparecem quando a região facular a estudar atravessa o bordo do Sol.

Desta maneira pode verificar-se que estes filamentos, que formaram a protuberância, eram os que no dia anterior se encontravam sobre a região facular, o que nos permite identificar o filamento.

As fotografias das figs. 48 e 49 tiradas com a risca  $K_3$  mostram um destes casos.

Todos estes fenómenos observados na atmosfera solar estão sujeitos a variações enquanto ao seu número e dimensões, diferenciando ainda na maneira porque se passam estas transformações.

Nos mínimos de actividade solar nos quais semanas seguidas se não vêem regiões fáculares e por isso também faltam as manchas, vêem-se sempre as protuberâncias.

Na fig. 1 da Est. VII onde reproduzimos uma fotografia tirada no Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra no dia 13 de Maio de 1933 correspondente às camadas elevadas da cromosfera apenas se observa a rede cromosférica.

Vêem-se contudo grandes protuberâncias como a representada na Est. VII fig. 2. Esta protuberância foi fotografada num destes dias de mínimo de actividade solar. É uma extensa protuberância que ocupa 200.000 quilómetros na periferia do disco com uma altura média de 45.000 quilómetros.

A ampliação, Est. VIII, de parte da região central do espectroheliograma representado na Est. VII, fig. 1, foi aproveitada para efectuarmos algumas medidas na rede cromosférica. A largura média das malhas é de cerca 40.000 quilómetros. Os flóculos são compostos por outros mais pequenos com um diâmetro médio de 5.000 quilómetros.

O intervalo das malhas também apresenta uma estrutura granulosa em que os grãos têm um diâmetro médio de 3.000 quilómetros e se encontram pouco afastados como na fotosfera.

Pela maneira como aparecem relacionados e pelas correntes que as velocidades radiais revelam, todos estes fenómenos solares deverão ser considerados como manifestações locais dum fenómeno mais geral cuja causa ainda não foi possível determinar.



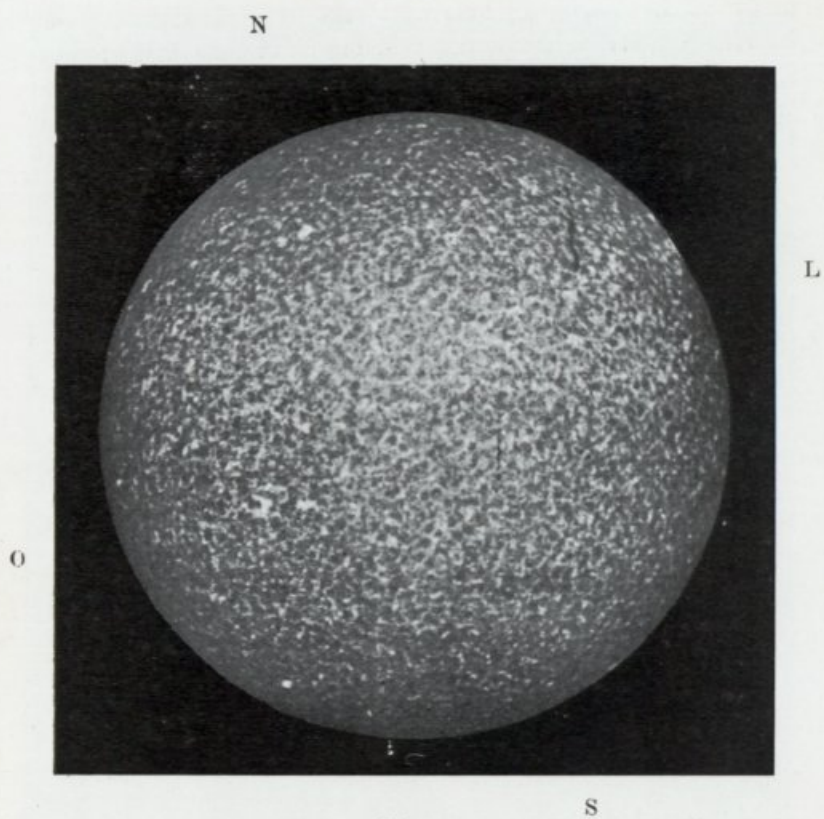
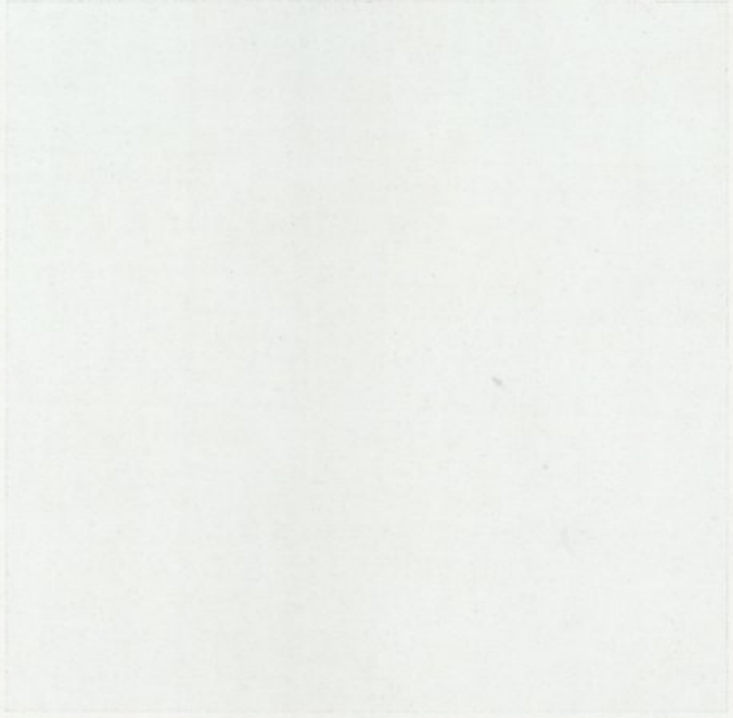


Fig. 2

Y

X

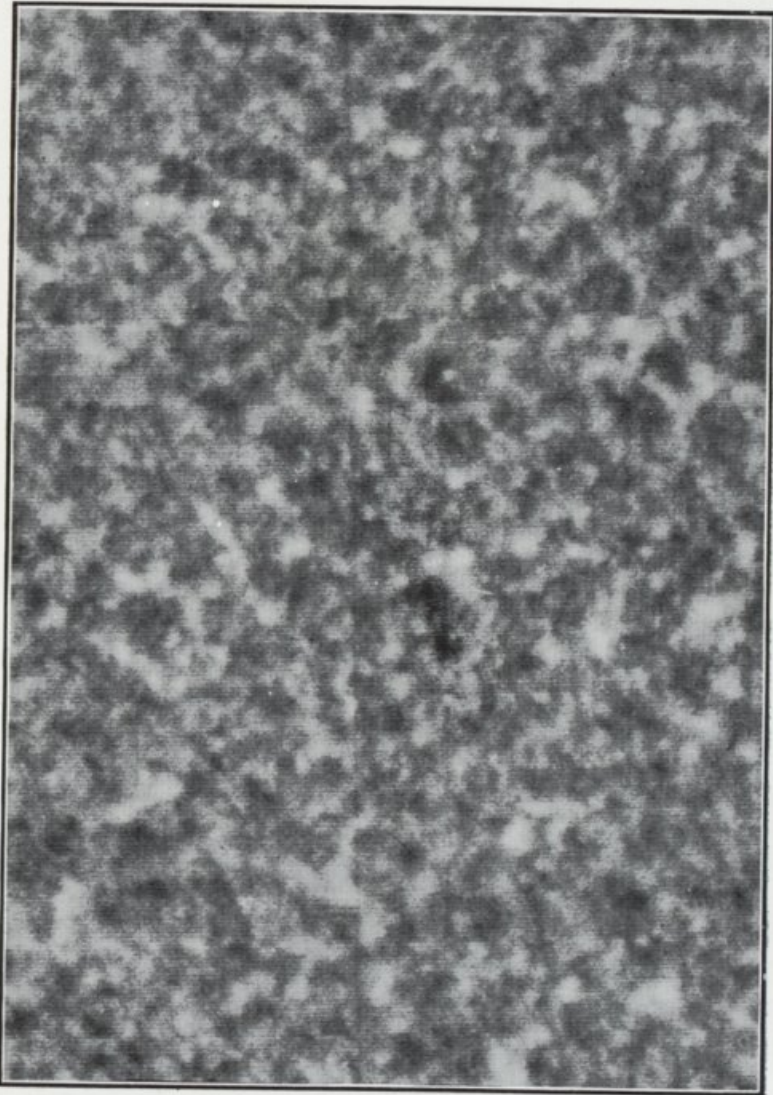


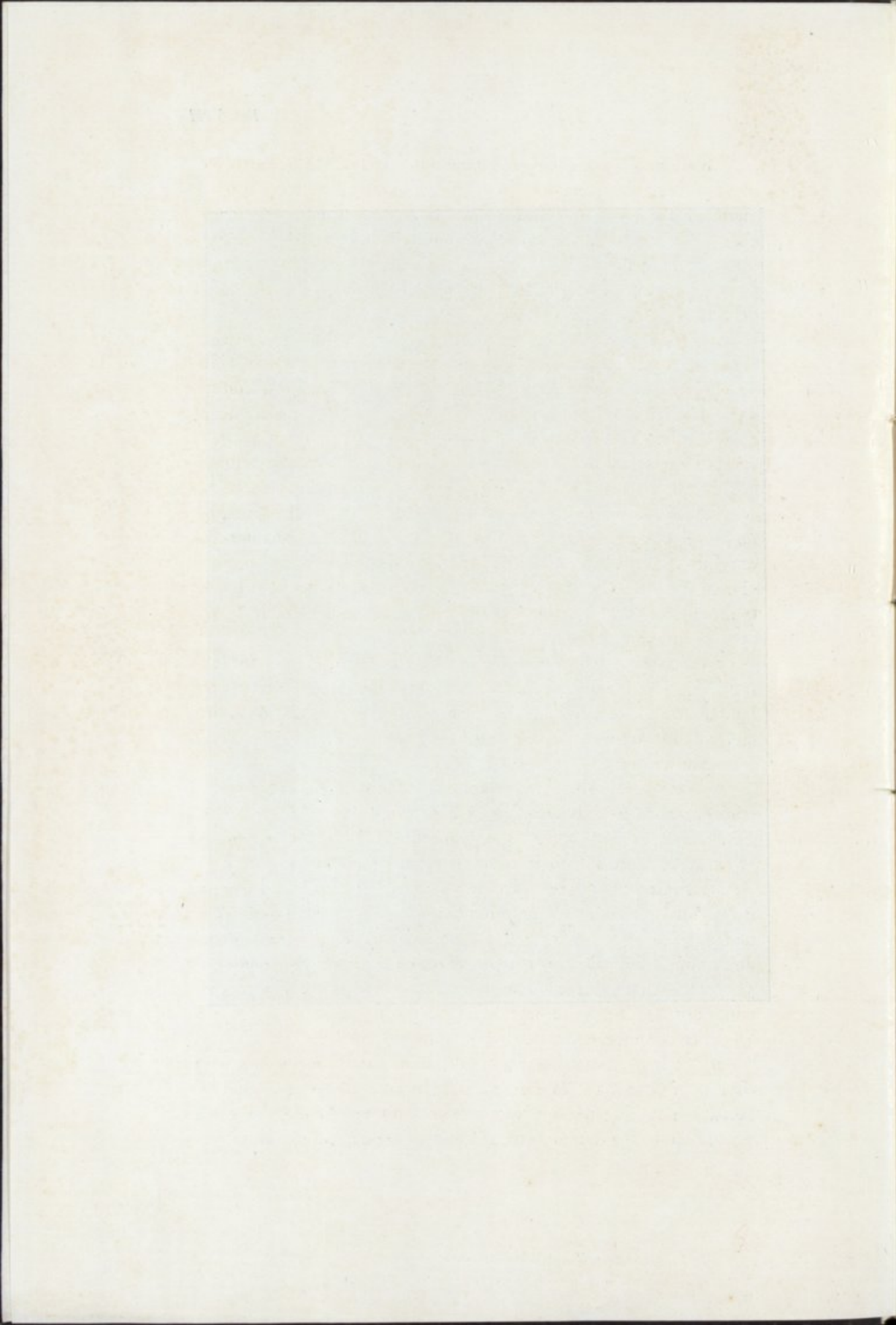
Z

111











Para esta investigação é fundamental, como sempre se tem reconhecido, uma observação o mais contínua possível. Aos registos diários das manchas a que já nos referimos, em devida altura, vieram juntar-se mais recentemente os registos desta nova série de fenómenos da atmosfera do sol cujo estudo se tornou possível depois da aplicação da espectroscopia aos eclipses totais do Sol.

Iniciados porém estes estudos há poucos anos são muitas ainda as modificações que vão sendo introduzidas nos métodos de observação. Também com as recentes convenções introduzidas, pela União Internacional Astronómica, na maneira de se aproveitarem os dados da observação para a estatística, nem sempre é possível basearmo-nos nela, desde já, para a interpretação do que se passa no Sol, bem como deduzir já das estatísticas a influência do Sol sobre a Terra, por exemplo: no clima, magnetismo, electricidade, auroras boreais, etc. Bastará atender aos períodos undecenais de actividade já conhecidos para se reconhecer que muitas das deficiências notadas nestas estatísticas resultam de não se estenderem ainda a um intervalo de tempo suficientemente grande.

Nas estatísticas publicadas até agora por alguns observatórios: Meudon, Greenwich, Mount-Wilson, Cambridge, Stonyhurst, Kodaikanal, Zürich, Ebro, Arcetri, Catania, Madrid, Coimbra, etc., encontram-se contudo, extensos registos que têm facilitado o exame de muitos problemas.

O estudo sistemático dos espectroheliogramas efectuados no Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra onde desde 1926 se devem ter arquivado cerca de quatro mil chapas já contribuiu para a elucidação de alguns fenómenos.

Dalgumas conclusões apresentadas neste capítulo, resulta que o desacôrdo manifestado nalguns casos isolados, entre os fenómenos solares e terrestres, deverá provir muitas vezes da maneira muito diferente por que se comportam alguns fenómenos da atmosfera solar a-pesar-de terem configurações muito semelhantes, configurações a que na estatística internacional se dá o nome de «figuras características dos fenómenos solares».

A variação para um ano, com base nas observações feitas com o intervalo de 24 horas, quando se reúnem os dados fornecidos por diferentes observatórios, oferece também algumas dificuldades não sendo comparáveis os espectroeliogramas para

um mesmo dia pelo número grande de horas que separa alguns observatórios.

De facto neste caso a variabilidade das «figuras características» pode introduzir modificações sensíveis.

Um outro facto importante que pode impedir igualmente a comparação dos fenómenos solares é o grau de pureza das imagens monocromáticas cujo aspecto pode variar sensivelmente com pequeníssimas variações na posição e abertura da segunda fenda.

Para as regiões de grande agitação onde a duração do fenómeno é por vezes muito fugaz, tem uma aplicação especial o «espectrohelioscópio» montado por Hale em 1926 e do qual este astrónomo deu uma descrição em 1924. Por meio desta nova disposição pode formar-se a imagem dum risca no plano da primeira fenda e no seu prolongamento; por meio dum motor imprime-se simultaneamente uma pequena oscilação à primeira fenda e à segunda fenda isoladora. Desta maneira, visto que se conserva o mesmo comprimento de onda em frente da segunda fenda, e em virtude da persistência das imagens na retina, o observador munido dum ocular vê os fenómenos cromosféricos situados no campo percorrido pela primeira fenda. Foram organizadas depois outras disposições e no Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra procede-se neste momento à instalação dum espectrohelioscópio por meio dum nova adaptação adoptada para o seu espectroheliógrafo.

Com este novo aparelho poderão pois seguir-se mais amudadas vezes os fenómenos cromosféricos, o que foi desde logo possível para os fenómenos fotosféricos.

Pela medida do ângulo de que é necessário fazer girar um prisma que permite realizar a coincidência dum risca com a fenda isoladora, é possível, pelo espectrohelioscópio de Hale, determinar as velocidades radiais.

Como já escrevemos neste trabalho, na investigação da natureza dos fenómenos solares, é necessário atender sempre à dependência com que se nos apresentam. Tem por este motivo também grande importância a possibilidade de se realizar o estudo da coroa solar fora dos eclipses totais como Lyot demonstrou em 1931, o que nos permite esperar que teremos de futuro diariamente o elemento que ainda faltava, a chamada atmosfera exterior do Sol. Com a disposição de Lyot torna-se possível a



observação das protuberâncias e da cromosfera sem o auxílio do espectroscópio.

Os instrumentos do género do espectroheliógrafo do Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra têm pois ainda um grande e longo papel a desempenhar para nos fornecerem os documentos, com a maior pureza possível, da distribuição nas diferentes camadas da atmosfera solar, dos vapores que a constituem. Só podem dar realmente fotografias nestas condições os espectroheliógrafos de grande potência que permitam obter imagens suficientemente grandes e fortes dispersões.



Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.





## Índice

|  | Pág. |
|--|------|
| PREFÁCIO . . . . .   | 7    |
| CAPÍTULO I — Primeiras investigações solares — Aplicações das lunetas e da espectroscopia. . . . . | 9    |
| CAPÍTULO II — Espectrógrafo e Cœlostato . . . . .  | 17   |
| CAPÍTULO III — Velocidades radiais. . . . .  | 44   |
| CAPÍTULO IV — Observações efectuadas com o espectroheliógrafo e algumas conclusões. . . . .        | 49   |

305091



