

1. Publicação nº <i>INPE-2631-PRE/258</i>	2. Versão	3. Data <i>Jan., 1983</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>CAS</i>	Programa <i>RADIO</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>FÍSICA SOLAR, EXPLOSÕES SOLARES, INSTABILIDADE EM PLASMAS.</i>			
7. C.D.U.: <i>523.745</i>			
8. Título <i>O PROGRAMA BRASILEIRO DE FÍSICA SOLAR E RESULTADOS SOBRE A ENERGÉTICA DAS EXPLOSÕES SOLARES.</i>		10. Páginas: <i>30</i>	
		11. Última página: <i>29</i>	
		12. Revisada por	
9. Autoria <i>P. Kaufmann</i>		<i>Rauquel</i> <i>Pierre Kaufmann</i>	
Assinatura responsável <i>Rauquel</i>		13. Autorizada por <i>Parada</i> <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor	
14. Resumo/Notas - <i>É apresentada uma breve descrição do programa de física solar desenvolvido no Brasil pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). São apresentados os resultados mais recentes com ênfase aqueles relativos à produção de energia em explosões solares. Diagnósticos obtidos com sensibilidade e resolução temporal sem precedentes em micro-ondas milimétricas e raios-X duros vêm sugerindo que a fase impulsiva das explosões solares pode ser resposta a múltiplas injeções discretas quase-quantizadas em energia, com diversos graus de superposição. São apresentados os primeiros modelos reconciliando estas evidências. Após a obtenção de grande quantidade de dados, os trabalhos de interpretação estão apenas no início, e são indicadas as etapas seguintes das atividades.</i>			
15. Observações - <i>Trabalho parcialmente subvencionado pela FINEP e FAPESP. Submetido para publicação em Cien. Cult. S. Paulo.</i>			

O PROGRAMA BRASILEIRO DE FÍSICA SOLAR E RESULTADOS SOBRE A ENERGÉTICA
DAS EXPLOSÕES SOLARES

Pierre Kaufmann

INPE: Instituto de Pesquisas Espaciais, CNPq, C.P. 515, 12200 São José dos Campos, SP, Brasil.

RESUMO

É apresentada uma breve descrição do programa de física solar desenvolvido no Brasil pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). São apresentados os resultados mais recentes com ênfase aqueles relativos à produção de energia em explosões solares. Diagnósticos obtidos com sensibilidade e resolução temporal sem precedentes em micro-ondas milimétricas e raios-X duros vêm sugerindo que a fase impulsiva das explosões solares pode ser resposta a múltiplas injeções discretas quasi-quantizadas em energia, com diversos graus de superposição. São apresentados os primeiros modelos reconciliando estas evidências. Após a obtenção de grande quantidade de dados, os trabalhos de interpretação estão apenas no início, e são indicadas as etapas seguintes das atividades.

ABSTRACT

It is presented a brief description of the solar physics program being developed in Brazil by the Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). The most recent results are presented with emphasis to those relative to energy production in solar explosions. Diagnostics obtained with unprecedented sensitivity and time resolution at millimeter microwaves, and at hard X-rays, appear to suggest that the impulsive phase of the explosions can be a response to multiple discrete injections quasi-quantised in energy, with various degrees of superposition. The first models reconciling these evidences are presented. After the obtention of a great amount of data, the works on interpretation are just at the begining and the following steps of the activities are indicated.

1. NOVA GERAÇÃO DE INSTRUMENTOS PARA FÍSICA SOLAR.

Um programa avançado de Física Solar está sendo levado no Brasil pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), mobilizando recursos experimentais próprios em micro-ondas milimétricas, um projeto "Guest Investigator" no satélite SMM (Missão do Sol Máximo) da NASA, medidas cooperativas com o satélite japonês Hinotori e com outros satélites norte-americanos (ISEE-3 e P.78), medidas coordenadas em tempo real com outros rádio-observatórios (Algonquin, no Canada; Owens Valley, nos U.S.A.; Nançay, na França; Dwingeloo, na Holanda; Effelsberg, na Alemanha; e Metsahovi, na Finlândia), e medidas coordenadas com o observatório solar ótico de Big Bear, nos USA.

Sob ponto de vista experimental o aspecto inovador principal destes esforços coordenados, é a procura de diagnóstico da atividade solar com 1-2 ordens de grandeza em maior sensibilidade, resolução temporal e espacial, comparados ao que se obteve até agora.

No Rádio-Observatório do Itapetinga, Atibaia (Estado de S.Paulo), um grande refletor para ondas milimétricas, com 14-m de diâmetro, é utilizado nestas pesquisas. As vantagens no uso de grandes antenas em pesquisas solares, bem como as características do Itapetinga foram publicados em separado (18) (Figura 1). As características mais preponderantes são a sensibilidade obtida em 22 GHz e 44 GHz (0,03 unidades de fluxo solar, 1 u.f.s. = $10^{-22} \text{ w m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$), cerca de 100 vezes maior do que a sensibilidade dos rádio-telescópios solares normalmente usados em micro-ondas (Figura 2). A resolução temporal é de 1 milissegundo, cerca de 1000 vezes melhor do que vinha sendo utilizado em pesquisas solares. A precisão absoluta de tempo no Itapetinga foi assegu-

rada por padrão de tempo atômico local, regularmente acertado pelo Serviço da Hora do Observatório Nacional, dentro de poucos microsegundos.

A precisão de apontamento e rastreamento da grande antena do Itapetinga é melhor do que 2 segundos de arco (erro quadrático médio). A antena é usada tanto no rastreamento de regiões de interesse como em cartografia rápida do Sol todo ou de pequenas áreas selecionadas. Podem ser identificados movimentos ou deslocamentos espaciais de fontes pontuais intensas no disco solar iguais ou maiores a 10 segundos de arco. Esta antena apresenta a particular vantagem para trabalhos solares em micro-ondas milimétricas por estar encerrada em redoma podendo, assim, ser apontada para o Sol por extensos períodos, sem danos físicos, ou de formações mecânicas causadas por sobreaquecimento - conforme ocorre com outras grandes antenas de precisão.

Os experimentos espaciais, com os quais a maior parte das medidas em tempo real foram realizadas, são o espectrômetro de raios X-duros, HXRBS, a bordo do satélite SMM, descrito por Orwig et al. (26), e o monitor de raios X-duros, HXM, a bordo do satélite Hinotori, descrito por Ohki et al., (25). Uma descrição de todos instrumentos a bordo do SMM, incluindo aqueles de grande resolução espacial (não discutidos nesta Nota), foram apresentados por Simnett (28).

O programa de Física Solar do INPE está dirigido às seguintes áreas de estudo: (a) Explosões solares; (b) Evolução de regiões ativas; (c) Filamentos quiescentes e disruptivos; (d) Regiões quiescentes e buracos coronais; (e) tópicos de relações solares-terrestres. Na presente comunicação vamos nos restringir apenas ao relato de resultados recentes obtidos nas pesquisas de explosões solares.

2. EXPLOSÕES SOLARES: ESTRUTURAS TEMPORAIS*

O programa do INPE está fortemente voltado para o fenômeno das explosões solares. Outros problemas relativos à atividade solar também vem merecendo muita atenção, mas nesta comunicação vamos nos restringir às explosões para as quais os resultados obtidos até agora foram de natureza expressiva e inusitada.

As explosões solares são fenômenos de conversão de energia em magnetosferas associadas às manchas no Sol. Energia é armazenada em plasmas imersos ou presos nas configurações magnéticas de topologia complexa, e subitamente liberada na forma de transitórios que resultam em vários subprodutos observados na atmosfera solar, no meio interplanetário, e no nosso e em outros planetas. O efeito tradicionalmente mais conhecido é o abrilhantamento ótico de regiões cromosféricas, bem observável na raia de H- α , e denominado de "flare". Esta denominação é comumente usada para referir-se às explosões, muito embora se trate, na realidade, de um sub-produto das mesmas.

A maior parte do conteúdo energético das explosões está nas partículas que são aceleradas, nos raios-X duros emitidos, na ejeção de massa e nos movimentos mecânicos de grande escala resultantes. Em etapas consideradas secundárias à primeira fase das explosões, podem ocorrer fenômenos adicionais de aceleração, que dão origem à radiação gama, oriunda de reações nucleares. Uma excelente revisão dos problemas físicos associados às explosões solares foi publicada por Brown e Smith (3), com base a diagnósticos e modelos vigentes até poucos anos atrás.

*O relato que se segue corresponde a contribuição apresentada à primeira reunião do Workshop SMM, NASA/GSFC, janeiro de 1983.

O programa do INPE vem se concentrando na chamada "fase impulsiva" das explosões. Nesta fase observam-se as primeiras respostas às partículas aceleradas por um processo primário de conversão de energia - usualmente atribuído ao aniquilamento de campos magnéticos. Os raios-X duros e as radiações em micro-ondas produzidos devem nos trazer uma descrição muito próxima dos mecanismos físicos envolvidos nesta fase. E as pesquisas dos mecanismos primários de conversão de energia são particularmente relevantes pois, a partir deles, acontece toda a explosão e seus sub-produtos, num desenvolvimento temporal aparentemente caótico.

Um primeiro resultado importante que foi obtido refere-se descoberta e caracterização de estruturas temporais muito rápidas, superpostas às emissões em ondas milimétricas das explosões solares. Estas estruturas apresentam taxa de repetição (R) proporcionais ao fluxo (S)(intensidade), (Figura 3) tais que $S \propto R$, sugerindo que estas explosões sejam respostas a múltiplas injeções energéticas quasi-quantizadas em energia (16,17). As mais elevadas taxas de repetição identificadas até agora foram $15-20s^{-1}$. Tendências similares foram atribuídas para estruturas ultra-rápidas observadas em raios-X duros das explosões, pelo experimento RGS a bordo do satélite soviético Prognoz-6 por Charikov et al., (6) e também para uma explosão observada simultaneamente em UV, rádio e raios-X (33) (Figura 4). Outras evidências de estruturas temporais em raios-X duros com escalas de tempo menores de segundo foram relatadas por Orwig et al. (27).

As primeiras medidas simultâneas de estruturas ultra-rápidas em micro-ondas milimétricas e raios-X duros foram obtidas no Itapetinga e pelo satélite Hinotori (34), confirman-

do plenamente não somente a sua existência, como também a presença de componentes energéticos (raios-X duros) associados, provavelmente vinculados ao mecanismo primário de conversão de energia em explosões solares. (Figura 5).

Outro resultado bastante inesperado consistiu na identificação de não-coincidência no tempo da emissão de explosões solares em diferentes comprimentos de onda na faixa de micro-ondas (17, 18) (Figura 6). Estruturas maiores superpostas às explosões solares podem apresentar diferenças de fase de até 3 segundos, tanto na direção de frequências maiores, como na de frequências menores. As vezes todos os casos podem ocorrer no curso de uma mesma explosão. Existem casos de coincidência temporal dos picos das estruturas das rádio emissões, de finidas dentro de 10 ms. Parece ser este o caso para as estruturas ultra-rápidas.

Resultados de medidas da emissão de explosões solares simultaneamente em micro-ondas e raios-X duros, parecem indicar que os picos em raios-X duros precedem os picos em micro-ondas por poucos décimos de segundo (20) (Figura 6), embora existam casos de quase coincidência (21).

Estes atrasos temporais entre frequências de micro-ondas, e de micro-ondas com relação a raios-X duros, foram interpretados por Costa (8) e Costa e Kaufmann (9) como sendo devidos à emissão de uma fonte de micro-ondas em movimento num campo magnético crescente. Por outro lado, Brown et al. (5) explicaram estes atrasos nas emissões em diferentes frequências com a adoção do efeito de convolução no tempo e espaço de múltiplas pequenas fontes emissoras, de acordo com um modelo formulado anteriormente (4).

Um outro tipo de oscilações ou pulsações superpostas a explosões solares deve ser distinguido. É caracterizado por sua extensa permanência, ao longo do início, máximo e declínio de uma explosão. Os períodos são da ordem de segundos, e permanecem os mesmos durante todo o evento. Um caso típico foi obtido na frequência de 7 GHz, com pulsações de 4.7 segundos de período (14). Um outro evento com pulsações quasi-periódicas de 1.5 segundos foi analisado em duas frequências simultâneas (22 GHz e 44 GHz), tendo-se evidenciado um atraso de fase dos sinais de 44 GHz com relação a 22 GHz, da ordem de 0.3 segundos (37, 38). O efeito foi atribuído a modulação de radiação giro-sincrotrônica de electrons aprisionados em um arco magnético, pela variação do campo magnético, admitindo-se transmissão em condições ópticamente fina em 44 GHz, e translúcida em 22 GHz - numa extensão de um tratamento dado por Gaizauskas e Tapping (12) para pulsações persistentes observadas em apenas uma frequência de micro-ondas sobre uma região ativa solar, e sem nenhuma explosão associada.

Assim, já existe uma sugestiva convergência de evidências observacionais diretas favorecendo a concepção do fenômeno de explosão solar como sendo o resultado de transitórios magnéticos rápidos, múltiplos e superpostos, possivelmente quasi-quantizados em energia. Numa descrição, provavelmente supersimplificada ainda, podemos nos fixar em duas escalas de tempo. Uma é de segundos, bastante conhecida há muitos anos. Seriam atribuídas às "explosões solares elementares" ou EFD propostas por van Beek et al. (36) e por de Jager e de Jonge (10) e já sugeridas por Frost (11). O grau de superposição destas estruturas poderia ser maior ou menor e, em certos casos, repetindo-se com certa

regularidade, enquanto que em outros, empilhando-se umas às outras, caoticamente. Um resultado recente muito sugestivo foi obtido por Cheng et al. (7) que mostrou a existência de várias explosões elementares no UV separadas no espaço (Figura 7). Sua composição resultou na "curva de luz" da explosão obtida por um detetor sem resolução espacial.

A outra escala de tempo pode ser bem mais rápida e refere-se ao espaço de tempo entre duas estruturas ultra-rápidas. Muito embora as taxas de repetição destas estruturas tenham sido determinadas em vários casos (as mais rápidas até agora determinadas sendo de $15-20 \text{ s}^{-1}$), a real "forma de onda", ou escala de duração de cada estrutura ainda é desconhecida. Estas estruturas ultra-rápidas constituiriam "explosões discretas primárias", que podem ou não ser resolvidas pela instrumentação disponível na atualidade. Um agrupamento de explosões discretas primárias, quasi-quantizadas em energia, poderia constituir uma "explosão solar elementar", e a composição mais ou menos caótica destas últimas resultaria nas explosões complexas observadas.

3. ENERGÉTICA DAS EXPLOSÕES SOLARES

Um exemplo dramático deste conceito de superposições de estruturas rápidas e ultra-rápidas em micro-ondas e raios-X duros foi dado por Kaufmann et al. (21). Trata-se de uma explosão intensa, com duração total de 10 segundos e que, a primeira vista, seria classificada de explosão "simples" ou "spike" pressupondo, por conseguinte, tratar-se de apenas uma aceleração de partículas em resposta a apenas um transitório de conversão de energia. No entanto, uma análise realizada

com maior resolução temporal e sensibilidade mostrou que este evento tinha duas componentes de escala de tempo superpostas: (a) uma componente de cerca de 1 segundo, modulando a emissão quase-regularmente, (b) outra componente ultra-rápida que, no pico, apresentava uma taxa de repetição de 16 pulsos por segundo (Figura 8). A modulação de 1 segundo foi identificada nas frequências de 44 GHz, 22 GHz (Itapetinga) e 10.6 GHz (rádio-observatório de Owens Valley) e em raios-X duros para energias de fótons > 26 keV (experimento HXRBS no SMM), estando praticamente em fase. As estruturas ultra-rápidas apresentaram-se particularmente evidentes em 44 GHz e 22 GHz, cujos dados foram obtidos com maior sensibilidade.

Atribuindo-se a emissão em raios-X duros ao "bremsstrahlung" de electrons não-térmicos acelerados interagindo com o plasma denso da baixa atmosfera solar, de acordo com o modelo "thick target" (2,4), foi possível estimar-se o conteúdo energético de cada pulso, ou explosão discreta primária, encontrando-se $10^{28.3}$ ergs para um número total de electrons acelerados de $10^{35.7}$ electrons. Este valor é perfeitamente plausível, comparando-se às ordens de grandeza de conteúdo energético de pequenas explosões solares. O estudo também sugeriu que o modelo não-térmico de emissão da explosão parece ser o mais indicado para a interpretação das explosões discretas primárias, sugestão esta já aventada por Charikov *et al.* (6).

Outro resultado obtido com importantes consequências conceituais refere-se à descoberta de rápidas variações no grau de polarização circular associadas à pequenas estruturas de fracas explosões solares em 22 GHz (22). As escalas de tempo destas variações foram de 50-400 milissegundos e o grau de polarização tendia

a maximizar 80-800 milisegundos antes do máximo da emissão tanto em micro-ondas como em raios-X duros (Figura 9). Associando as rápidas variações de polarização às escalas de tempo necessárias para a liberação de energia de cada explosão discreta elementar ($10^{27} - 10^{28}$ erg), obteremos uma taxa de liberação de energia típica da ordem de 10^{28} ergs⁻¹. Esta taxa, no entanto, é usualmente atribuída às maiores explosões solares (3,30) enquanto se imaginava que as menores explosões solares deveriam resultar de menores taxas de liberação de energia - o que parece não mais ser o caso. Assim, se as grandes e pequenas explosões solares resultam de mecanismos primários apresentando taxas de conversão de energia comparáveis, o mecanismo deve ser o mesmo em ambos os casos, e a diferença em conteúdo energético total entre diferentes explosões dependeria preponderantemente do número total de injeções energéticas, ou de explosões primárias discretas ocorridas no curso de um ou outro evento. O conceito é perfeitamente reconciliável com a proporcionalidade de fluxos, ou intensidades médias, com as taxas de repetição das estruturas ultra-rápidas superpostas, estas últimas sendo representativas das explosões primárias discretas.

O conceito de que as explosões solares seriam, com efeito, o resultado da convolução no tempo e no espaço de múltiplas pequenas fontes emissoras em resposta a mecanismos de múltiplas instabilidades primárias (como por exemplo os citados em 13,23,29 e 30) foi proposto teoricamente por Brown et al. (4) para explicar uma proporcionalidade que existe entre medidas de emissão e temperaturas em explosões medidas em raios-X duros. Estas múltiplas estruturas não seriam normalmente resolvidas pela instrumentação. Mais recentemente, Brown et al. (5)

mostrou que o mesmo modelo poderia explicar os vários atrasos de fase constatados nas estruturas temporais de explosões em micro-ondas. Uma primeira sugestão de que as emissões das explosões solares seriam uma resposta a múltiplas injeções discretas quasi-quantizadas em energia foi proposta por Kaufmann et al. (15), a partir da análise de comportamento estatístico de um grande número de explosões solares em raios-X moles.

Outra concepção de mecanismo primário liberando energia em explosões solares vem recebendo muita atenção recentemente. Está baseada na ruptura de arcos magnéticos nas regiões ativas solares, bem como na interação entre estes arcos. Um modelo recente de Sturrock et al. (32) concebe as explosões solares como tendo uma parte impulsiva superposta a uma parte gradual. A primeira seria resultado de múltiplas explosões em agregações de pequenos tubos magnéticos, de alguma forma ligada com uma ruptura de maior escala, esta atribuída a parte gradual das explosões. A descrição requer que a topologia magnética seja tal que as linhas de campo tendem a se reunir em pequenas regiões com fluxo magnético elevado (da ordem de 10^{18} Mx), seguindo sugestão observacional de Tarbell e Title (35). Um aspecto atrativo do modelo de Sturrock et al. (32) é que o campo magnético penetrando na fotosfera estaria "quantizado" em fluxo. As múltiplas explosões destes "fluxulos" resultariam em injeções quasi-quantizadas em energia, de acordo com outras sugestões levantadas independentemente. Cálculos baseados na energia magnética livre armazenada em cada "fluxulo" (31) prevêm a liberação de cerca de 10^{27} erg em cada explosão discreta primária - o que é inteiramente razoável, em confronto com estimativas independentes feitas anteriormente.

4. PRÓXIMAS ETAPAS DAS PESQUISAS

Durante os trabalhos de pesquisa correspondentes à Missão do Sol Máximo, mais de 1500 horas de observações solares de elevada sensibilidade foram obtidas no Itapetinga em 1-2 frequências, ou polarização, na faixa de micro-ondas milimétricas. Centenas de explosões solares foram gravadas em fitas magnéticas para posterior análise. Muitas delas em coincidência com milhares de explosões solares em raios-X duros do experimento HXRBS do SMM, ou com outros experimentos deste e de outros satélites. Muitos dos resultados acima descritos são tendências que necessitam confirmações e generalização para um número maior de casos.

Centenas de cartas solares foram obtidas (Figura 10), e começam a ser analisadas (1). Uma grande protuberância disruptiva foi analisada em ótica, com emissões milimétricas fora do disco solar identificadas pela primeira vez, e sua investigação está em pelo andamento (24). Trabalhos sobre comportamento estatístico de grandes coleções de explosões solares, em raios-X e em micro-ondas, e de sua interpretação estão sendo desenvolvidos por E. Correia. Outras pesquisas em andamento referem-se a diferentes escalas (e natureza) de oscilações e pulsações na atmosfera solar e estão sendo conduzidas por A.M. Zodi Vaz. Pesquisas experimentais e teóricas de efeitos de polarização e atrasos de fase nas emissões em micro-ondas e raios-X estão em desenvolvimento por J.E.R. Costa. Atenção especial está sendo dada às relações entre emissões em ondas métricas e decimétricas e micro-ondas milimétricas, em trabalhos conduzidos por H.S. Sawant.

A rigor, as pesquisas científicas estão apenas no começo - e já vem demonstrando a enorme potencialidade dos resultados iniciais obtidos. Com os reparos previstos no satélite SMM em 1984, a partir do "Space Shuttle", já se iniciaram os preparativos para a realização de uma nova série de experimentos conjuntos com o Itapetinga fazendo uso e capitalizando o que foi aprendido de novo até agora.

Agradecimentos

As pesquisas em Física Solar fazem parte do programa de Rádio-Astronomia e Física Solar do INPE e vêm sendo desenvolvidas com a participação dos pesquisadores E. Correia, J.E.R. Costa, L. Rizzo Piazza, e H.S. Sawant ^{e A.M. Rodi} com apoio de pessoal técnico no Itapetinga e de estudantes pós-e pré-graduados. Elas são parcialmente subvencionadas pela agência FINEP. Alguns dos pesquisadores envolvidos receberam bolsas de pós-graduação da agência FAPESP. O INPE opera o CRAAM e o Rádio-Observatório do Itapetinga.

REFERÊNCIAS

- 1. Abraham, Z., Costa, J.E.R. e Kaufmann, P. 1982. "Técnicas de Imageamento e Sensoriamento Remoto de Objetos Astrofísicos em Micro Ondas Milimétricas". IIº Simp. Bras. Sens. Remoto, Brasília, DF. 8-12 março.
- 2. Brown, J.C. 1971, Solar Phys., 18, 489.
- 3. Brown, J.C., e Smith, D.F. 1980. Rep. Progr. Phys., 43, 125.
- 4. Brown, J.C., Craig, J.D., e Karpen, J.T. 1980. Solar Phys., 67, 143.
- 5. Brown, J.C., MacKinnon, A.L., Zodi, A.M., e Kaufmann, P. 1983, Astron. Astrophys., submetido.
- 6. Charikov, Y.E., Kocharov, F.E., e Lazutkov, V.P. 1981. "Fine Temporal Structure of the Solar Flares", 17th Int. Cosmic Ray Conf., Paris, França, julho.
- 7. Cheng, C.C., Tandberg-Hanssen, E., Bruner, E.C., Orwig, L.E., Frost, K.J., Kenny, B.F., Woodgate, B.E., e Shine, R.A. 1981. Astrophys. J., 248, L39.
- 8. Costa, J.E.R. 1982. Tese de Mestrado, INPE.
- 9. Costa, J.E.R. e Kaufmann, P. 1983. Astron. Astrophys., no prelo.
- 10. de Jager, C. e de Jonge, G. 1978. Solar Phys., 58, 127.
- 11. Frost, K.J. 1969. Astrophys. J., 158, L159.
- 12. Gaizauskas, V., e Tapping, K.F. 1980. Astrophys. J., 241, 804.
- 13. Gold, T., e Hoyle, F. 1960. Monthly Notices Roy. Astron. Soc., 120, 89.

- 14. Kaufmann, P., Rizzo Piazza, e Raffaelli, J.C. 1977. Solar Phys., 54, 179.
- 15. Kaufmann, P., Rizzo Piazza, L., Schaal, R.E., e Iacomo Jr., P. 1978. Ann. Geophys., 34, 105.
- 16. Kaufmann, P., Strauss, F.M., Opher, R., e Laporte, C. 1980a. Astron. Astrophys., 87, 58.
- 17. Kaufmann, P., Strauss, F.M., Raffaelli, J.C., e Opher, R. 1980b. Proc. Solar-Terr. Predict (R.F. Donnelly, ed.), III, C-115.
- 18. Kaufmann, P., Strauss, F.M., Schaal, R.E. e Laporte, C. 1982a. Solar Phys., 78, 389.
- 19. Kaufmann, P., Costa, J.E.R., e Strauss, F.M. 1982b. Solar Phys., 81, 159.
- 20. Kaufmann, P., Strauss, F.M., Costa, J.E.R., Dennis, B.R., Kiplinger, A., Frost, K.J., e Orwig, L.E. 1983a. Solar Phys., no prelo.
- 21. Kaufmann, P., Costa, J.E.R., Correia, E., Hurford, G.J., Dennis, B.R., e Brown, J.C. 1983b, em preparação. Apresentado na 161ª Reunião da AAS (1983).
- 22. Kaufmann, P., Costa, J.E.R., Strauss, F.M., e Dennis, B.R. 1983c. Astrophys. J., submetido. Resumo no Bull. Am. Astron. Soc., 13, 846 (1981).
- 23. Kuperus, M. 1976. Solar Phys., 47, 79.
- 24. Martin, S., Kaufmann, P., Zodi, A.M., Correia, E., e Costa, J.E.R. 1983, em preparação. Apresentado na XVIIIª Assembl. Geral da UAI (1982).
- 25. Ohki, N., Nitta, N., Tsuneta, S., Takakura, T., Makishima, K., Murakami, T., Ogawara, Y., e Oda, M. 1982. Proc. Hinotori Symp. on Flares, publicado por ISAS.

- 26. Orwig, L.E., Frost, K.J., e Dennis, B.R. 1980. Solar Phys., 65, 25.
- 27. Orwig, L.E., Frost, K.J., e Dennis, B.R. 1981. Astrophys.J., 244, L163.
- 28. Simnett, G.M. 1981. "The Solar Maximum Mission"., 17th. Int. Cosmic Ray Conf., Paris, França, julho.
- 29. Spicer, D.S. 1977. Solar Phys., 53, 305.
- 30. Spicer, D.S. 1981. Solar Phys., 70, 149.
- 31. Sturrock, P.A., e Uchida, Y. 1981. Astrophys.J., 246, 331.
- 32. Sturrock, P.A., Kaufmann, P., e Smith, D.F. 1982. "Energy Release in Solar Flares", Rept. SUIPR Nº 933, Stanford University, Stanford, USA.
- 33. Tandberg-Hanssen, E., Kaufmann, P., Reichmann, E.J., Teuber, D.L., Moore, R.O., Orwig, L.E., e Zirin, H. 1982, em preparação. Resumo no Bull. Am. Astron. Soc., 13, 901 (1981).
- 34. Takakura, T., Kaufmann, P., Costa, J.E.R., Degaonkar, S.S., Ohki, K. e Nitta, N. 1983. Nature, submetido. Apresentado na XVIIIª Assembl. Geral da UAI (1982) e na 161ª Reunião da AAS (1983).
- 35. Tarbell, T.D., e Title, A.M. 1977. Solar Phys., 52, 13.
- 36. van Beek, H.F., de Feiter, L.D., e de Jager, C. 1974. Space Research, XIV, 447.
- 37. Zodi Vaz, A.M. 1982. Tese de Mestrado, INPE.
- 38. Zodi, A.M., e Kaufmann, P., 1983, em preparação. Resumo em C. Cult. S. Paulo, 34, 352 (1982).

LEGENDAS PARA AS FIGURAS

Figura 1 - Diagrama de mínima intensidade detectável (em unidades de fluxo solares, ordenadas) em função do nível de emissão (nas mesmas unidades, abcissas) para diferentes áreas efetivas de recepção, e constante de tempo de 1 ms. O uso de grandes antenas em rádio-astronomia solar permite a melhoria da sensibilidade de algumas ordens de grandeza, desde que as emissões não sejam excessivamente intensas (i.e., para níveis ≤ 1000 ufs) (segundo 18).

Figura 2 - Diagrama em blocos (simplificado) das configurações radiométricas utilizadas na antena de 14-m do Itapetinga, para medidas simultâneas em 22 GHz e 44 GHz (acima) e nas duas componentes de polarização circular em 22 GHz (abaixo).

Figura 3 - Um dos primeiros exemplos de explosão solar medida com elevada sensibilidade em 22 GHz mostrando que o nível médio de intensidade (ordenadas) é proporcional à taxa de repetição de estrutura ultra-rápidas (abcissas) identificadas em superposição à emissão da explosão, segundo (17).

Figura 4 - Exemplo de explosão solar medida simultaneamente por experimentos no satélite SMM em ultra-violeta (UVSP, nas raias de Fe XXI e O V), em raios-X duros (HXRBS, energias > 26 keV), e ondas milimétricas (Itapetinga, 22 GHz), segundo (33).

Figura 5 - Primeira evidência de componentes ultra-rápidas de explosões solares simultâneas em raios-X duros e ondas milimétricas, segundo (31). O exemplo é para um pequeno trecho de 2s tomado durante uma explosão solar ocorrida dia 4 de novembro de 1981. A curva superior corresponde às contagens em raios-X duros, 30-40 keV, obtidas pelo experimento HXM a bordo do satélite Hinotori. As quatro curvas abaixo, correspondem às medidas no Itapetinga, em 22 GHz e 44 GHz respectivamente, com dados diretos ou filtrados (supressão das componentes de baixa frequência). As estruturas numeradas, repetindo-se com taxa de $3-4s^{-1}$, apresentam excelente correspondência entre raios-X duros e ondas milimétricas.

Figura 6 - Uma estrutura isolada de explosão solar, obtida em 5 de maio de 1980, mostrou pela primeira vez de forma inequívoca, atraso da emissão em raios-X duros (HXRBS, energia > 26 keV, no satélite SMM) de 240ms com relação às emissões em 22 GHz. Estas, por sua vez, estão adiantadas em relação às emissões em 7 GHz por 1.5s. Figura obtida de (8,9 e 20).

Figura 7 - "Curvas de luz" obtidas no ultra-violeta (raia de Si IV) pelo experimento UVSP a bordo do satélite SMM, para explosão solar ocorrida em 14 de outubro de 1981 por Cheng et al. (7). À direita são indicadas as diferentes posições espaciais de cada uma das seis estruturas temporais mais importantes, relacionadas à esquerda, de cima para baixo. A soma das estruturas mimetizam a emissão em raios-X duros, nas duas figuras de baixo, à esquerda, em dois intervalos diferentes de energia, e sem resolução espacial.

Figura 8 - Máximo de emissão de explosão solar "simples-falsa", obtida em 18 de dezembro de 1980, segundo (21). Este evento apresentou estruturas ultra-rápidas em 22 GHz e 44 GHz, repetindo-se em média na razão de 16 s^{-1} . Esta mesma explosão foi também observada pelo Owens Valley Radio Observatory (10.6 GHz) e pelo experimento HXRBS a bordo do satélite SMM (energia > 26 keV).

Figura 9 - Rápidas variações no grau de polarização circular em 22 GHz foram descobertas em associação a estruturas temporais de explosões solares (22). O grau de polarização tende a maximizar antes dos picos de fluxo. O efeito é atribuído aos transientes magnéticos primários originando as injeções discretas de energia nas explosões solares.

Figura 10- Carta solar obtida em 22 GHz no Itapetinga (dia 15 de dezembro de 1981) e processada no computador I-100 em S. José dos Campos (T). Mostra regiões ativas (azul-violeta), bem como inhomogeneidades de temperatura na atmosfera solar quiescente, tais como buracos coronais. Centenas de mapas como este foram obtidos, tanto em duas frequências simultâneas (22 GHz e 44 GHz), como em 22 GHz com polarização circular e estão sendo analisados.

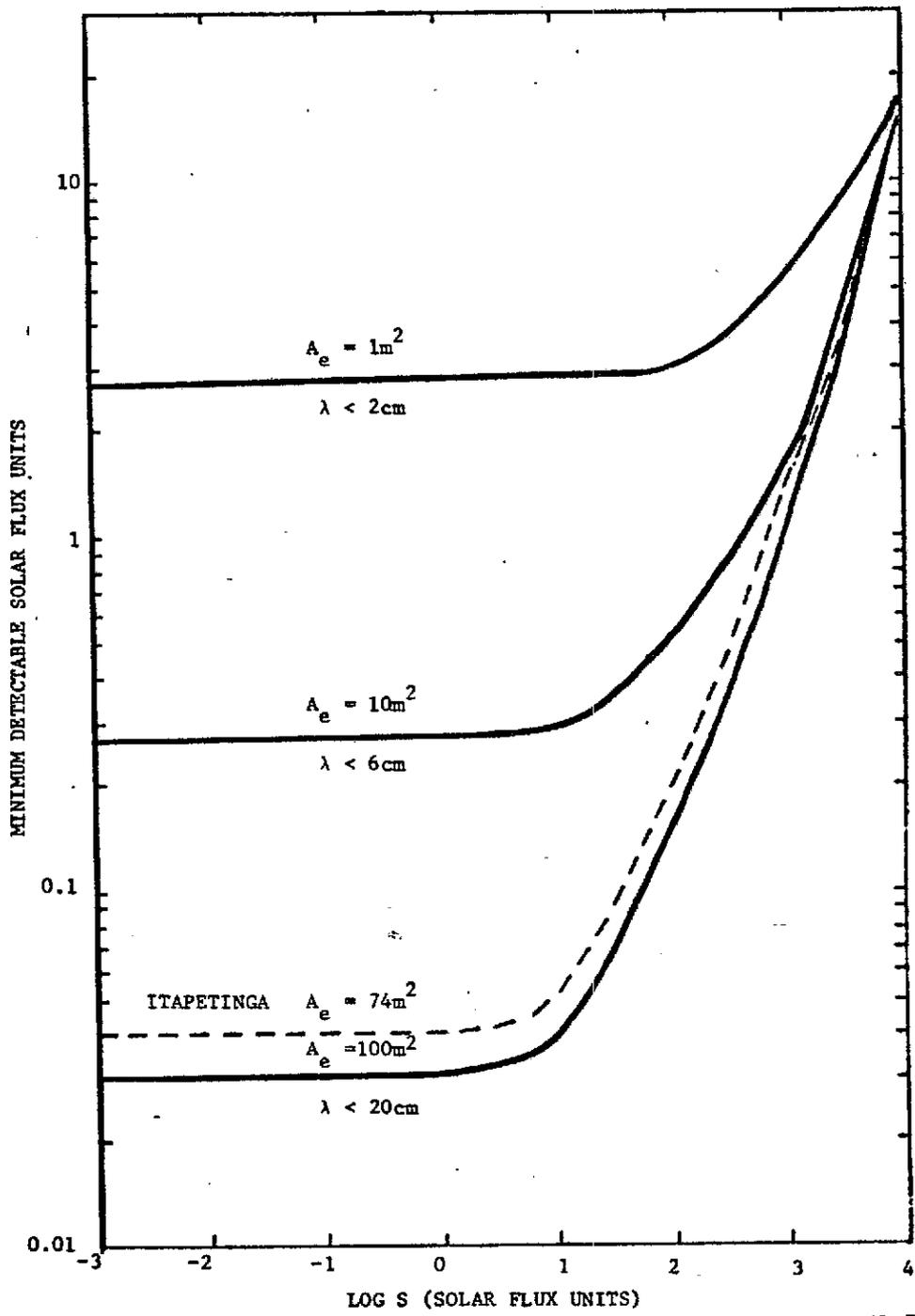
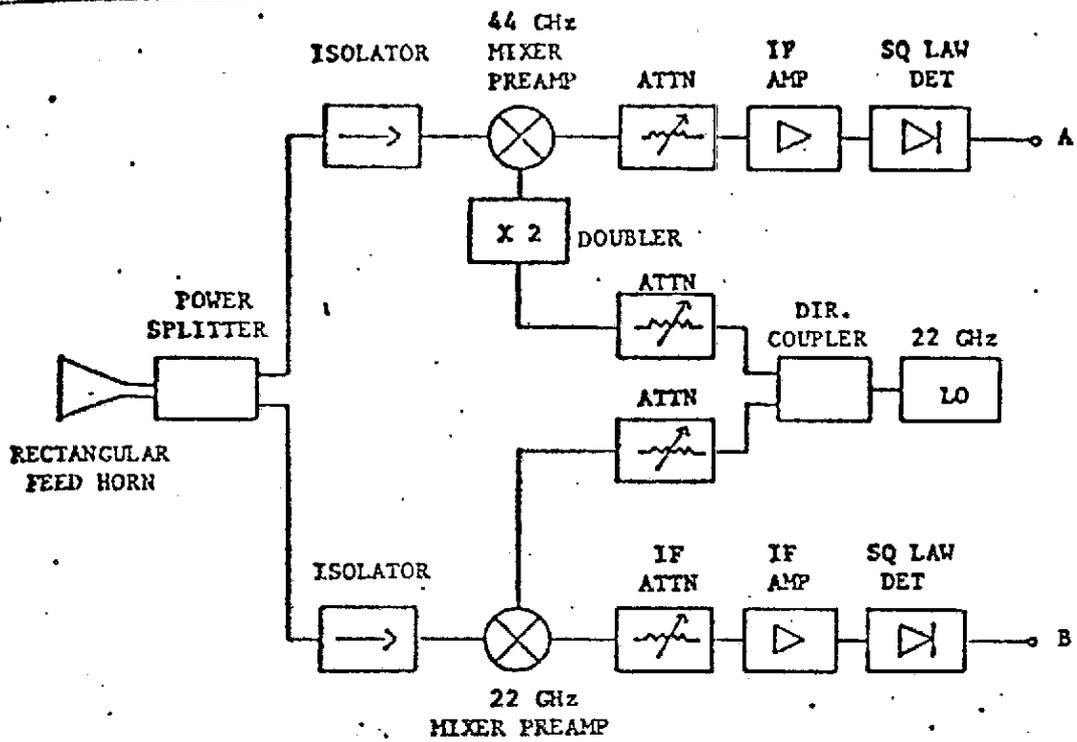
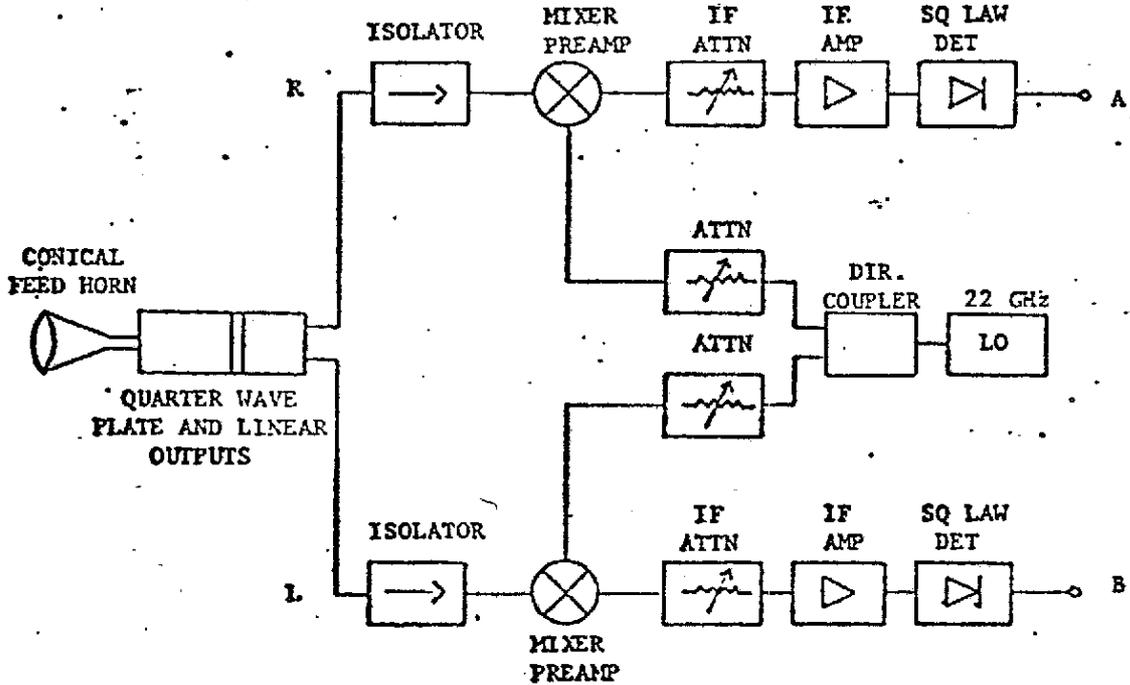


FIG.1

22/44 CHz RADIOMETER



22CHz, R.L. RADIOMETER



BACK-END

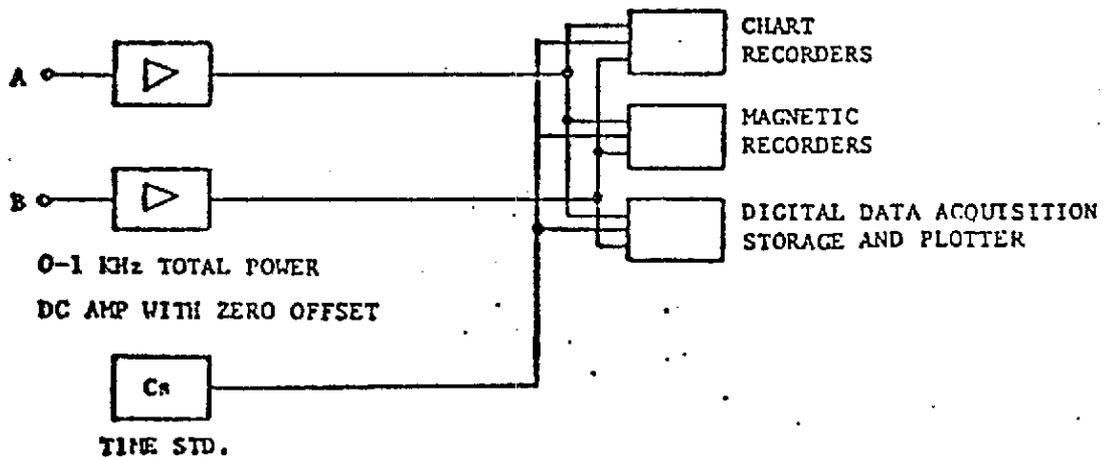


FIG. 2

12 JULHO 1978. 1600 UT

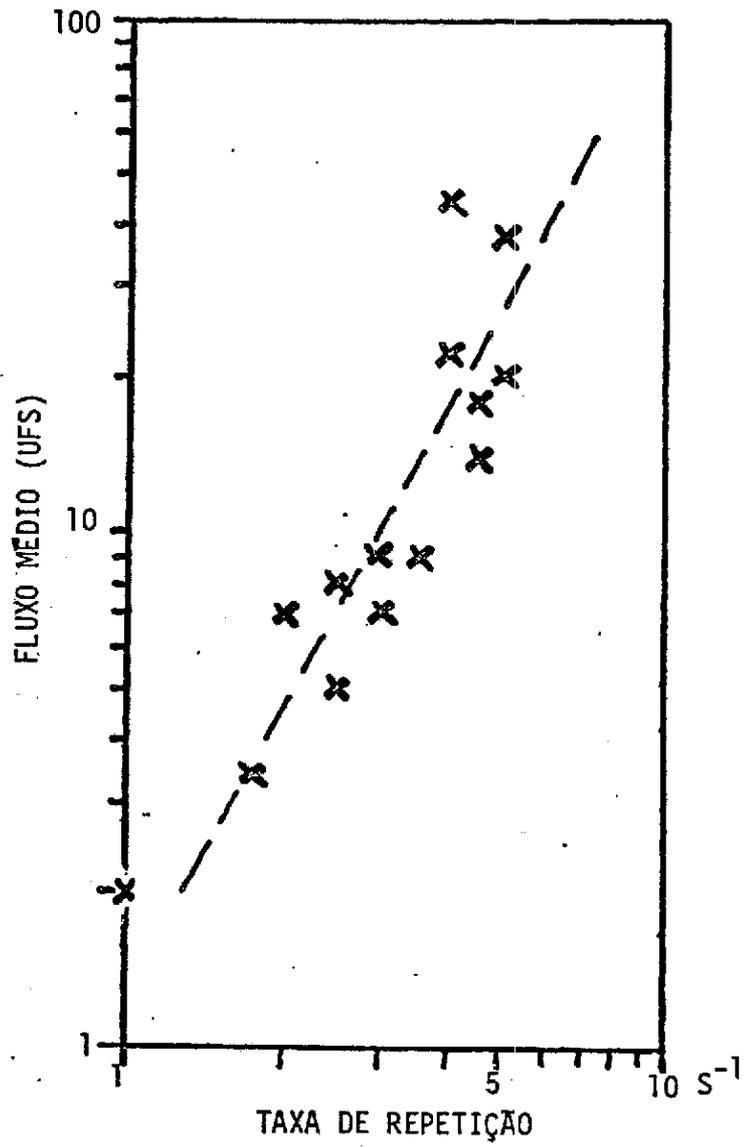
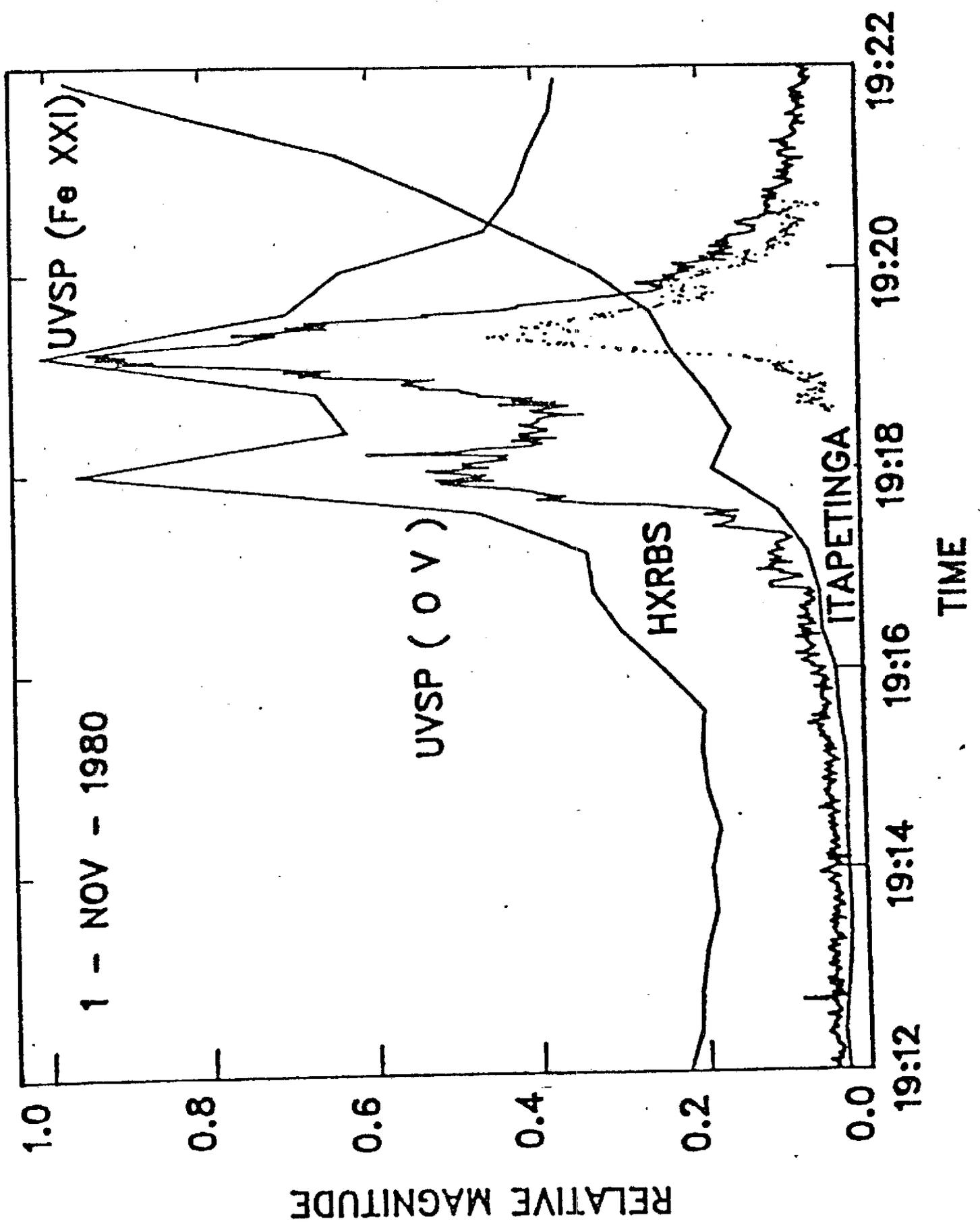


FIG. 3



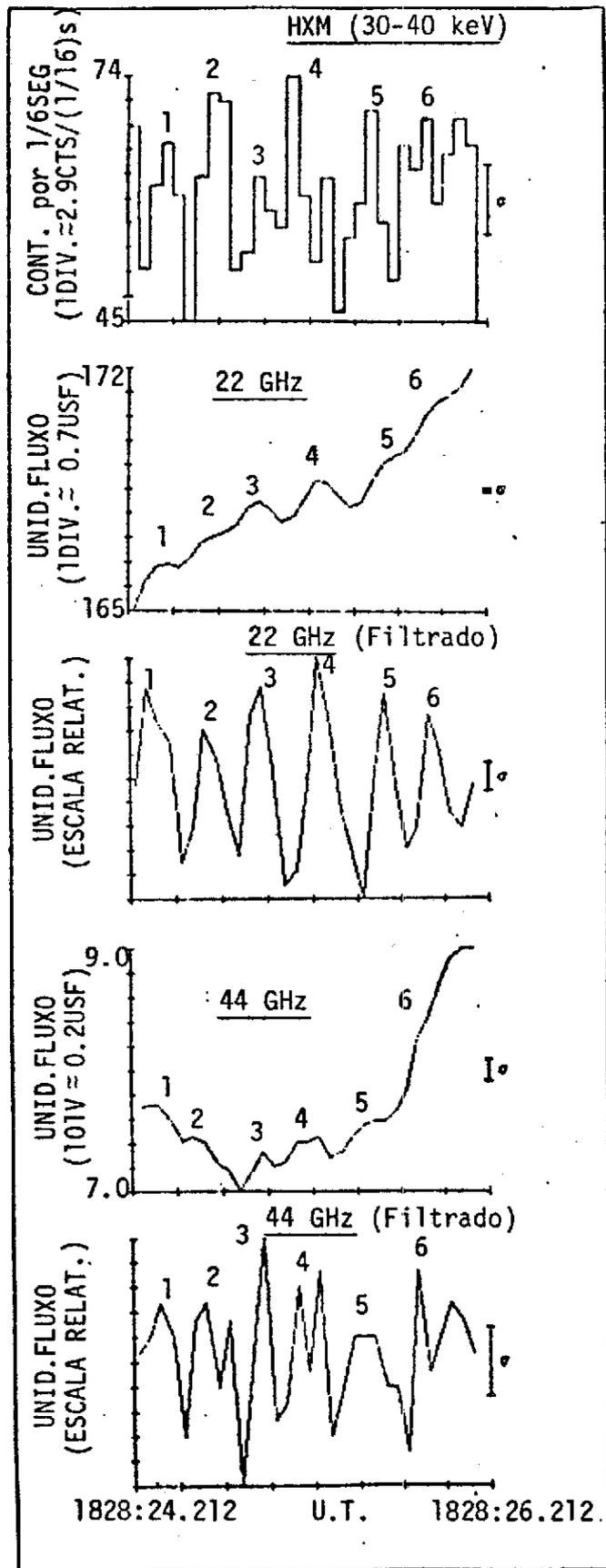
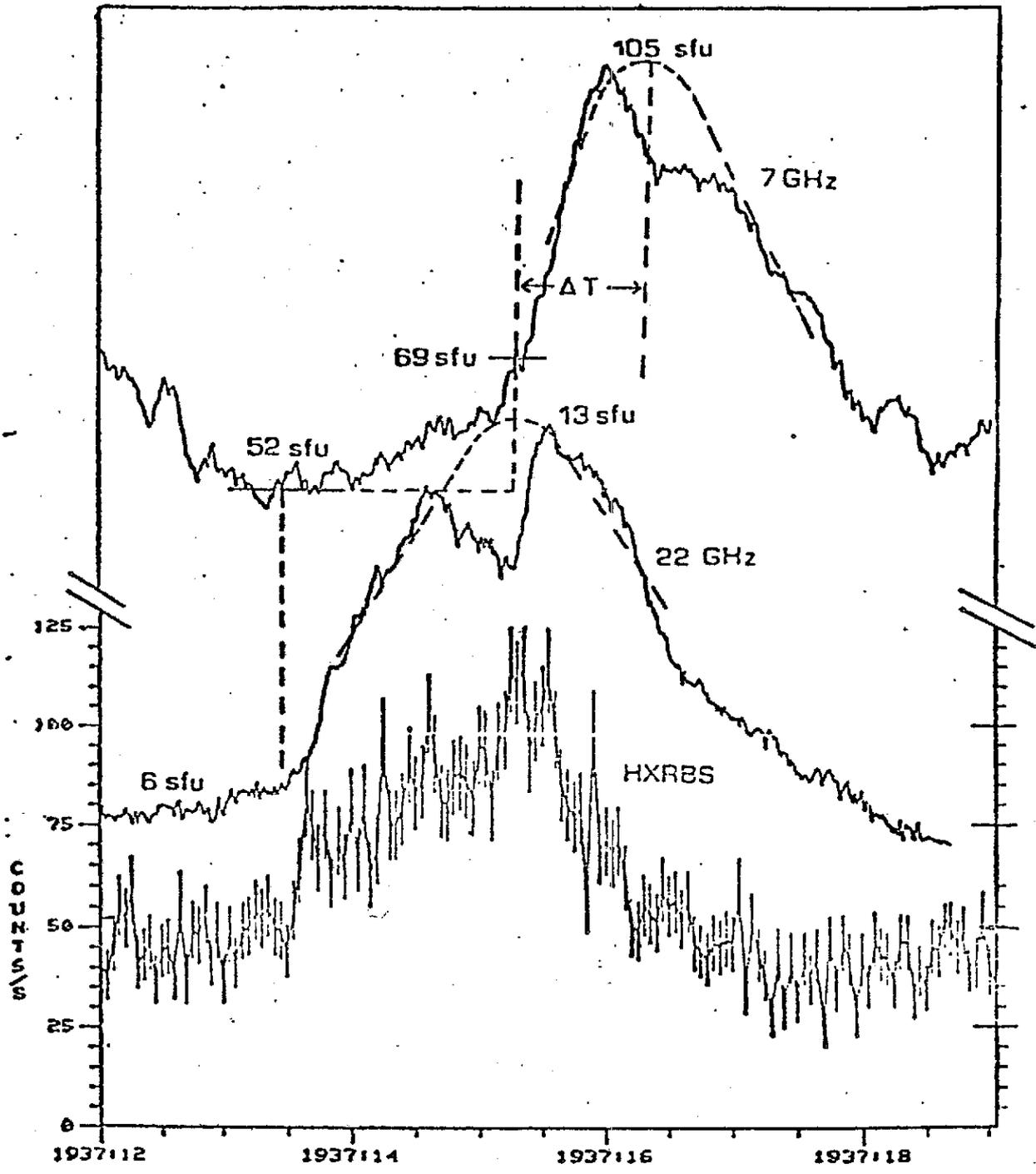


Fig.5



START OF DATA - 80/05/08, 1936:59.894
 ARRAY A INTEGRATION TIME - 50 MSEC

FIG. 6

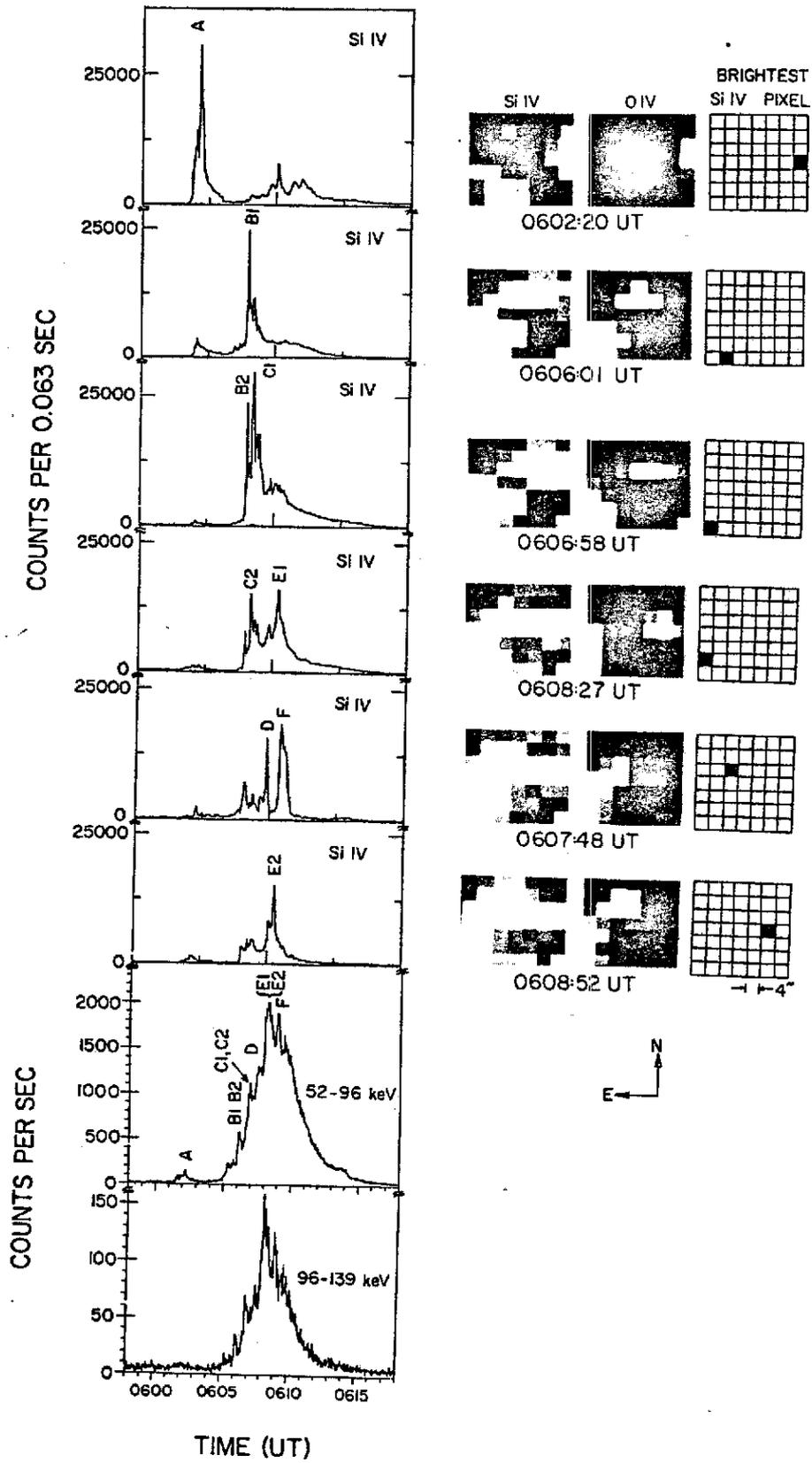


FIG. 7

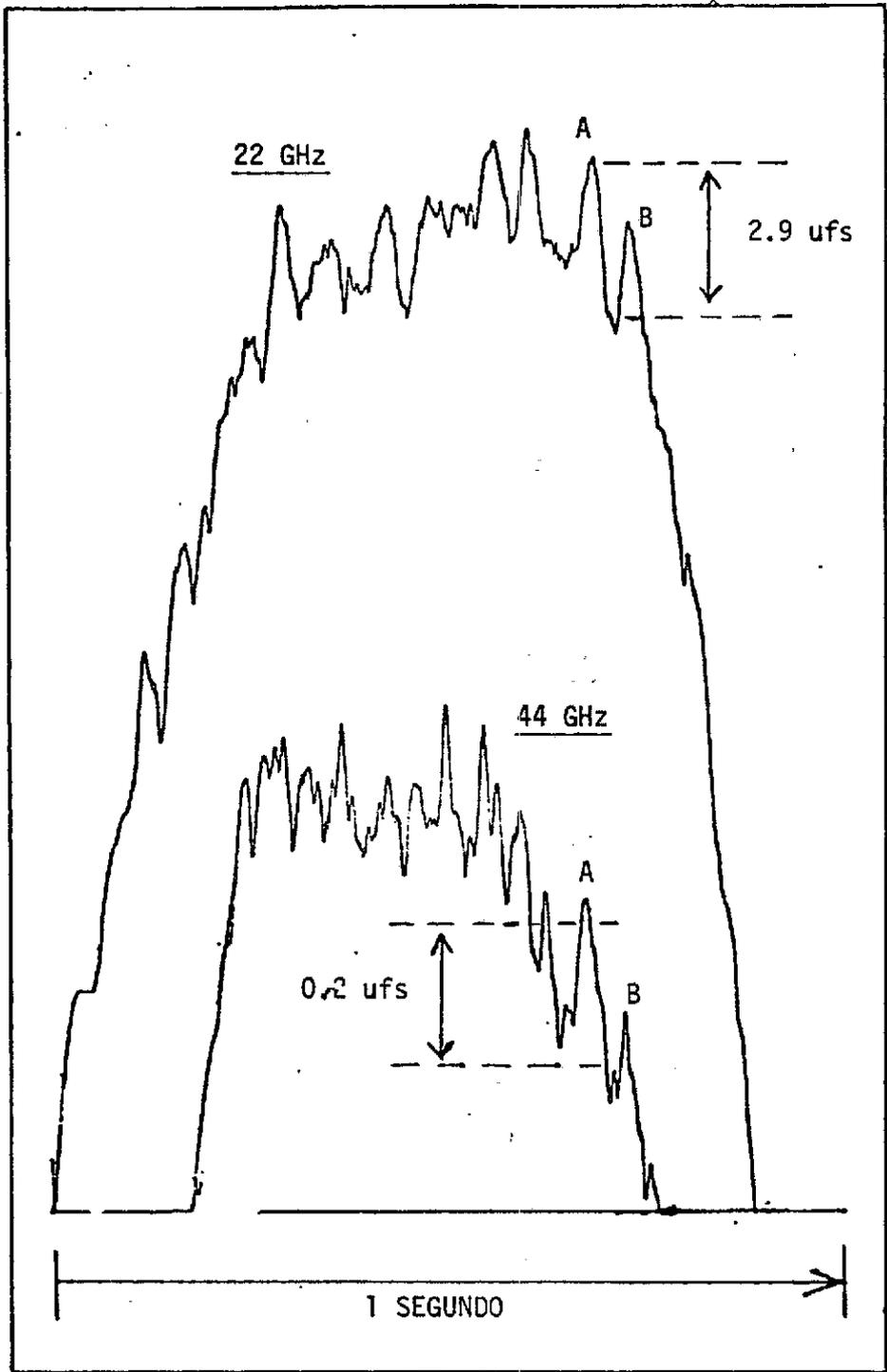


FIG. 8

26 FEB. 1981

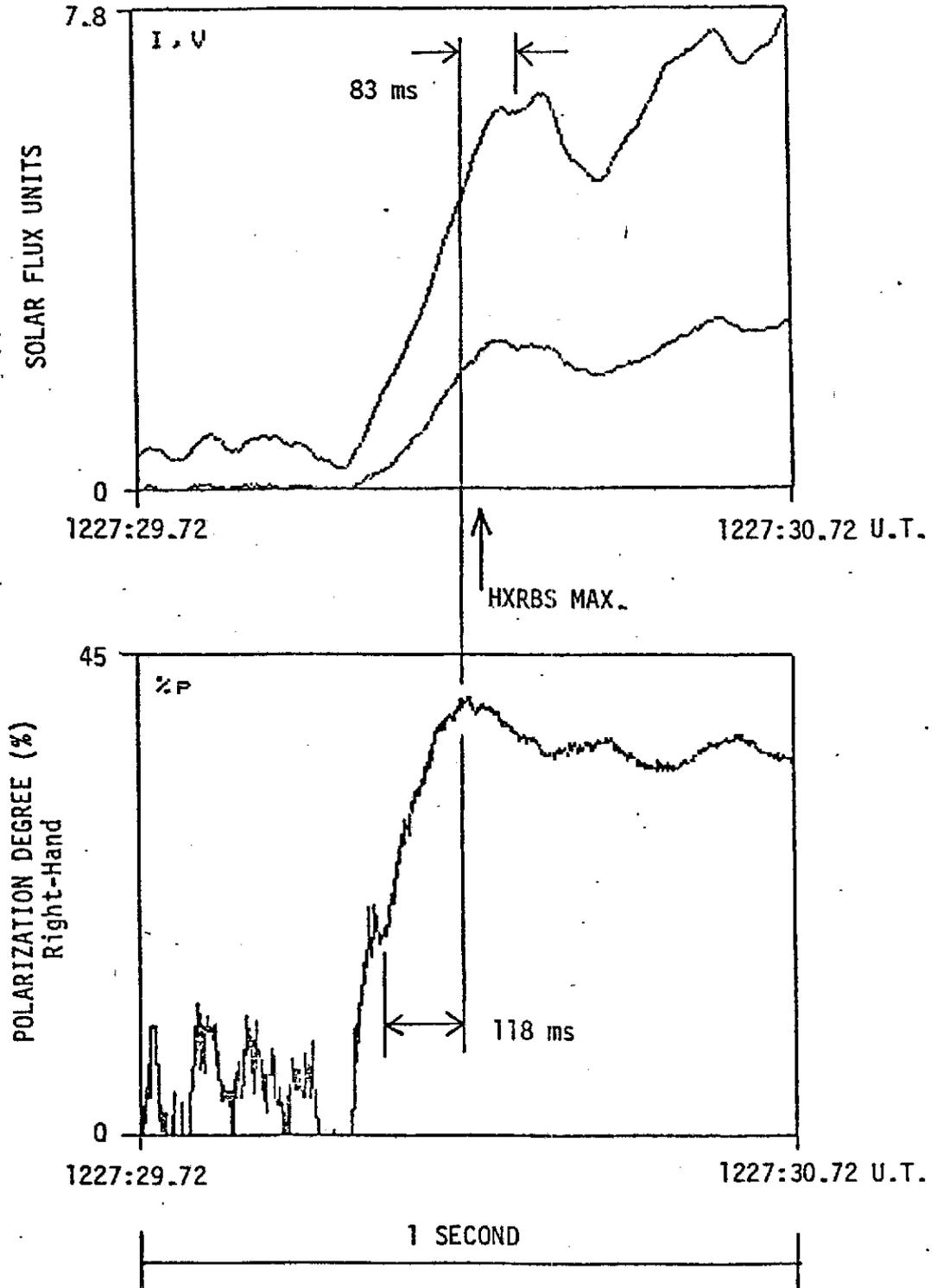


FIG. 9.

