

MÉMOIRES  
DE LA  
SOCIÉTÉ ROYALE DES SCIENCES  
DE LIÈGE

*Nec temere, nec timide*

Volume Hors Série, n° 1, 1956

LE SPECTRE SOLAIRE DE 2,8 A 23,7 MICRONS

Première partie : Atlas photométrique

THE SOLAR SPECTRUM FROM 2.8 TO 23.7 MICRONS

Part I. Photometric Atlas

M. MIGEOTTE, L. NEVEN, J. SWENSSON

INSTITUT D'ASTROPHYSIQUE DE L'UNIVERSITÉ DE LIÈGE  
OBSERVATOIRE ROYAL DE BELGIQUE

DÉPOT :

Au siège de la Société :  
UNIVERSITÉ DE LIÈGE  
Place du XX Août, 7, Liège

1956

UNIVERSITÉ DE LIÈGE  
Institut d'Astrophysique  
Bibliothèque

LE SPECTRE SOLAIRE DE 2,8 A 23,7 MICRONS SOLAR SPECTRUM FROM 2.8 TO 23.7 MICRONS

# MÉMOIRES

DE LA

**SOCIÉTÉ ROYALE DES SCIENCES  
DE LIÈGE**

Première partie : ATLAS PHOTOMETRIQUE

Part I. PHOTOMETRIC ATLAS

M. MIGEOTTE

*Nec temere, nec timide*

M. MIGEOTTE

Membre de la Société Royale des Sciences de Liège  
Institut d'Astrophysique de l'Université de Liège (Cointe-Schaën)

Member of the Société Royale des Sciences de Liège  
The Institute for Astrophysics of the University of Liège  
Cointe-Schaën

Volume Hors Série, n° 1, 1956

L. NEVEN

L. NEVEN

Observatoire Royal de Belgique (Cointe-Schaën)

The Royal Observatory of Belgium  
Cointe-Schaën

J. SWENSSON

J. SWENSSON

Institut d'Astrophysique de l'Université de Liège (Cointe-Schaën)

The Institute for Astrophysics of the University of Liège

## LE SPECTRE SOLAIRE DE 2,8 A 23,7 MICRONS

Observations effectuées à la Station Scientifique  
de Jungfrau-Joch — Suisse  
Première partie : Atlas photométrique

Observations made at the Jungfrau-Joch  
International Scientific Station, Switzerland

## THE SOLAR SPECTRUM FROM 2.8 TO 23.7 MICRONS

Part I. Photometric Atlas

M. MIGEOTTE, L. NEVEN, J. SWENSSON

INSTITUT D'ASTROPHYSIQUE DE L'UNIVERSITE DE LIEGE  
OBSERVATOIRE ROYAL DE BELGIQUE

DÉPOT :  
Au siège de la Société :  
UNIVERSITÉ DE LIÈGE  
Place du XX Août, 7, Liège

1956

Institut de Mathématique  
BIBLIOTHÈQUE  
15, Av. des Titheuls, LIÈGE (Belgique)

# LE SPECTRE SOLAIRE DE 2,8 A 23,7 MICRONS

# THE SOLAR SPECTRUM FROM 2.8 TO 23.7 MICRONS

PREMIÈRE PARTIE : ATLAS PHOTOMETRIQUE

PART I. PHOTOMETRIC ATLAS

par

by

**M. MIGEOTTE**

Membre de la Société Royale des Sciences de Liège  
Institut d'Astrophysique de l'Université de Liège (Cointe-Sclessin)

**M. MIGEOTTE**

Member of the «Société Royale des Sciences de Liège»  
The Institute for Astrophysics of the University of Liège  
Cointe-Sclessin

**L. NEVEN**

Observatoire Royal de Belgique (Uccle-Bruxelles)

**L. NEVEN**

The Royal Observatory of Belgium  
Uccle-Brussels

**J. SWENSSON**

Institut d'Astrophysique de l'Université de Liège (Cointe-Sclessin)

**J. SWENSSON**

The Institute for Astrophysics of the University of Liège  
Cointe-Sclessin

Observations effectuées à la Station Scientifique Internationale  
du Jungfrauoch — Suisse.

Observations made at the Jungfrauoch  
International Scientific Station, Switzerland

«The geophysical research reported in this document has been sponsored in part by the Geophysics Research Directorate of Air Force Cambridge Research Center, AIR RESEARCH AND DEVELOPMENT COMMAND, UNITED STATES AIR FORCE, through the European Office, ARDC».



*Photo E. Schudel — Grindelwald.*

Figure 1

Le Jungfrauoch, vu de l'ouest. A l'avant-plan : à gauche, l'hôtel Berghaus et à droite, la Station Scientifique Internationale; au milieu : à droite, l'Observatoire du Sphinx; à l'arrière-plan : le sommet du Mönch.

The Jungfrauoch, seen from the west. In the foreground : to the left, the Hotel Berghaus and to the right, the International Scientific Station; in the middle : to the right, the Sphinx Observatory; in the background: the peak of the Mönch.



*Photo E. Schudel — Grindelwald.*

Figure 2

L'Observatoire du Sphinx, vu de l'est. A l'arrière-plan : les sommets de la Jungfrau.  
The Sphinx Observatory, seen from the east. In the background : the peaks of the Jungfrau.



*Photo Margrit Schmidhauser — Zürich.*

Figure 3

Le coelostat installé sur la grande plate-forme de l'Observatoire du Sphinx.  
The coelostat installed on the main platform of the Sphinx Observatory.

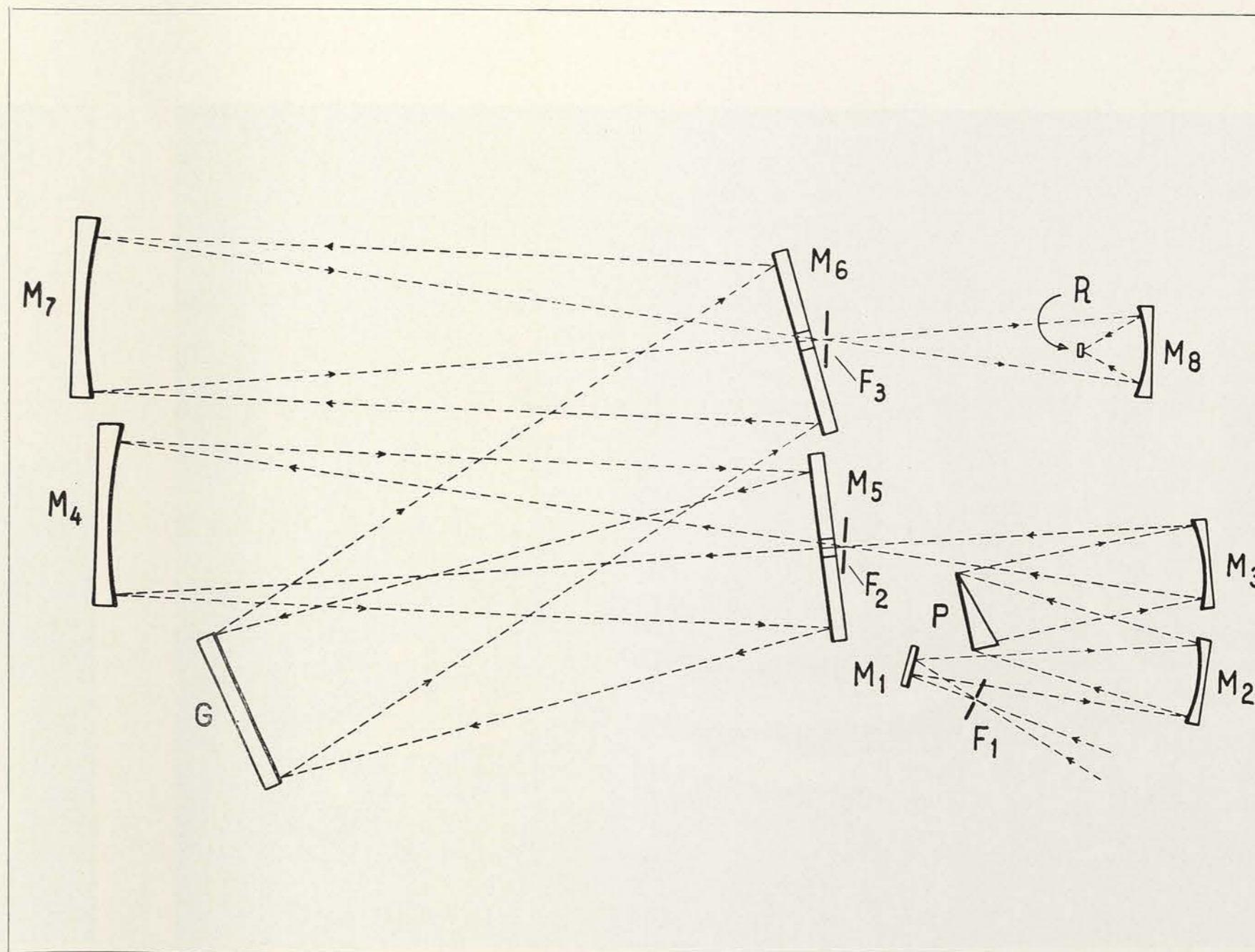


Figure 4

Schéma optique du spectrographe.  
Schematic drawing of the spectrograph.

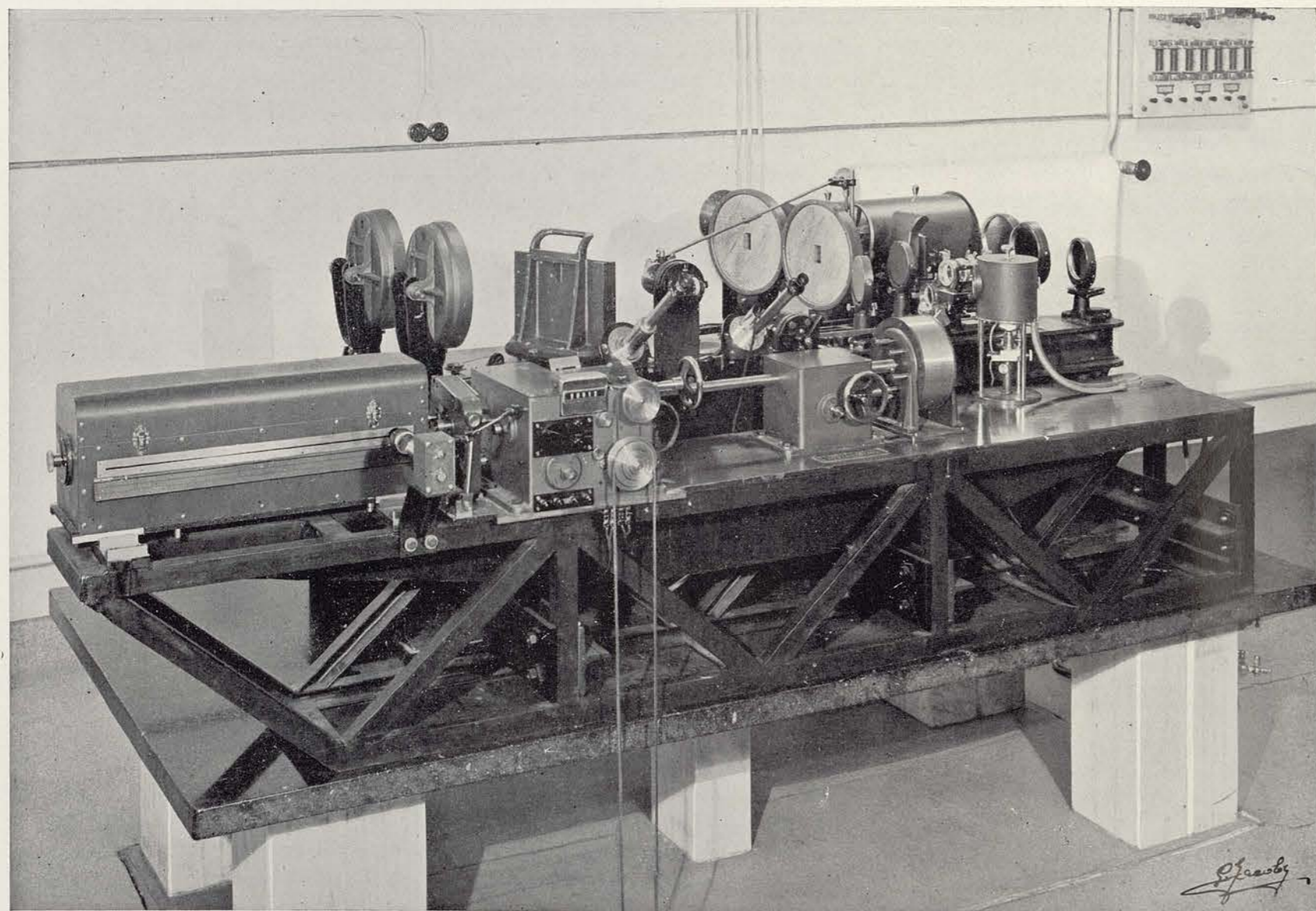


Figure 5  
Vue d'ensemble du spectrographe.  
General view of the spectrograph.

Photo G. Jacoby — Liège.

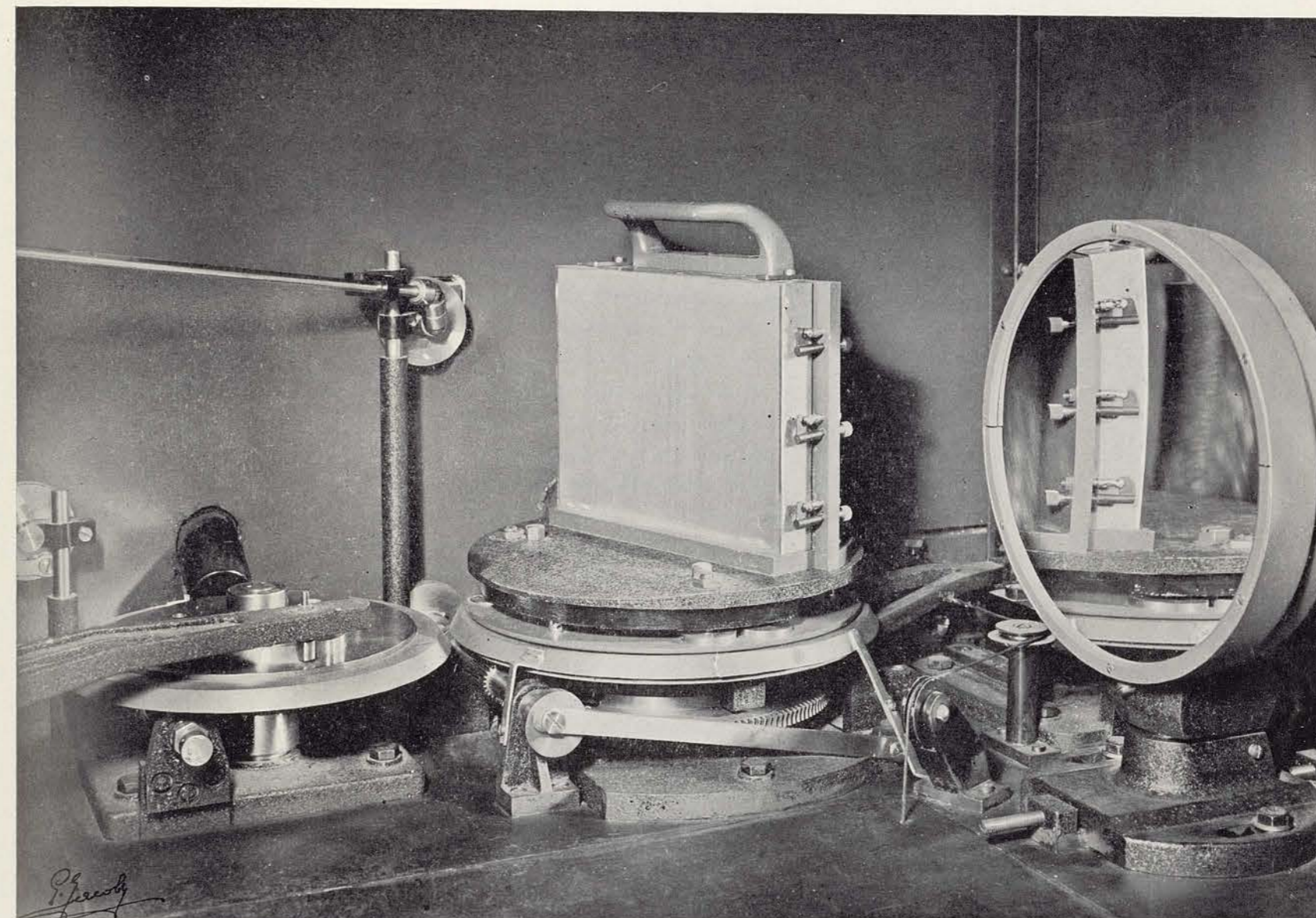


Figure 6  
Un des réseaux sur son support. Dimensions du réseau : 225 × 175 mm.  
One of the gratings in its mounting. Dimensions of the grating : 225 × 175 mm.

Photo G. Jacoby — Liège.

## LE SPECTRE SOLAIRE DE 2,8 A 23,7 MICRONS

### INTRODUCTION

Le présent atlas reproduit des enregistrements du spectre solaire couvrant le domaine de longueurs d'onde compris entre 2,80  $\mu$  et 23,75  $\mu$ . Il fait suite au « *Photometric Atlas of the Near Infra-Red Solar Spectrum,  $\lambda$  8465 to  $\lambda$  25242* » publié en 1950, par O. C. Mohler, A. K. Pierce, R. R. McMath et L. Goldberg (1).

La région spectrale entre 25.242 A et le début de notre atlas, soit 28.040 A (2,80  $\mu$ ), est complètement absorbée par la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère terrestre. La même cause a aussi limité nos enregistrements à partir de 23,75  $\mu$  vers les plus grandes longueurs d'onde.

\* \* \*

Dès 1941, A. Adel a observé le spectre solaire à grande dispersion entre 2  $\mu$  et 14  $\mu$  (2) et à petite dispersion entre 14  $\mu$  et 24  $\mu$  (3) à une altitude de 2200 mètres, à Flagstaff, Arizona, U.S.A. Toutefois, en ce qui concerne l'étude à grande dispersion, seules les observations comprises entre 7  $\mu$  et 14  $\mu$  ont été publiées (4).

Lors d'un séjour à l'Université Ohio State, Columbus (U.S.A.) en 1947-48, un des auteurs (M.M.) a réobservé, à grande dispersion, différentes parties du spectre solaire dans le domaine des longueurs d'onde supérieures à 2,8  $\mu$  (5). Ce travail a été continué par J. H. Shaw, R. M. Chapman, J. N. Howard, H. H. Claassen et M. L. Oxholm. Il en est résulté des études détaillées sur le spectre solaire entre 3,0  $\mu$  et 5,2  $\mu$  et entre 7  $\mu$  et 13  $\mu$ , publiées respectivement en 1951 (6) et 1952 (7). Toutefois, Columbus se trouve à une altitude de 260 mètres au-dessus du niveau de la mer, dans un climat habituellement assez humide. Or, de nombreuses raies d'absorption dues à la vapeur d'eau et à l'anhydride carbonique de l'atmosphère terrestre se situent au delà de 2,8 microns. C'est principalement pour réduire, autant que possible, l'absorption provenant de ces molécules que, dès 1950, nous avons effectué des observations du spectre solaire, à la Station Scientifique Internationale du Jungfrauoch (Suisse), à une altitude de 3580 mè-

tres. Jusqu'à présent, les résultats obtenus ont fait seulement l'objet de quelques notes (8, 9, 10, 11, 12). Depuis nos observations effectuées en 1950 et 1951, le spectre solaire a aussi été enregistré, à grande dispersion, de 2,9  $\mu$  à 4,9  $\mu$ , à l'Observatoire du Mont Wilson (U.S.A.) sous la direction de O. C. Mohler, A. K. Pierce, R. R. McMath et L. Goldberg de l'Observatoire McMath-Hulbert, Université de Michigan (U.S.A.). Grâce à leur obligeance, nous avons pu disposer de leurs enregistrements qui sont d'une qualité exceptionnelle, tant au point de vue pouvoir de résolution que réduction du bruit de fond. Cette heureuse circonstance a permis de confirmer la présence de nombreuses raies faibles apparaissant sur nos spectres. En général, ces raies sont dues à des gaz telluriques et sont plus intenses au Mont Wilson qu'au Jungfrauoch, vu la différence d'altitude entre ces deux stations (altitude du Mont Wilson : 1742 mètres).

### LA STATION D'OBSERVATION

La figure 1 donne une vue générale de la Station Scientifique Internationale du Jungfrauoch, située en Suisse, dans l'Oberland bernois. Cette station comprend :

a) le bâtiment principal (altitude : 3457 mètres) dans lequel se trouvent, en particulier, des laboratoires, un atelier, une bibliothèque, des chambres pour les chercheurs.

b) l'Observatoire du Sphinx situé à une altitude de 3580 mètres. C'est dans ce bâtiment que nos observations ont été effectuées.

Une photographie de l'Observatoire du Sphinx, vu de l'Est, est reproduite fig. 2 (\*).

### INSTRUMENTATION

Nous avons utilisé un coelostat et un spectrographe provenant de l'Institut d'Astrophysique de Cointe (Université de Liège). Ces instruments ont été décrits en 1945 (13). Depuis lors, ils ont été perfectionnés, installés au Jungfrauoch en janvier 1950, puis réinstallés à Cointe au début de 1952.

(\*) Pour plus de détails sur la station d'observations, cf. les rapports publiés en 1937, 1942, 1946 et 1951 par la « Hochalpine Forschungsstation Jungfrauoch » Bühlplatz, 5, Bern (Suisse).

La fig. 3 donne une vue du coelostat alors qu'il se trouvait sur la grande plate-forme de l'Observatoire du Sphinx. Cet instrument est muni de deux miroirs plans aluminisés, de 30 cm de diamètre, taillés dans du verre L 4 de St Gobain, analogue au pyrex.

Après réflexion sur les miroirs du coelostat, le faisceau solaire est dirigé verticalement vers le bas. Un jeu de miroirs plans l'envoie alors sur un miroir sphérique de 30 cm de diamètre et d'un mètre de distance focale. Celui-ci forme donc une image du soleil d'environ 1 cm de diamètre sur la fente d'entrée  $F_1$  du spectrographe (cf. fig. 4). Dans cet instrument, les rayons passant par cette fente tombent successivement sur le miroir plan  $M_1$ , le miroir sphérique  $M_2$  (distance focale : 50 cm) et le prisme P, aluminisé sur la face arrière. Les rayons sortant du prisme sont recueillis, en partie, par le miroir sphérique  $M_3$  (distance focale : 50 cm), qui forme un spectre, à petite dispersion, dans le plan de la fente  $F_2$ . Celle-ci est située au foyer principal du miroir parabolique  $M_4$  (diamètre : 25 cm; distance focale : 100 cm). Le faisceau divergent provenant de  $F_2$  tombe sur  $M_4$  puis sur le miroir plan  $M_5$  (percé en son centre) et est dirigé sur le réseau G. Les rayons diffractés sont, en partie, réfléchis par le miroir plan  $M_6$  (troué en son centre) et dirigés sur le miroir parabolique  $M_7$  (diamètre : 25 cm; distance focale : 100 cm), qui forme un spectre, à grande dispersion, dans le plan de la fente de sortie  $F_3$ . Cette fente se trouve à un des foyers du miroir elliptique  $M_8$ , le récepteur R étant placé à l'autre foyer de ce miroir. Le récepteur est relié à un enregistreur à plume, par l'intermédiaire d'un amplificateur adéquat. Les mouvements de rotation du réseau et du prisme ont été couplés mécaniquement, ce qui a permis de couvrir sans interruption, des régions spectrales assez étendues.

Les fig. 5 et 6 reproduisent des photographies du spectrographe qui était installé dans le grand laboratoire du « Sphinx » en-dessous de la plate-forme supportant le coelostat.

### RÉSEAUX ET PRISMES

Pour obtenir les enregistrements reproduits dans cet atlas, nous avons utilisé quatre réseaux originaux, à échelottes, dont les caractéristiques principales sont données dans le tableau I.

TABLEAU I  
Caractéristiques des réseaux

Nombre de traits par pouce	Dimensions de la surface gravée	Domaines d'utilisation dans le 1 <sup>er</sup> ordre	Universités d'origine
7500	16 × 12 cm	2 à 6 μ	Johns Hopkins (Prof. J. Strong)
3600	17 × 22 cm	5 à 10 μ	Michigan (Prof. E. F. Barker)
2400	17 × 22 cm	9 à 14 μ	Michigan (Prof. E. F. Barker)
1200	17 × 22 cm	14 à 24 μ	Michigan (Prof. E. F. Barker)

Nous avons essayé de réduire, autant que possible, l'effet de la lumière diffusée dans le spectrographe. Pour ce faire, le demi-disque coupant, à 13 cycles, le faisceau lumineux entrant par la fente  $F_1$ , était soit en métal, soit en verre, soit en mica suivant la région étudiée. Il en était de même des écrans qui ont été placés dans le faisceau lumineux pour obtenir la position « zéro » de la plume de l'enregistreur, c'est-à-dire la position qu'occupe la plume lorsqu'un écran opaque aux radiations considérées est placé devant  $F_1$ . Dans le monochromateur, un prisme en NaCl (angle 18°) a été utilisé jusque 14 μ. Il a été remplacé par un prisme en KBr (angle 10°) entre 14 μ et 24 μ.

Les enregistrements obtenus permettent de constater que, dans les régions spectrales complètement absorbées, la position de la plume de l'enregistreur se situe à peu près à la même position que le « zéro » de cette plume. L'effet de la lumière diffusée peut être considéré comme négligeable.

#### DISPOSITIFS DE DÉTECTION ET D'ENREGISTREMENT

Comme détecteur, nous avons utilisé une pile thermo-électrique Perkin-Elmer (\*), reliée à un amplificateur 13 cycles

(\*) The Perkin-Elmer Corporation, Norwalk, Conn. (U.S.A.)

de la même firme. Celui-ci était raccordé à un enregistreur à plume Speedomax type G de Leeds and Northrup (\*). Dans les conditions normales de fonctionnement, l'amplificateur utilisé présente le grand avantage d'être proportionnel, c'est-à-dire que la déviation de la plume par rapport à la ligne « zéro » est proportionnelle à l'énergie qui atteint le récepteur celle-ci étant coupée à la fréquence de 13 cycles. La position moyenne du « zéro » restait stable, pourvu que les conditions d'équilibre de température de l'installation soient atteintes.

#### DESCRIPTION DES PLANCHES

L'atlas comprend 123 planches, chacune de celles-ci étant une reproduction photographique des enregistrements originaux (réduction : 4/5). La région spectrale étudiée a été divisée en 118 sections, l'étendue des régions de recouvrement étant variables. Dans cinq cas, nous avons trouvé qu'il était spécialement intéressant de reproduire deux fois le même domaine spectral, enregistré dans des conditions d'observations différentes (7 et 7a, 8 et 8a, 11 et 11a, 64 et 64a, 65 et 65a; cf. tableau II à la fin du texte anglais (\*\*).

Sur chaque planche, les limites spectrales sont données en  $\text{cm}^{-1}$  (nombre supérieur) et en microns (nombre inférieur). Lorsque la position « zéro » de la plume de l'enregistreur n'est pas marquée directement par celle-ci, elle est indiquée par des droites (traits renforcés), qui ont été tracées à gauche et à droite des planches. En général, le « zéro » n'accuse pas de dérive. Cependant, nous avons parfois inclus des enregistrements présentant une légère dérive du « zéro », vu la qualité exceptionnelle de ceux-ci. A cause de ces enregistrements, il nous a paru utile de tracer, sur chaque planche, une droite, qui est perpendiculaire au déplacement de la plume, de manière à faciliter par exemple, la détermination de la largeur équivalente des raies. Cette droite est plus fine que celles qui indiquent la position « zéro » et, en général, se situe entre celles-ci.

Chaque raie spectrale est indiquée par un trait. Sur chaque

(\*) The Leeds and Northrup Company, Philadelphia, Pa. (U.S.A.).

(\*\*) Nous tenons nos enregistrements originaux à la disposition des chercheurs qui désireaient une plus ample documentation concernant les spectres enregistrés dans différentes conditions d'observations.

planche, ces traits sont numérotés de 10 en 10, en commençant par le numéro 1. Lorsque la présence d'une raie d'absorption était douteuse, le trait correspondant n'a été marqué qu'après une comparaison avec des enregistrements pris dans des conditions différentes au Jungfrauoch. De plus, entre 2,9 μ et 4,9 μ, nous avons aussi utilisé les enregistrements obtenus au Mont Wilson, ainsi que nous l'avons déjà signalé.

Dans quelques cas, un trait est indiqué dans l'Atlas à un endroit où une raie d'absorption est à peine visible ou même n'apparaît pas sur l'enregistrement choisi pour être reproduit dans l'atlas. Dans ces circonstances, nous avons toutefois reconnu l'existence d'une raie sur d'autres enregistrements pris au Jungfrauoch. Citons, comme exemple, les raies 38 et 39 de la planche 11a; sur celle-ci, ces raies sont nettement marquées tandis que sur la planche 11, elles sont très faibles ou absentes.

De temps en temps, au cours de l'enregistrement, le calibrage automatique du Speedomax bloque la plume de l'enregistreur pendant un temps relativement court mais qui est suffisant pour donner une déformation de la courbe. Par comparaison avec des enregistrements non perturbés, nous nous sommes efforcés de rendre au spectre son aspect normal, en le corrigeant par des traits interrompus tracés à la main. Un tel cas se présente, par exemple, sur la planche 1, entre les raies 43 et 44.

A intervalles réguliers, la plume de l'enregistreur effectue automatiquement des déplacements rapides, qui se marquent sous forme de traits d'environ 7 mm de longueur partant de la courbe et dirigé vers le haut. Ceux-ci sont des marques de déplacements angulaires, permettant de repérer la position du papier enregistreur par rapport au cercle gradué situé sous le réseau. Le calcul des longueurs d'onde des raies peut alors s'effectuer en appliquant la formule  $\lambda = K \sin \theta$ , K étant une constante de l'instrument et  $\theta$ , le déplacement angulaire du réseau par rapport à l'image centrale (cf. p. 43 de la réf. 13). Dans les régions spectrales où nous avons pu disposer de mesures précises pour des raies suffisamment rapprochées, nos déterminations de longueurs d'onde ont été effectuées par interpolation. La question des mesures sera discutée en détail dans la deuxième partie de ce travail, intitulée « Mesures et Identifications »; celle-ci est actuellement en préparation.

D'après la région spectrale étudiée et le réseau utilisé, des raies distantes de  $0,3 \text{ cm}^{-1}$  à  $0,15 \text{ cm}^{-1}$  sont encore séparées sur nos enregistrements.

#### LES CONDITIONS D'OBSERVATIONS

La pression atmosphérique qui règne habituellement au Jungfrauoch se situe aux environs de 480 mm de Hg.

Les températures extérieures minimum et maximum relevées au cours de nos observations étaient de  $-20^\circ \text{C}$ . et de  $+6^\circ \text{C}$ ., tandis que l'humidité relative a varié de 5 % à 95 %. Lors de notre séjour, nous avons pu constater que, même pendant les mois d'été, l'intensité des raies d'absorption dues à la vapeur d'eau tellurique était généralement fort réduite comparativement aux mêmes raies observées à l'Observatoire du Mont Wilson (cf. réf. 9, deuxième publication). Pour faire cette comparaison, le spectrographe était équipé d'un réseau à échelottes à 15.000 traits par pouce (surface gravée :  $10,5 \times 10,5 \text{ cm}$ ), taillé à l'Université Johns Hopkins (U.S.A.) sous la direction de R.W. Wood; le récepteur utilisé était une cellule au PbS de Cashman, reliée à un amplificateur de Wilson (14).

Chaque région spectrale a été enregistrée plusieurs fois, dans des conditions d'observations différentes, de manière à faire apparaître le plus de raies possible. Par exemple, les régions contenant des raies de vapeur d'eau ont été enregistrées par temps sec et par temps humide. Celles qui contiennent des raies telluriques peu intenses pour de faibles distances zénithales du soleil ont aussi été enregistrées lorsque le soleil était bas sur l'horizon.

Pour toutes les observations, l'image du disque solaire était centrée sur la fente d'entrée  $F_1$ .

Dans le tableau II, situé à la fin du texte anglais, nous mentionnons certaines données d'observations pouvant faciliter l'interprétation de nos enregistrements. La première colonne donne la numérotation des planches. Nous avons indiqué respectivement dans les colonnes 2, 3, 4 et 5, les dates et les heures du début et de la fin de chaque enregistrement reproduit, les hauteurs de soleil correspondantes, la sécante de la distance zénithale pour l'heure correspondant au milieu des différentes sections et l'intervalle spectral (en  $\text{cm}^{-1}$ ) compris dans la

fente de sortie  $F_3$ . Enfin, dans les deux dernières colonnes (6 et 7), nous donnons, à titre indicatif, les températures en degrés centigrades et les humidités relatives qui ont été relevées à l'extérieur, au cours des observations.

#### REMERCIEMENTS

Le présent atlas résulte d'un long travail de préparation commencé, en fait, il y a une vingtaine d'années, lorsque Monsieur le Professeur P. Swings de l'Institut d'Astrophysique de Cointe a attiré l'attention de l'un des auteurs (M.M.) sur l'intérêt de l'observation, à grande dispersion, du spectre infra-rouge du soleil. Les premières observations ont commencé à Cointe en 1942. Après une interruption due à la guerre, elles ont été continuées au Jungfrauoch dans de meilleures conditions d'observation qu'en Belgique. C'est à Monsieur le Professeur Swings que va tout d'abord notre reconnaissance. Non seulement, il a été l'instigateur de ce travail, mais il en a facilité le développement dans toute la mesure de ses moyens.

L'expédition au Jungfrauoch a été subsidiée par le Fonds National Belge de la Recherche Scientifique, le Patrimoine de l'Université de Liège et l'Observatoire Royal de Belgique. La préparation et la publication de cet atlas a été rendue possible grâce à l'aide financière du « Geophysics Research Directorate of Air Force Cambridge Research Center, Air Research and Development Command, United States Air Force, par l'intermédiaire de l'Office Européen, A.R.D.C., Bruxelles. Nous remercions vivement ces différents organismes et, en particulier, Monsieur J. Willems, directeur du F.N.R.S., Monsieur le Professeur P. Bourgeois, directeur de l'Observatoire Royal de Belgique, Monsieur R. Chapman du « Air Force Cambridge Research Center » et le Lieutenant-Colonel R. Nunziato, directeur de l'Office Européen de l'A.R.D.C.

Nous sommes aussi particulièrement reconnaissants à Monsieur le Professeur A. de Muralt, directeur de la Station Scientifique Internationale du Jungfrauoch, pour l'intérêt qu'il a porté à notre travail et pour les facilités qu'il nous a accordées pendant notre séjour en Suisse.

Nous rendons hommage au bel esprit de coopération scientifique de O. C. Mohler, A. K. Pierce, R. R. McMath et L. Goldberg de l'Observatoire McMath-Hulbert, Pon-

tiac, Michigan, U.S.A., qui ont mis à notre disposition leurs importantes observations entre  $2,9 \mu$  et  $4,9 \mu$ , alors que celles-ci ne seront pas publiées à bref délai.

Au début des observations définitives, nous avons apprécié l'aide, particulièrement efficace, de Mademoiselle D. Jehoulet, assistante volontaire à l'Institut d'Astrophysique de Cointe.

Lors de la mise au point des instruments et au cours des observations, nous n'avons jamais fait appel en vain aux connaissances techniques de Mr. F. Denooz, préparateur-technicien à l'Institut d'Astrophysique de Cointe et de Mr. H. Wiederkehr, gardien de la Station du Jungfrauoch. Nous les remercions vivement pour leur aide et leur dévouement.

Pour terminer, nous évoquons, avec plaisir, le bel esprit d'entraide et d'amitié qui a régné à la Station Scientifique Internationale du Jungfrauoch pendant tout notre séjour. Que les nombreux chercheurs que nous y avons rencontrés trouvent ici un gage de notre profonde sympathie.

## THE SOLAR SPECTRUM FROM 2.8 TO 23.7 MICRONS

### INTRODUCTION

This atlas contains reproductions of solar spectrum tracings covering the wave-length interval between  $2.80 \mu$  and  $23.75 \mu$ . It is an extension of the *Photometric Atlas of the Near Infra-Red Solar Spectrum*,  $\lambda 8465$  to  $\lambda 25242$  published in 1950 by O. C. Mohler, A. K. Pierce, R. R. McMath and L. Goldberg<sup>(1)</sup>.

The spectral region between  $\lambda 25242$  and the beginning of our atlas — that is,  $\lambda 28040$  ( $2.80 \mu$ ) is completely absorbed by the water vapor in the earth's atmosphere. For the same reason our tracings do not extend into the region longward of  $23.75 \mu$ .

\* \* \*

In 1941 A. Adel observed the solar spectrum under high dispersion between  $2 \mu$  and  $14 \mu$ <sup>(2)</sup> and under low dispersion between  $14 \mu$  and  $24 \mu$  at an altitude of 7218 feet, at Flagstaff, Arizona, U.S.A.<sup>(3)</sup>. However, concerning the high-dispersion study, only the observations in the region between  $7 \mu$  and  $14 \mu$  have been published<sup>(4)</sup>.

During a stay at the Ohio State University, Columbus, Ohio (U.S.A.) in 1947-48, one of the authors (M.M.) reobserved, under high dispersion, various regions of the solar spectrum longward of  $2.8 \mu$ <sup>(5)</sup>. This work has been continued by J. H. Shaw, R. M. Chapman, J. N. Howard, H. H. Claassen and M. L. Oxholm. It has resulted in detailed studies of the solar spectrum between  $3.0 \mu$  and  $5.2 \mu$  and between  $7 \mu$  and  $13 \mu$ , published respectively in 1951<sup>(6)</sup> and 1952<sup>(7)</sup>. However, Columbus lies at an altitude of 853 feet above sea level in a habitually rather humid climate. As is well known, numerous absorption lines due to the water vapor and carbon dioxide in the earth's atmosphere are located in the spectral region longward of  $2.8 \mu$ . It is principally to reduce as much as possible the absorption due to these molecules that since 1950 we have carried out observations of the solar spectrum at the Jungfrauoch International Scientific Station (Switzerland) at an altitude of 11746 feet. Up to the present our results have

only been reported in a few notes<sup>(8,9,10,11,12)</sup>. Since our observations of 1950 and 1951 high-dispersion spectra in the region extending from  $2.9 \mu$  to  $4.9 \mu$  have also been recorded at the Mount Wilson Observatory (U.S.A.) under the direction of O. C. Mohler, A. K. Pierce, R. R. McMath and L. Goldberg of the McMath-Hulbert Observatory of the University of Michigan (U.S.A.). Their records in this wave-length interval have been very kindly placed at our disposal. Owing to the exceptional quality of these spectra, from the point of view of the resolution as well as the reduction of the background noise, the presence of many weak lines appearing on our tracings has been confirmed. In general these lines are due to telluric gases and are stronger at Mount Wilson than at the Jungfrauoch, owing to the difference in altitude between these two stations (altitude of Mount Wilson: 5716 feet).

### THE OBSERVING STATION

A general view of the Jungfrauoch International Scientific Station, situated in Switzerland in the Bernese Alps, is given in Figure 1. This station consists of :

a) The main building (altitude: 11342 feet) containing laboratories, a machine-shop, a library and rooms for research workers.

b) The Sphinx Observatory situated at an altitude of 11746 feet. It is in this building that our observations were carried out.

A view of the Sphinx Observatory, seen from the east, is given in Figure 2 (\*).

### INSTRUMENTATION

The observations were made with a coelostat and spectrometer of the Institute for Astrophysics in Cointe (University of Liège). These instruments were described in 1945<sup>(13)</sup>. Since that time, they have been improved, installed at the

(\*) For further details concerning the observing station see the reports published in 1937, 1942, 1946 and 1951 by the «Hochalpine Forschungsstation Jungfrauoch», Bühlplatz, 5, Bern, Switzerland.

Jungfrauoch in January, 1950 and reinstalled in Cointe in 1952.

The coelostat as it appeared on the main platform of the Sphinx Observatory is seen in Figure 3. This instrument has two plane, aluminized mirrors, each 30 cm in diameter, of St. Gobain L 4 glass (similar to pyrex).

After reflection by the mirrors of the coelostat, the solar beam is directed vertically downwards. A set of plane mirrors send it to a spherical mirror having a diameter of 30 cm and a focal length of one meter. The latter mirror focuses an image of the sun about 1 cm in diameter on the entrance slit  $F_1$  of the spectrometer (cf. Fig. 4). In this instrument the light entering the slit passes successively from the plane mirror  $M_1$  to the spherical mirror  $M_2$  (focal length: 50 cm) and the prism P, which is aluminized on the back surface. A part of the radiation leaving the prism is collected by the spherical mirror  $M_3$  (focal length: 50 cm), which produces a low-dispersion spectrum on the slit  $F_2$ . The latter slit is located at the principal focus of the parabolic mirror  $M_4$  (diameter: 25 cm; focal length: 100 cm). The divergent beam coming from  $F_2$  passes from  $M_4$  to the plane mirror  $M_5$  (perforated) and thence to the grating G. A part of the diffracted light is reflected from the plane mirror  $M_6$  (perforated) to the parabolic mirror  $M_7$  (diameter: 25 cm; focal length: 100 cm), which forms a high dispersion spectrum on the exit slit  $F_3$ . This slit is located at one focus of the elliptical mirror  $M_8$ , the detector R being at the other. The detector is connected to a pen recorder through a suitable amplifier. The rotational motions of the grating and prism were mechanically coupled permitting rather extended spectral regions to be covered without interruption.

In Figures 5 and 6 we have reproduced photographs of the spectrometer, which was installed in the main laboratory of the «Sphinx» below the platform on which the coelostat was mounted.

### THE GRATINGS AND PRISMS

To obtain the records reproduced on this atlas we have used four original echelette gratings, the main characteristics of which are given in Table I.

TABLE I

## The Gratings

Number of lines per inch	Dimensions of the ruled surface	Region covered in the first order	Source
7500	16 × 12 cm	2 to 6 $\mu$	Johns Hopkins University (Prof. J. Strong)
3600	17 × 22 cm	5 to 10 $\mu$	Univ. of Michigan (Prof. E. F. Barker)
2400	17 × 22 cm	9 to 14 $\mu$	Univ. of Michigan (Prof. E. F. Barker)
1200	17 × 22 cm	14 to 24 $\mu$	Univ. of Michigan (Prof. E. F. Barker)

We have tried to reduce as much as possible the effect of stray light in the spectrograph. To this end, according to the spectral region studied, metal, glass or mica disks were employed in the chopper (13 cycles per second) placed in front of the entrance slit  $F_1$ . Screens of the same materials were used to obtain the «zero» position of the recorder pen — that is, the position assumed by this pen when a screen that is opaque to the radiation in question is placed in front of  $F_1$ . In the monochromator an 18° NaCl prism was used for the 2  $\mu$  - 14  $\mu$  region; longward of 14  $\mu$  it was replaced by a 10° KBr prism.

Our tracings show that in the totally absorbed regions of the spectrum the recorder pen is at about the zero position. Thus, the effect of the stray light may be considered as negligible.

## THE DETECTING AND RECORDING SYSTEM

As a detecting system we have employed a Perkin-Elmer thermocouple (\*) together with a 13-cycle-per-second chopping system and amplifier, of the same firm, connected to a Leeds

(\*) The Perkin-Elmer Corporation, Norwalk, Conn. (U.S.A.).

and Northrup Speedomax (type G) recorder (\*). Under normal operation conditions, the amplifier used has the great advantage of being linear — that is, the deflection of the pen with respect to the zero line is proportional to the energy reaching the detector, the radiation being chopped at a frequency of 13 cycles per second. The mean position of the «zero» remains fixed, provided the conditions for the temperature equilibrium of the installation are attained.

## THE PLATES

The Atlas contains 123 plates, each being a photographic reproduction (reduction: 4/5) of the original tracing. The spectral region studied has been divided into 118 sections, with varying overlapping intervals; in five cases of special interest we have given two reproductions of the same spectral region recorded under different observing conditions (Plates 7 and 7a, 8 and 8a, 11 and 11a, 64 and 64a, 65 and 65a; cf. Table II (\*\*)).

On each plate the spectral limits are given in  $\text{cm}^{-1}$  (upper figure) as well as in microns (lower figure). When the zero position of the recorder pen is not directly traced, it is indicated by a heavy straight line near the left and right edges of the plates. In general, no drift in the «zero» is apparent. However, certain records showing a slight zero drift, being otherwise of exceptional quality, have been included. In view of these tracings it has appeared useful — for example, for the determination of equivalent widths — to trace on each plate a straight line perpendicular to the deflection of the pen. This line is lighter than the zero lines and is generally situated between them.

Each spectral line is indicated by a dash. Starting with number one on each plate, the dashes are numbered by tens. Many spurious features have been eliminated by comparing tracings obtained at the Jungfrauoch under different observing conditions. In addition, in the 2.9  $\mu$  - 4.9  $\mu$  region, we have, as has already been pointed out, made use of the records ob-

(\*) The Leeds and Northrup Company, Philadelphia, Pa. (U.S.A.).

(\*\*) Our original tracings are at the disposal of research workers wishing to have further information concerning the appearance of the spectra obtained under different observing conditions.

tained at Mount Wilson by the Michigan group. In certain cases a dash is indicated in the Atlas when there is little or no evidence for an absorption feature on the particular record selected for reproduction. In these instances we have nevertheless recognized the presence of a line on other Jungfrauoch tracings. Good examples of this situation are furnished by lines 38 and 39 on Plate 11a; on this plate these lines are clearly visible, whereas on Plate 11 they are exceedingly weak or absent.

From time to time during the course of the recording the automatic calibration of the Speedomax locked the motion of the recorder pen for a brief instant, causing a deformation in the curve. By comparison with unperturbed tracings of the same region we have corrected these defects in the spectrum by means of hand-drawn pen strokes. Such a case is seen, for example, on Plate 1 between lines 43 and 44.

At regular intervals the recorder pen automatically makes rapid jumps which appear as strokes (of about 7 mm in length) extending upwards from the tracing curve. These short lines are angular-displacement marks indicating the position of the tracing paper with respect to the graduated circle under the grating. The conversion of the angle of rotation of the grating to wave length can then be made by applying the formula

$$\lambda = K \sin \theta,$$

K being the grating constant and  $\theta$ , the angular displacement of the grating from the central image (cf. p. 43 of ref. 13). However, in the spectral regions for which more accurate laboratory wave-length determinations (of lines sufficiently close to each other) are available we have made our measurements by interpolation. This question will be discussed in detail in Part II («Measures and Identifications») of this work. This part is now in preparation.

Depending on the spectral region studied and the grating used, pairs of lines having separations of 0.3 to 0.15  $\text{cm}^{-1}$  are distinguishable on our tracings.

## THE OBSERVING CONDITIONS

The atmospheric pressure at the Jungfrauoch is usually in the neighborhood of 480 mm Hg. The minimum and

maximum outside temperatures noted during the course of the observations were  $-20^{\circ}\text{C}$  and  $+6^{\circ}\text{C}$ ; the humidity varied from 5% to 95%. We have noted that even during the summer months at the Jungfrauoch, the telluric water-vapor lines are much weaker than at Mount Wilson (cf. ref. 9, second publication). To make this comparison the spectrograph was equipped with a 15000 line/inch echelette grating (ruled surface:  $10.5 \times 10.5$  cm) ruled at Johns Hopkins University (U.S.A.) under the direction of R. W. Wood; the detector was a Cashman lead-sulfide cell used in conjunction with a Wilson amplifier<sup>(16)</sup>.

Each spectral region was recorded several times under different observing conditions so as to bring out as many absorption lines as possible. For example, the water-vapor line regions were registered during humid as well as dry periods. Regions containing weak telluric lines on noon-day tracings were studied again when the sun was close to the horizon.

For all of the observations the image of the solar disk was centered on the entrance slit  $F_1$ . In Table II we give certain observational data that will be useful for the interpretation of our records. The first column gives the plate number. We have indicated respectively in columns 2, 3, 4 and 5 the times of the beginning and end of each tracing reproduced, the corresponding solar heights, the secant of the sun's zenith distance for the time corresponding to the center of each section and the spectral interval (in  $\text{cm}^{-1}$ ) covered by the exit slit  $F_3$ . Finally, in the last two columns (6 and 7) we have noted the outside temperatures ( $^{\circ}\text{C}$ ) and relative humidities recorded during the course of the observations.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

This atlas is the result of a long preparation started some twenty years ago when Professor P. Swings of the Institute for Astrophysics in Cointe called the attention of one of the writers (M.M.) to the importance of observing the infra-red solar spectrum under high dispersion. The observations were started in Cointe in 1942; after an interruption by the war they were continued at the Jungfrauoch under better observing conditions than in Belgium. We are especially grateful to

Prof. Swings, who not only instigated our project, but facilitated its development in every way possible.

The expedition to the Jungfrauoch was subsidized by the Belgian National Fund for Scientific Research, the University of Liège and the Royal Observatory of Belgium. The preparation and publication of the atlas has been made possible by a grant from the Geophysics Research Directorate of Air Force Cambridge Research Center, Air Research and Development Command, United States Air Force, through the European Office, A.R.D.C., Brussels. We are greatly indebted to these organizations and in particular to Mr. J. Willems, Director of the Belgian National Fund for Scientific Research, Professor P. Bourgeois, Director of the Royal Observatory, Mr. R. Chapman of the Air Force Cambridge Research Center and Lieutenant-Colonel R. Nunziato, Commander of the European Office of the A.R.D.C.

To Prof. A. de Muralt, Director of the Jungfrauoch International Scientific Station, we are particularly grateful for the interest he has taken in our program and for the facilities accorded us during our stay in Switzerland.

It is with sincere gratitude that we record here our indebtedness to Drs. O. C. Mohler, A. K. Pierce, R. R. McMath and L. Goldberg of the McMath-Hulbert Observatory, Pontiac, Michigan (U.S.A.) who have allowed us to make use of their valuable observational material in the  $2.9\mu$ - $4.9\mu$  region in advance of publication. Their fine spirit of international scientific cooperation has been most gratifying.

The writers wish also to express their thanks to Miss D. Jehoulet, voluntary assistant at the Institute for Astrophysics, for her particularly efficient help during the early stages of the final observations.

When the instruments were being adjusted as well as during the course of the observations, it was never in vain that we called upon the technical knowledge of Mr. F. Denooz, machinist at the Institute for Astrophysics in Cointe, and Mr. H. Wiederkehr, caretaker at the Jungfrauoch Station. Their aid and devotion to the project are greatly appreciated.

The authors take pleasure in recalling the wonderful spirit of cooperation and friendship that prevailed throughout the course of their stay at the Jungfrauoch International Scientific Station. We wish to express our best wishes to the

many scientific workers with whom we came into contact during our sojourn at the « Joch ».

#### REFERENCES

- (1) O. C. MOHLER, A. K. PIERCE, R. R. McMATH and L. GOLDBERG, Photometric Atlas of the Near Infra-Red Solar Spectrum,  $\lambda$  8465 to  $\lambda$  25242, Ann Arbor University of Michigan Press, 1950.
- (2) A. ADEL, *Phys. Rev.*, **59**, 915, 1941.
- (3) A. ADEL, *Ap. J.*, **96**, 239, 1942; *Publ. Am. Astr. Soc.*, **10**, 224, 1942.
- (4) A. ADEL, *Ap. J.*, **94**, 451, 1941.
- (5) M. MIGEOTTE, *Phys. Rev.*, **73**, 519, 1948; *Ap. J.*, **107**, 400, 1948; *Phys. Rev.*, **74**, 112, 1948; *Astr. Journ.*, **54**, 45, 1948; *J.O.S.A.*, **38**, 1094, 1948; *Phys. Rev.*, **75**, 1108, 1949; *Phys. Rev.*, **75**, 1611, 1949; *Ap. J.*, **112**, 136, 1950.
- (6) J. H. SHAW, R. M. CHAPMAN, J. N. HOWARD and M. L. OXHOLM, *Ap. J.*, **113**, 268, 1951.
- (7) J. H. SHAW, M. L. OXHOLM and H. H. CLAASSEN, *Ap. J.*, **116**, 554, 1952.
- (8) M. MIGEOTTE et L. NEVEN, *Physica*, **16**, 423, 1950; *Ann. d'Astrophysique*, **14**, 315, 1951; *Zwanzig Jahre Hochalpine Forschungsstation Jungfrauoch 1951*. Ed. Prof. de Muralt. (Comm. Obs. Roy. Belgique n° 34); *Mém. Soc. Roy. Sc. Liège*, **12**, 165, 1952. (Comm. Obs. Roy. Belgique n° 40); *Ap. J.*, **115**, 326, 1952.
- (9) A. H. NIELSEN and M. MIGEOTTE, *Ann. d'Astrophysique*, **15**, 134, 1952; *Bull. Ac. Roy. Sc. de Belgique*, **38**, 366, 1952.
- (10) M. MIGEOTTE, L. NEVEN et E. VIGROUX, *Physica*, **18**, 982, 1952; **19**, 140, 1953; **19**, 143, 1953.
- (11) W. BENESCH, M. MIGEOTTE and L. NEVEN, *J.O.S.A.*, **43**, 1119, 1953; *Journ. Phys.*, **15**, 213, 1954; 72<sup>e</sup> Session de l'Association Française pour l'Avancement des Sciences, juillet 1953.
- (12) C. DE JAGER and L. NEVEN, *Proc. Ac. Amsterdam*, **53**, 1577, 1950 (Comm. Obs. Roy. Belgique n° 23); *Proc. Ac. Amsterdam*, **55**, 153, 1952 (Comm. Obs. Roy. Belgique n° 43).
- (13) M. MIGEOTTE, *Mém. Soc. Sc. Liège*, 1<sup>re</sup> série, fasc. 3, tome 1, 1945.
- (14) G. KUIPER, W. WILSON and R. CASHMAN, *Ap. J.*, **106**, 243, 1947.

TABLE II  
Observational Data

Atlas plate number	TIME (U.T.)	Height of Sun		Secant of zenith distance	Band pass ( $\text{cm}^{-1}$ )	Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	Relative humidity (%)
		Begin.	End				
1	1951 April 15 11 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup> - 12 <sup>h</sup> 08 <sup>m</sup>	53°12'	52°06'	1.26	0.34		
2	.....12 02 - 12 22	52 18 - 51 21		1.27	.32	-16	38
	.....12 27 - 12 48	51 00 - 49 24		1.30			
3	.....12 42 - 13 24	49 54 - 45 36		1.35	.30		
4	.....13 16 - 13 54	46 36 - 41 54		1.43	.29		
5	.....14 21 - 15 00	38 12 - 31 54		1.42	.31		
6	.....14 52 - 15 37	33 18 - 25 34		2.03	.29	-12.5	48
7	.....15 29 - 15 42	27 12 - 25 06		2.27	.28		
	.....15 58 - 16 34	22 24 - 16 24		3.01			
7a	1951 April 22 13 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup> - 13 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>	47°54'	45°06'	1.38	.28	- 6	13
	.....13 46 - 14 06	44 36 - 41 36		1.46			
8	1951 April 15 16 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup> - 16 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup>	17°54'	13°30'	3.70	.27	-12.5	48
	.....6 41 - 6 50	19 18 - 20 48		2.92			
8a	1951 April 22 13 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup> - 14 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup>	42°42'	38°24'	1.54	.27	- 6	13
	.....15 12 - 15 25	31 06 - 29 00		2.00			
9	1951 April 15 6 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup> - 7 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup>	19°36'	26°18'	2.56	.26		
10	.....7 20 - 7 40	25 48 - 29 12		2.17	.25	-15	38
	.....9 59 - 10 17	48 30 - 50 12		1.32			
11	.....9 59 - 10 45	48 30 - 52 12		1.30	.24		
11a	1951 Sept. 22 16 <sup>h</sup> 44 <sup>m</sup> - 17 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup>	6°20'	1°30'	14.64	.28		
12	1951 April 15 10 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup> - 10 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup>	51°51'	52°45'	1.26	.23		
	.....April 16 13 15 - 13 39	47 06 - 44 24		1.40	.27	- 9	40
13	1951 April 16 13 <sup>h</sup> 33 <sup>m</sup> - 14 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup>	45°06'	39°36'	1.48	.26		
14	.....14 08 - 14 16	40 24 - 39 21		1.56	.24		
	.....14 19 - 14 53	38 54 - 33 30		1.69			
15	.....14 42 - 15 00	35 18 - 32 21		1.80	.24	- 9.5	50
	.....15 21 - 15 43	29 00 - 25 24		2.19			
16	.....15 34 - 16 15	26 54 - 20 09		2.50	.23		

TABLE II (continued)

Atlas plate number	TIME (U.T.)	Height of Sun		Secant of zenith distance	Band pass ( $\text{cm}^{-1}$ )	Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	Relative humidity (%)
		Begin.	End				
17	1951 April 20 7 <sup>h</sup> 12 <sup>m</sup> - 7 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup>	25°48'	33°00'	2.04	0.25	- 8.2	98
18	.....7 40 - 7 47	30 30 - 31 42		1.94	.25		
	.....7 52 - 8 22	32 36 - 37 36		1.74			
19	.....8 10 - 8 52	35 42 - 41 54		1.60	.24		
20	.....8 37 - 9 18	39 48 - 45 30		1.48	.23	- 6	86
21	1951 April 23 6 <sup>h</sup> 09 <sup>m</sup> - 6 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>	16°06'	23°06'	2.98	.24	- 7	42
22	.....6 48 - 7 27	22 42 - 29 21		2.32	.23		
23	.....7 20 - 7 43	28 12 - 32 12		1.99	.22		
	.....7 59 - 8 17	35 00 - 37 48		1.69			
24	.....7 52 - 8 45	33 48 - 41 36		1.64	.21		
25	1951 May 21 11 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup> - 12 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup>	62°42'	59°54'	1.14	.25		
26	.....12 30 - 13 11	60 27 - 55 36		1.18	.24	- 5	64
27	1951 June 7 5 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup> - 6 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup>	21°06'	27°57'	2.41	.24		
28	.....6 23 - 7 03	25 42 - 32 30		2.06	.23		
29	1951 April 25 6 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup> - 7 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	19°00'	25°42'	2.63	.20	- 8	58
30	.....6 54 - 7 29	24 42 - 30 36		2.16	.19		
	.....7 31 - 7 40	30 54 - 32 27		1.90			
31	.....7 35 - 8 14	31 36 - 38 09		1.75	.19		
32	.....8 34 - 9 14	41 18 - 47 00		1.43	.20		
33	.....9 09 - 9 47	46 18 - 51 00		1.33	.19	- 7.5	73
34	.....9 43 - 10 07	50 36 - 53 06		1.27	.19	- 7.5	90
	.....10 25 - 10 41	54 30 - 55 36		1.22			
35	1951 June 4 9 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup> - 9 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>	51°30'	57°24'	1.23	.20		
36	.....9 31 - 10 13	56 18 - 61 54		1.17	.19		
37	.....10 05 - 10 47	60 48 - 65 57		1.12	.19	- 5	65

TABLE II (continued)

Atlas plate number	TIME (U.T.)	Height of Sun		Secant of zenith distance	Band pass ( $\text{cm}^{-1}$ )	Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	Relative humidity (%)
		Begin.	End				
38	1951 April 13 6 <sup>h</sup> 05 <sup>m</sup> - 6 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>	12°18'	- 18°36'	3.75	0.18	-11	52
39	..... 6 37 - 7 03	17 45	- 22 18	2.92	.18		
	..... 7 09 - 7 21	23 18	- 25 24	2.42			
40	..... 7 15 - 7 53	24 21	- 30 54	2.16	.17		
41	..... 7 47 - 8 02	30 06	- 32 18	1.93	.17		
	..... 8 19 - 8 42	35 06	- 38 33	1.67			
42	..... 8 37 - 9 16	37 48	- 42 57	1.54	.17		
43	..... 9 23 - 10 01	43 48	- 47 54	1.39	.16		
44	..... 9 54 - 10 21	47 12	- 49 36	1.34	.16		
	..... 10 29 - 10 39	50 12	- 50 45	1.30			
45	..... 10 32 - 11 12	50 21	- 52 06	1.28	.15	-11	46
46	..... 11 01 - 11 24	51 48	- 52 18	1.27	.15		
	..... 12 00 - 12 16	51 42	- 51 00	1.28			
47	..... 12 05 - 12 45	51 30	- 49 06	1.30	.14		
48	..... 12 32 - 12 51	50 00	- 48 42	1.32	.14		
	..... 13 00 - 13 19	47 48	- 45 48	1.37			
49	..... 13 07 - 13 45	47 06	- 42 30	1.42	.14		
50	1951 July 21 9 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup> - 10 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup>	56°18'	- 60°36'	1.17	.31		
51	..... 10 20 - 10 56	60 00	- 63 20	1.14	.29		
52	1950 Aug. 20 10 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup> - 10 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>	55°24'	- 55°24'	1.23	.24	0	7
53	..... 10 43 - 11 23	55 10	- 55 50	1.21	.23		
54	..... 12 37 - 13 16	53 00	- 49 40	1.28	.22	+ 2.5	35
55	1950 Sept. 10 8 <sup>h</sup> 27 <sup>m</sup> - 8 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup>	33°18'	- 36°10'	1.76	.23		
	..... 9 12 - 9 30	39 26	- 41 36	1.54			
56	..... 9 22 - 10 05	40 40	- 44 50	1.47	.22	+ 1	58
57	..... 9 58 - 10 40	44 18	- 47 24	1.39	.21		

TABLE II (continued)

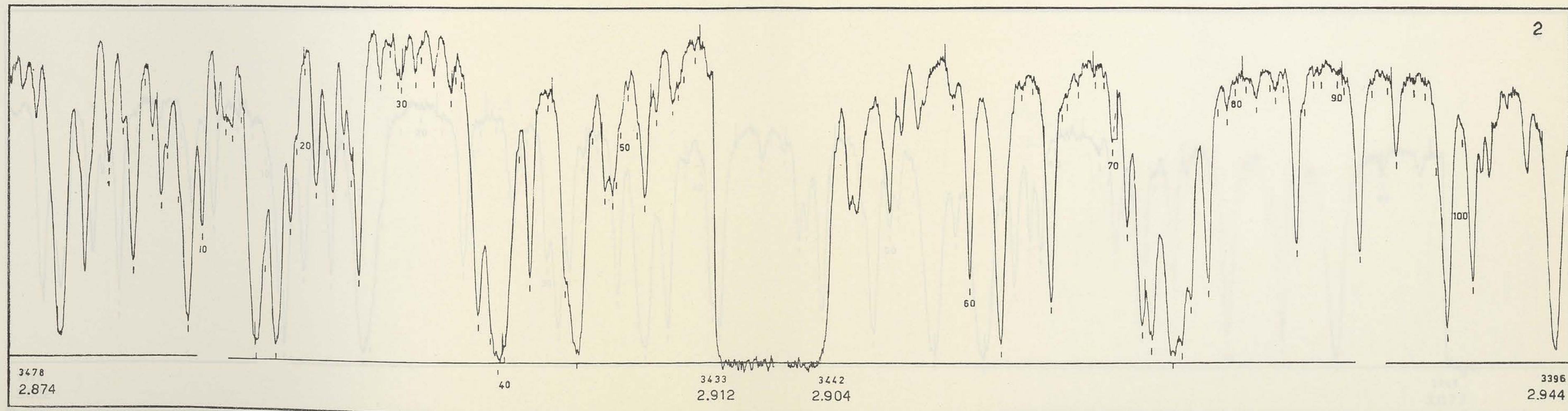
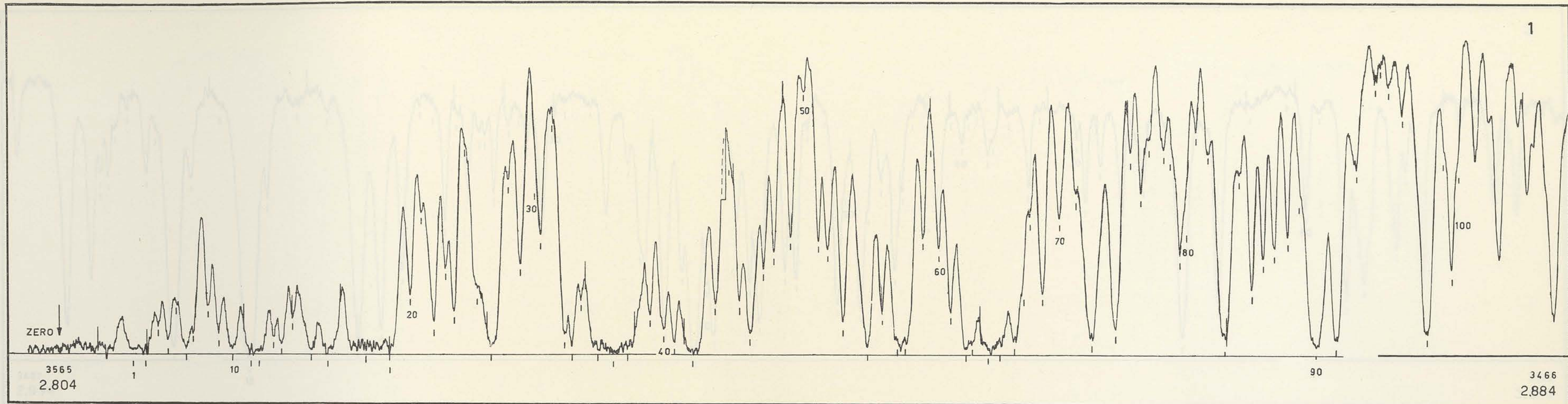
Atlas plate number	TIME (U.T.)	Height of Sun		Secant of zenith distance	Band pass ( $\text{cm}^{-1}$ )	Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	Relative humidity (%)
		Begin.	End				
58	1950 Aug. 20 16 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup> - 16 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>	22°00'	- 15°10'	3.14	0.19	+ 3	35
59	..... 16 46 - 17 28	16 42	- 9 30	4.41	.18		
60	..... 17 18 - 17 52	11 12	- 5 40	6.82	.18		
61	1950 Aug. 21 6 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup> - 6 <sup>h</sup> 27 <sup>m</sup>	15°10'	- 18°18'	3.47	.18	+ 2	30
	..... 6 47 - 7 10	21 54	- 25 36	2.48			
62	..... 6 53 - 7 38	22 54	- 30 06	2.24	.17	+ 2	27
63	..... 7 22 - 8 07	22 33	- 34 58	2.08	.17	+ 2	28
64	..... 9 25 - 10 06	46 30	- 51 20	1.33	.16	+ 2	30
64a	1951 July 10 17 <sup>h</sup> 01 <sup>m</sup> - 17 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup>	21°18'	- 14°03'	3.30	.15	+ 6	56
65	1950 Aug. 21 9 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup> - 10 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup>	50°15'	- 54°04'	1.27	.16	+ 2	30
65a	1951 July 10 17 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup> - 17 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup>	15°24'	- 13°35'	3.99	.15	+ 6	56
	..... 17 58 - 18 28	11 48	- 7 00	6.11			
66	1950 Sept. 11 6 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> - 6 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup>	14°20'	- 17°15'	3.46	.18	+ 3.2	30
	..... 7 04 - 7 22	20 00	- 23 00	2.73			
67	..... 7 17 - 7 58	22 10	- 28 42	2.33	.17		
68	..... 7 50 - 8 29	27 30	- 33 30	1.97	.17		
69	..... 8 23 - 8 42	32 30	- 35 24	1.79	.16		
	..... 9 16 - 9 32	39 24	- 41 10	1.55			
70	1950 Sept. 13 6 <sup>h</sup> 29 <sup>m</sup> - 7 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup>	13°54'	- 21°00'	3.34	.13	+ 1.5	23
71	..... 7 02 - 7 43	19 30	- 26 18	2.57	.12		
72	1950 Aug. 13 6 <sup>h</sup> 12 <sup>m</sup> - 6 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup>	17°15'	- 24°20'	2.82	.15	- 1.8	94
73	..... 6 48 - 7 29	23 30	- 30 28	2.20	.14		
74	..... 7 23 - 8 08	29 24	- 37 00	1.83	.14		
75	..... 8 02 - 8 15	36 00	- 38 15	1.66	.14	- 0.5	87
	..... 9 02 - 9 27	45 45	- 48 50	1.36			
76	..... 9 16 - 9 58	47 33	- 52 10	1.31	.13		
77	..... 9 48 - 10 30	51 10	- 55 24	1.25	.13		

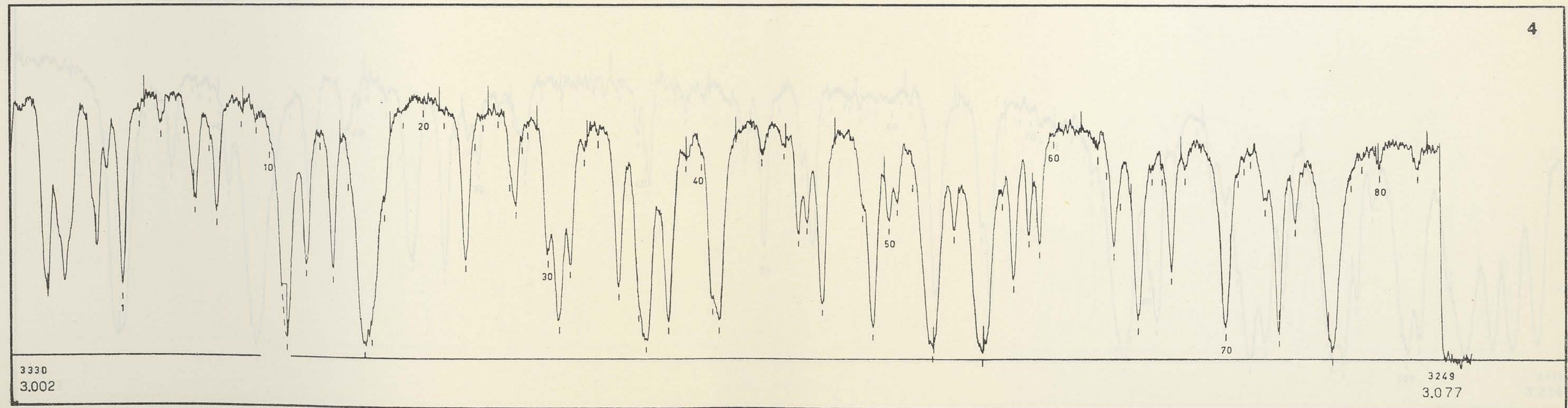
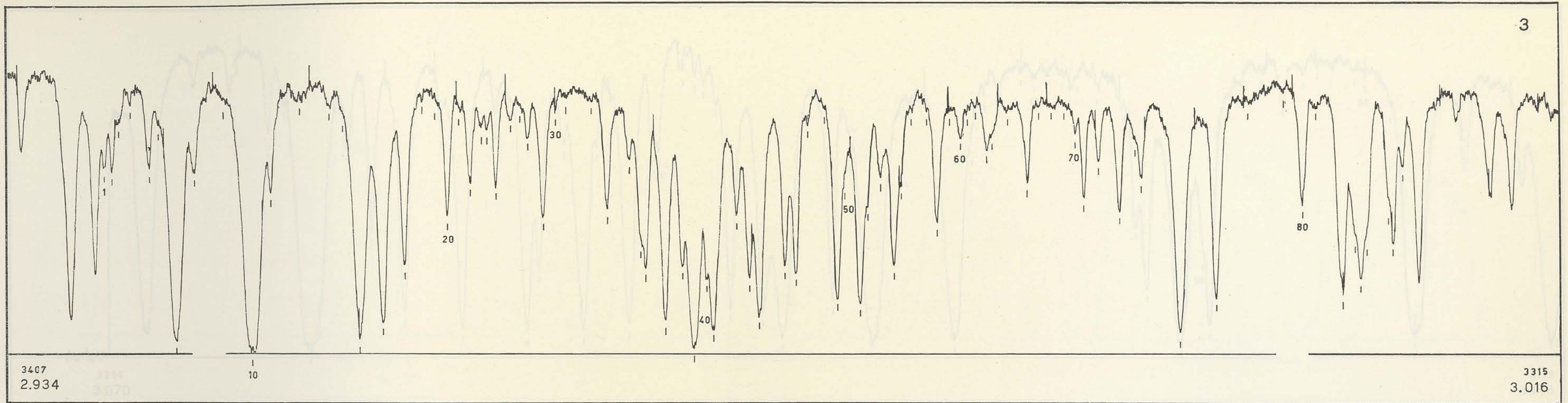
TABLE II (continued)

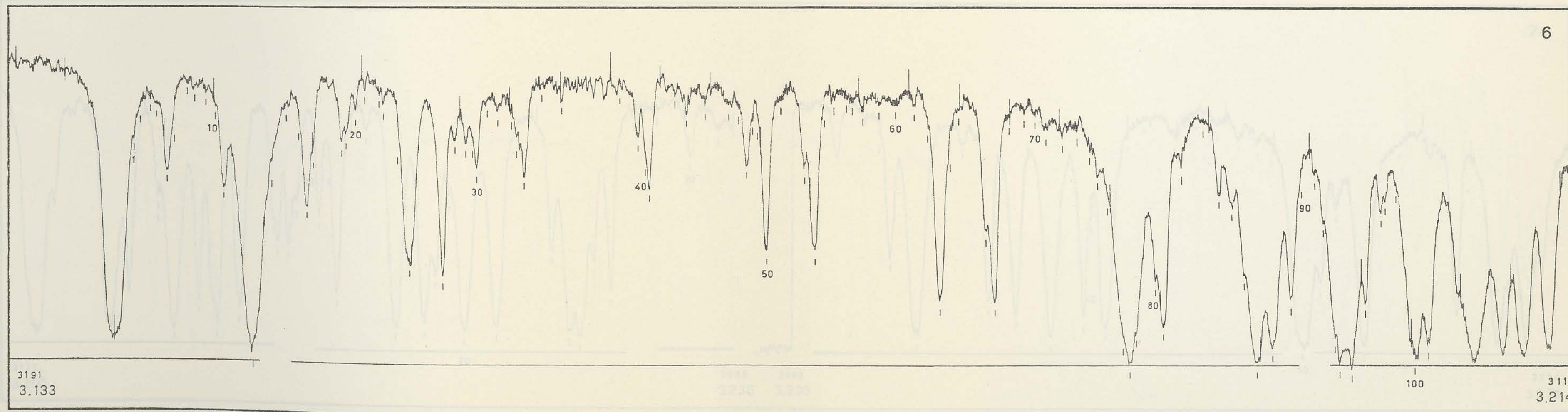
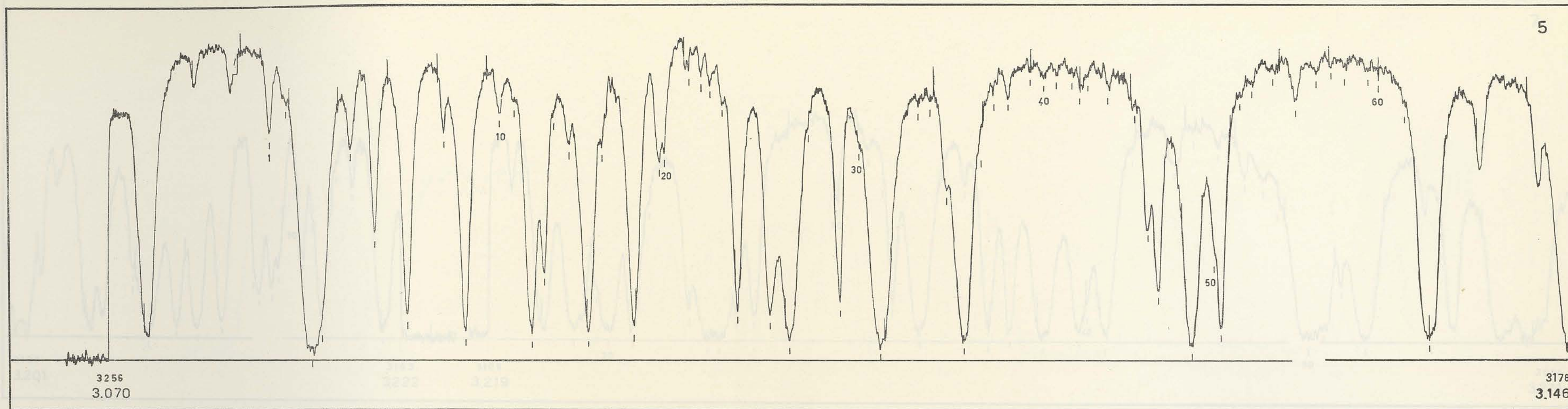
Atlas plate number	TIME (U.T.)	Height of Sun		Secant of zenith distance	Band pass ( $\text{cm}^{-1}$ )	Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	Relative humidity (%)
		Begin.	End				
78	1950 Aug. 14 6 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup> - 6 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	14°30'	21°40'	3.22	0.12	- 1	65
79	..... 6 30 - 7 15	20 00	27 40	2.47	.12	+ 2	25
80	1951 June 4 16 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup> - 16 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup>	29°00'	23°00'	2.28	.18		
81	.....16 55 - 17 33	22 00	15 10	3.14	.18		
82	.....17 20 - 17 40	16 50	14 10	3.74	.18		
	.....17 45 - 18 00	13 30	11 00	4.71			
83	.....17 50 - 18 28	12 50	6 50	5.85	.17		
84	.....18 12 - 18 50	9 00	3 10	9.44	.17		
85	1951 June 15 6 <sup>h</sup> 04 <sup>m</sup> - 6 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>	27°30'	30°30'	2.06	.17	+ 3	23
86	..... 6 45 - 7 20	29 30	35 30	1.86	.16		
87	..... 7 30 - 8 09	37 20	44 00	1.53	.16		
88	1951 June 20 16 <sup>h</sup> 58 <sup>m</sup> - 17 <sup>h</sup> 38 <sup>m</sup>	22°00'	15°30'	3.11	.19	+ 1	47
89	.....17 27 - 18 08	17 00	10 50	4.16	.19		
90	1951 June 20 18 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup> - 18 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	12°00'	9°00'	5.49	.18		
	1951 July 2 5 35 - 5 52	16 10	19 10	3.30	.19	- 2	25
91	1951 July 2 5 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup> - 6 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>	17°30'	22°00'	2.96	.18		
	..... 6 17 - 6 30	23 30	26 00	2.39			
92	1951 July 6 5 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup> - 6 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup>	15°50'	23°50'	2.95	.20		
93	1951 June 14 6 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> - 7 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup>	28°10'	35°00'	1.91	.18	0	45
94	..... 7 07 - 7 51	33 30	40 40	1.66	.17		
95	..... 7 42 - 8 08	39 10	43 30	1.51	.16	+ 1	33
	..... 8 32 - 8 44	47 20	49 30	1.34	.20		
96	..... 8 35 - 9 15	47 40	54 20	1.29	.19		
97	..... 9 05 - 9 47	52 30	59 40	1.21	.18		
98	..... 9 37 - 10 17	58 00	63 00	1.15	.18		
99	.....11 20 - 11 58	66 30	67 00	1.09	.22	+ 2	24
100	.....11 46 - 12 25	67 00	65 30	1.09	.21		

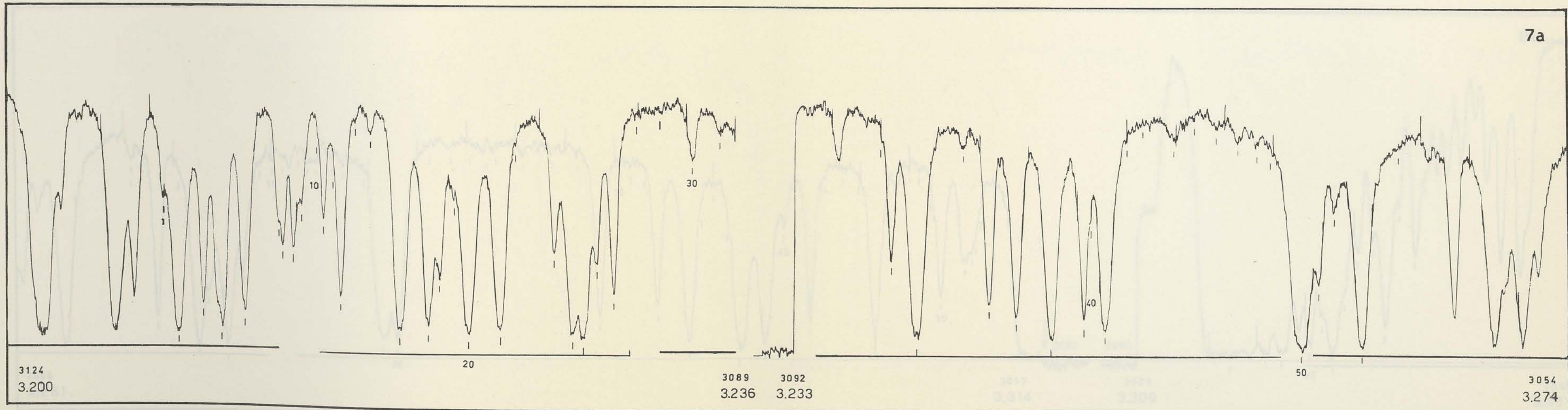
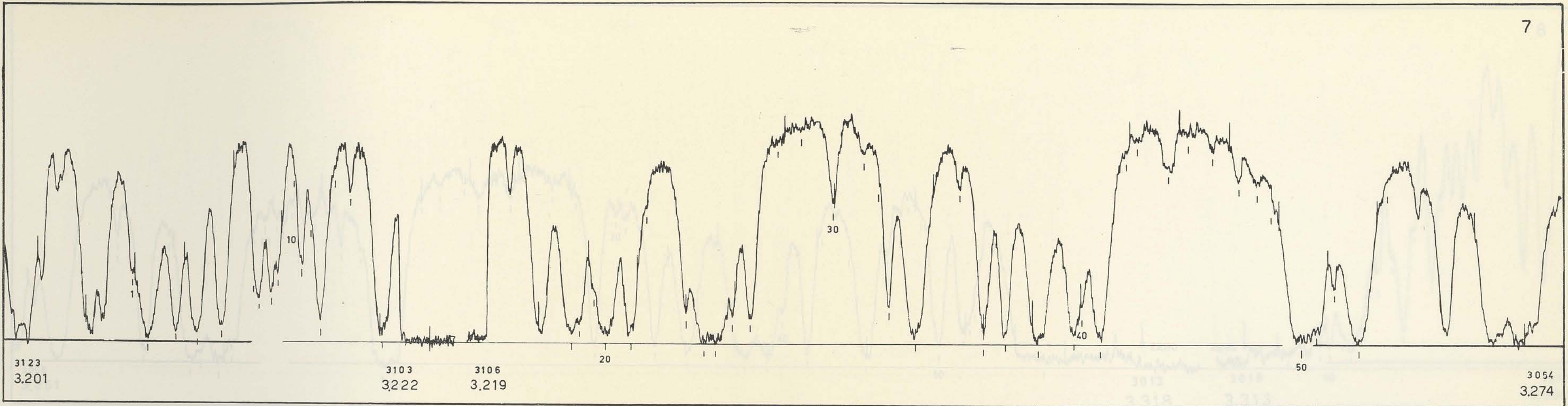
TABLE II (continued)

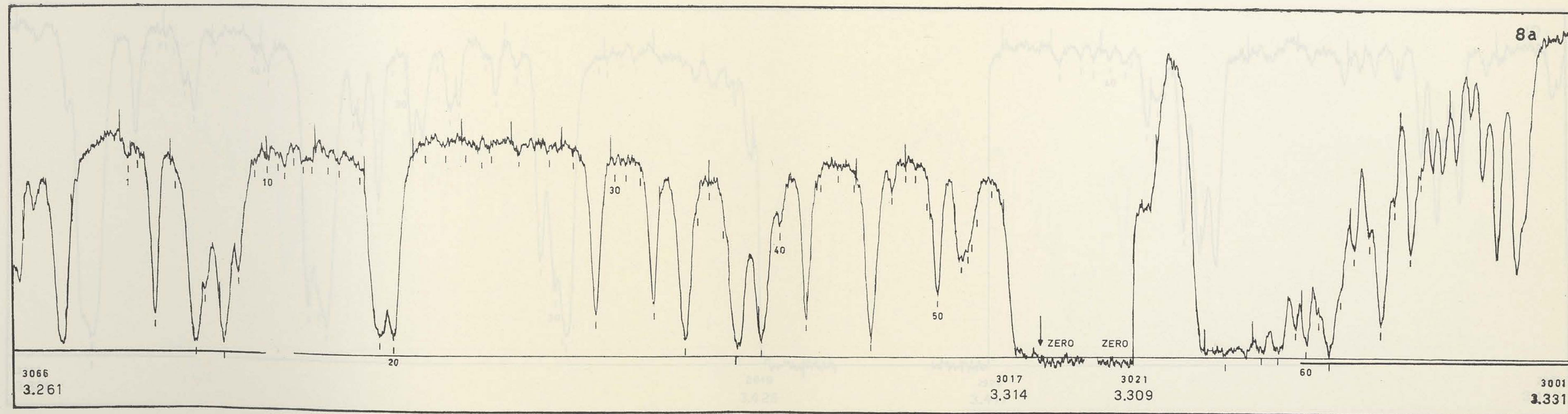
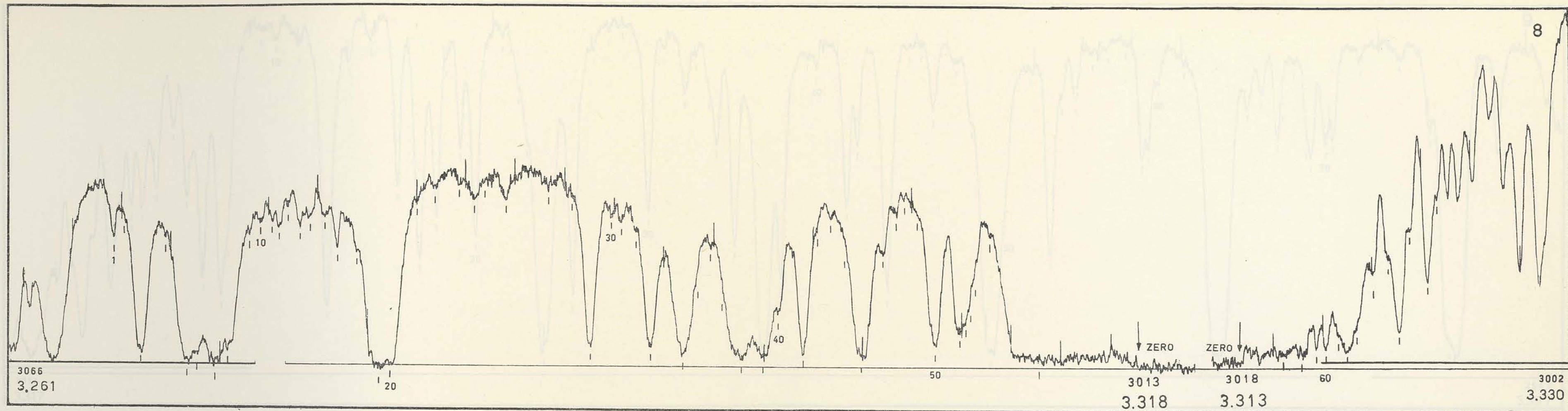
Atlas plate number	TIME (U.T.)	Height of Sun		Secant of zenith distance	Band pass ( $\text{cm}^{-1}$ )	Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	Relative humidity (%)
		Begin.	End				
101	1951 June 20 8 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup> - 9 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup>	51°10'	57°40'	1.23	0.21	0	15
102	..... 9 18 - 10 00	55 50	61 00	1.17	.21		
103	..... 9 43 - 10 08	59 00	62 00	1.15	.20	- 1	25
	..... 10 15 - 10 28	62 40	63 50	1.20	.28		
104	.....10 18 - 11 03	62 50	66 40	1.11	.27	- 1	23
105	1951 Oct. 4 7 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup> - 8 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup>	21°30'	26°50'	2.44	.44	- 5.5	95
106	..... 8 18 - 8 42	26 00	29 00	2.17	.40		
	..... 9 00 - 9 10	31 20	32 30	1.89	.31		
107	..... 9 05 - 9 44	31 50	35 40	1.80	.29	- 3.5	62
108	..... 9 36 - 10 16	35 00	38 00	1.68	.27		
109	.....10 09 - 10 47	37 40	39 10	1.61	.25	- 4	75
110	1951 Oct. 5 8 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup> - 8 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>	29°20'	30°50'	1.99	.25	- 5	40
	..... 9 57 - 10 20	36 40	38 50	1.63	.30		
111	.....10 15 - 10 56	37 40	39 00	1.61	.28		
112	.....10 53 - 11 15	39 00	39 10	1.59	.26		
	..... 11 27 - 11 40	39 10	38 50	1.59	.30		
113	.....11 37 - 11 58	38 55	38 10	1.61	.29		
	..... 12 20 - 12 37	37 00	36 00	1.68		- 4.5	75
114	1951 Oct. 8 9 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup> - 10 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup>	34°30'	37°10'	1.71	.29	- 4	22
115	1951 Oct. 15 10 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup> - 11 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup>	34°50'	35°10'	1.74	.25	- 0.5	18
116	.....11 19 - 11 59	35 10	34 30	1.75	.24		
117	.....11 45 - 12 05	34 55	34 20	1.76	.23		
	..... 12 24 - 12 37	33 10	32 30	1.84			
118	.....12 24 - 12 45	33 10	31 50	1.86	.22	0	11
	..... 12 59 - 13 08	30 30	29 50	1.99			

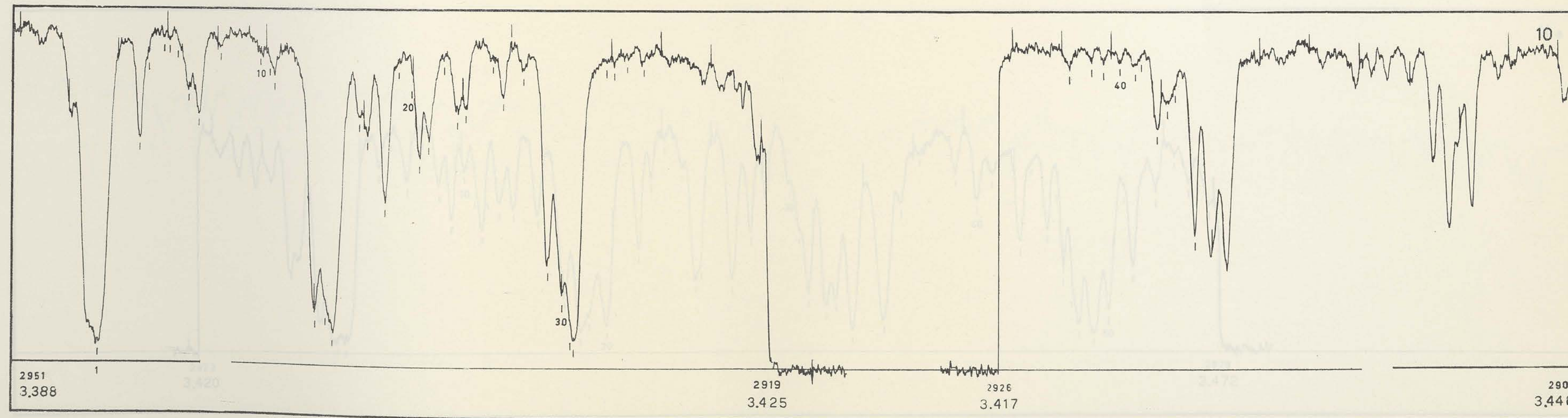
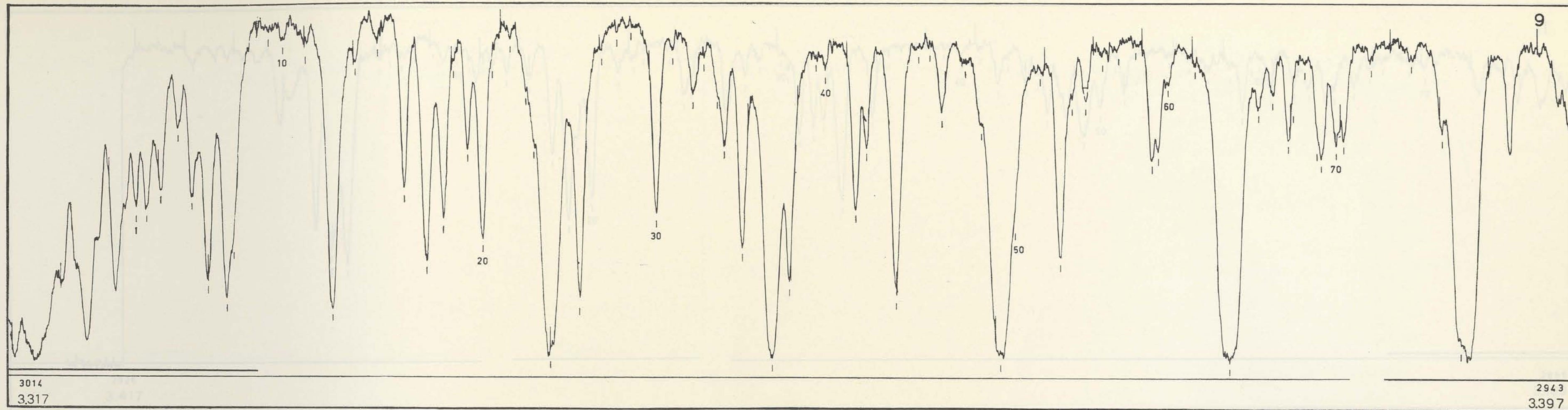


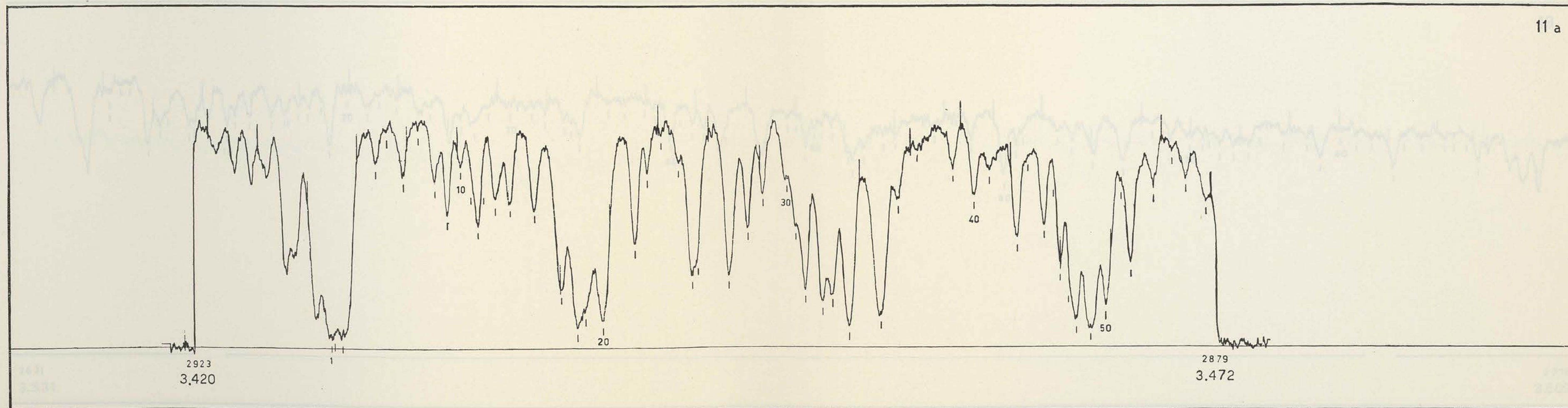
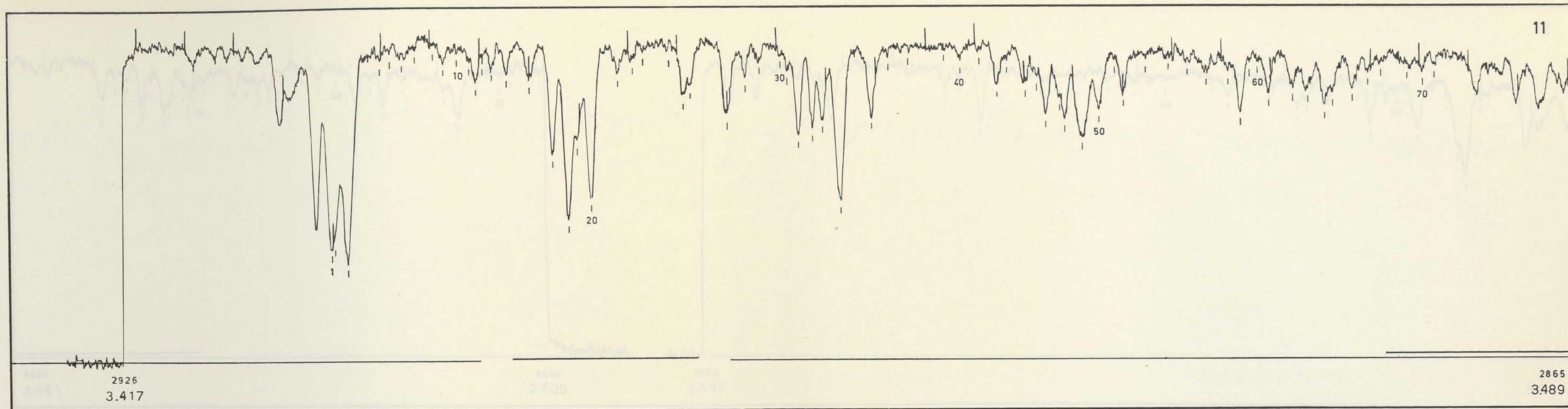


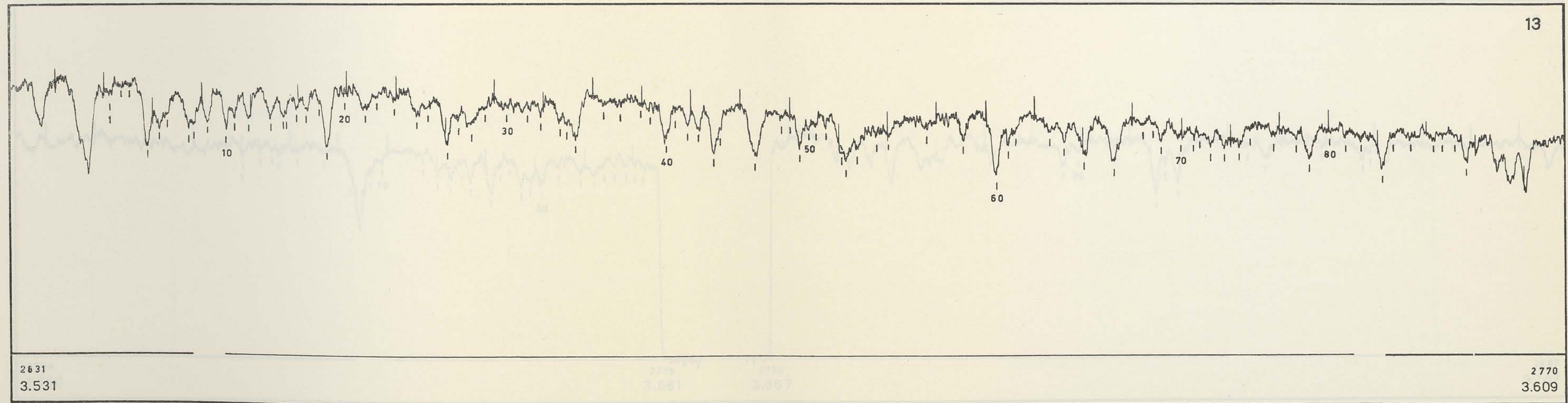
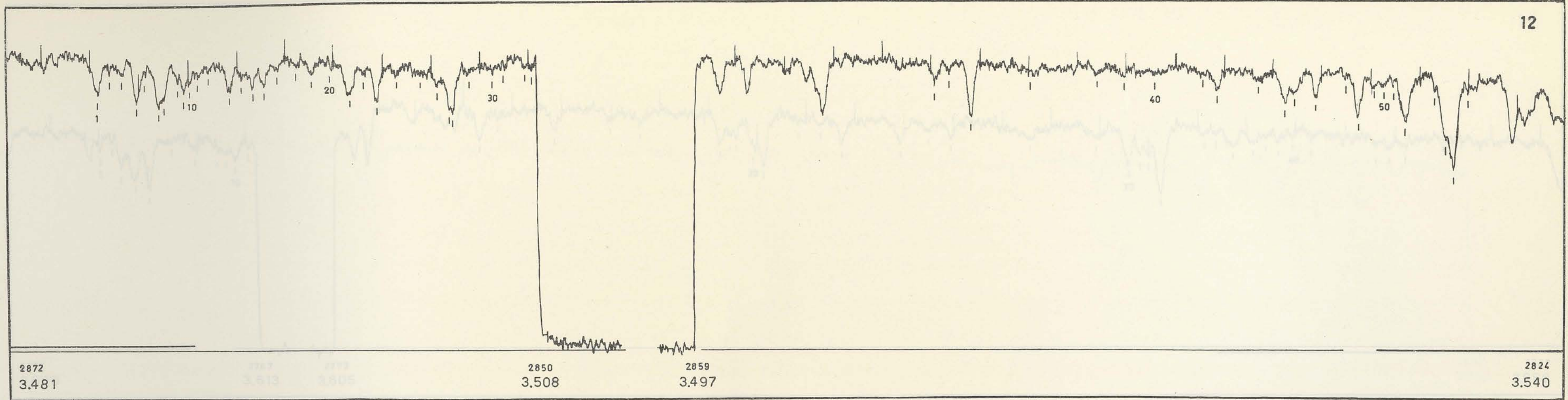


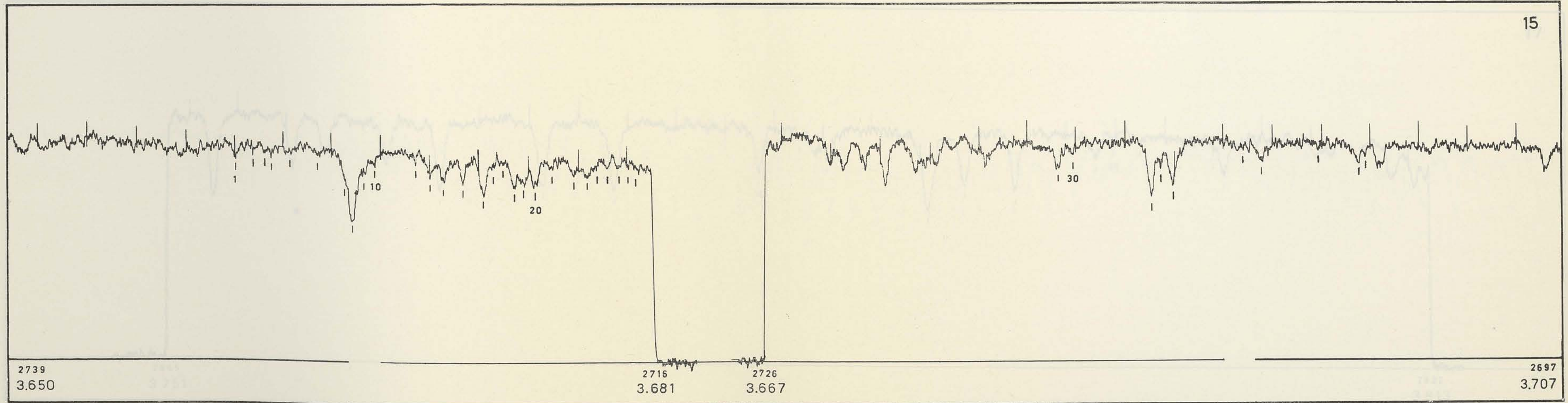
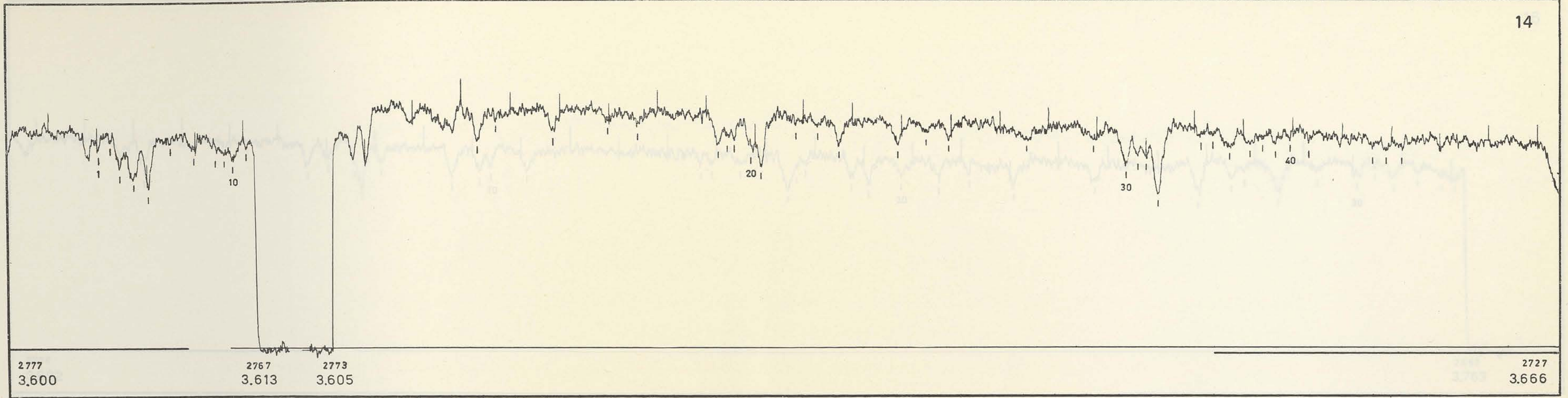


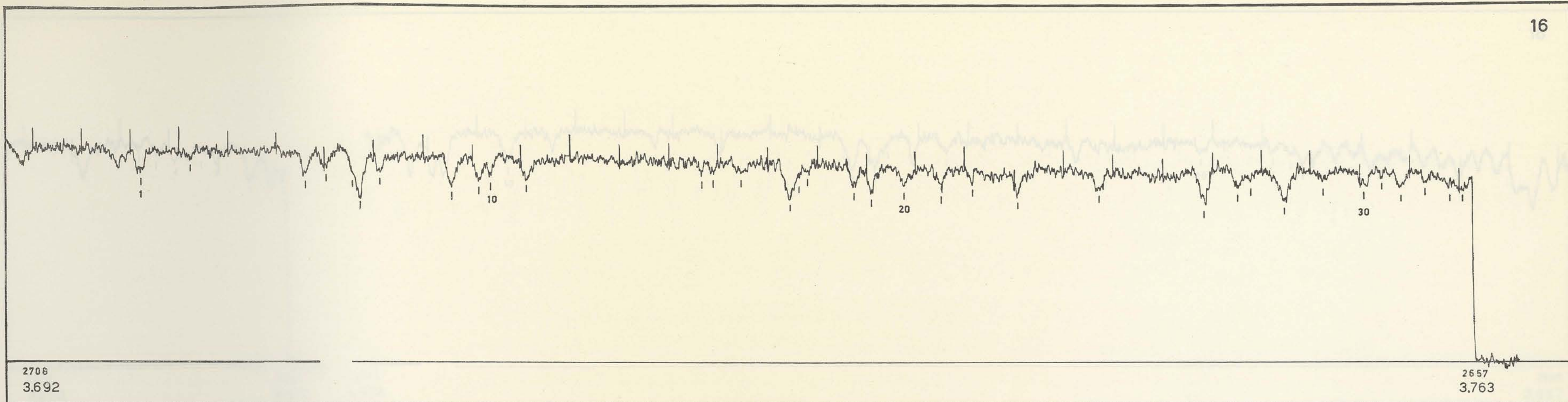


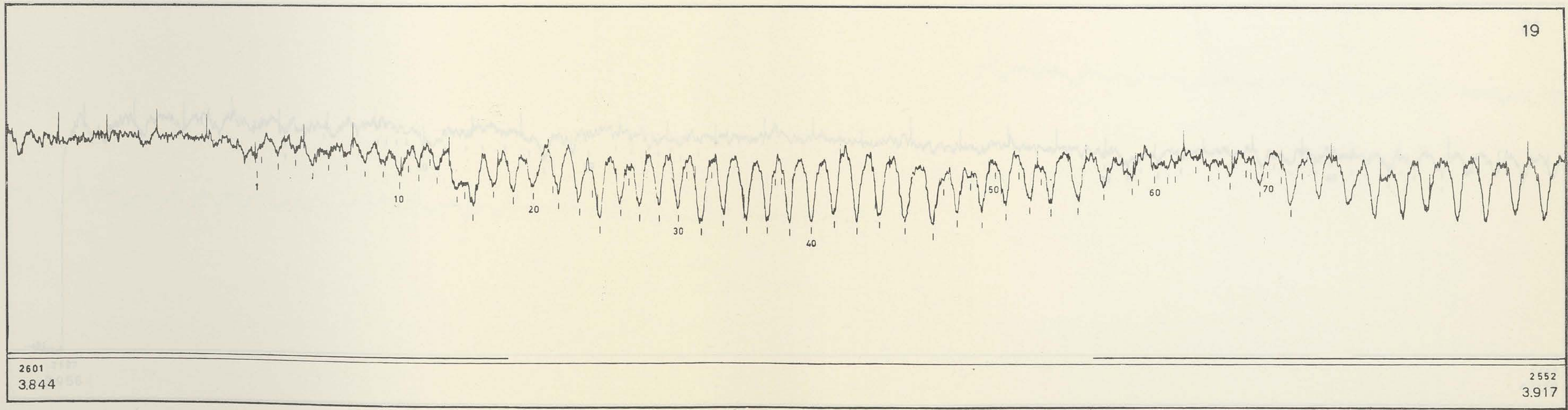


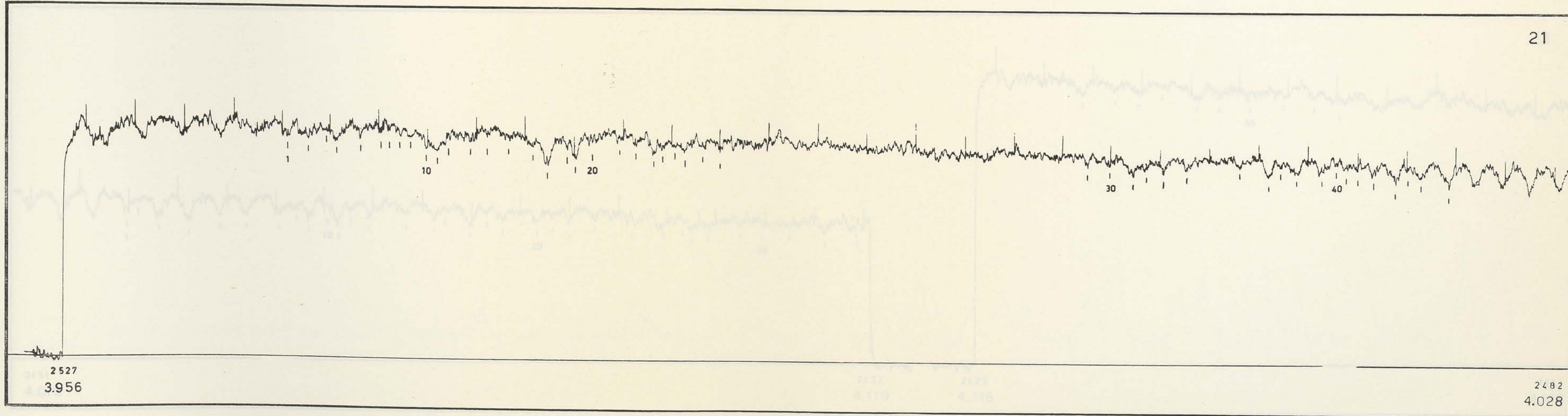
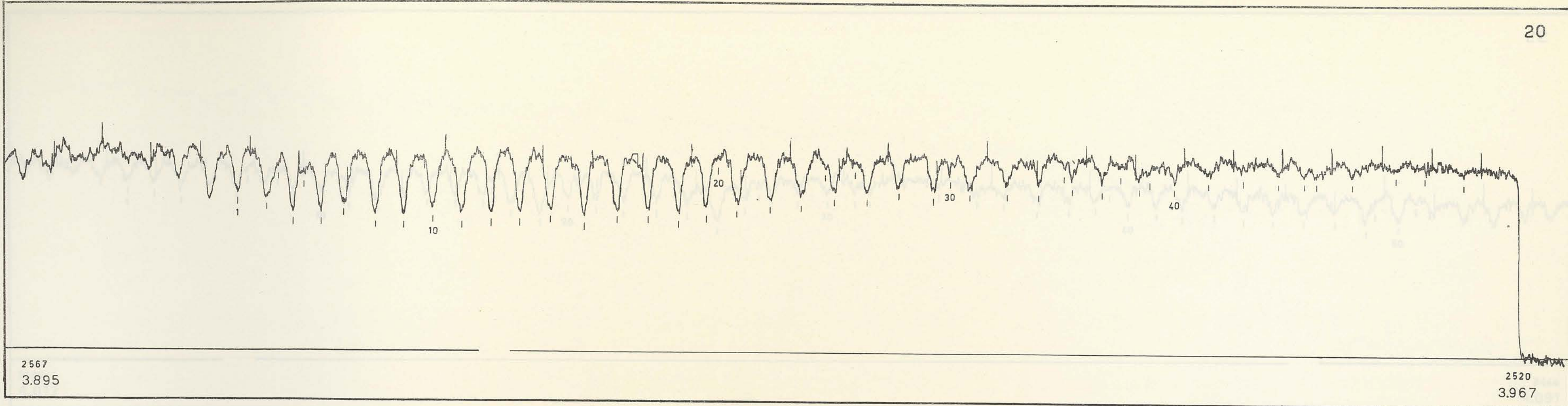


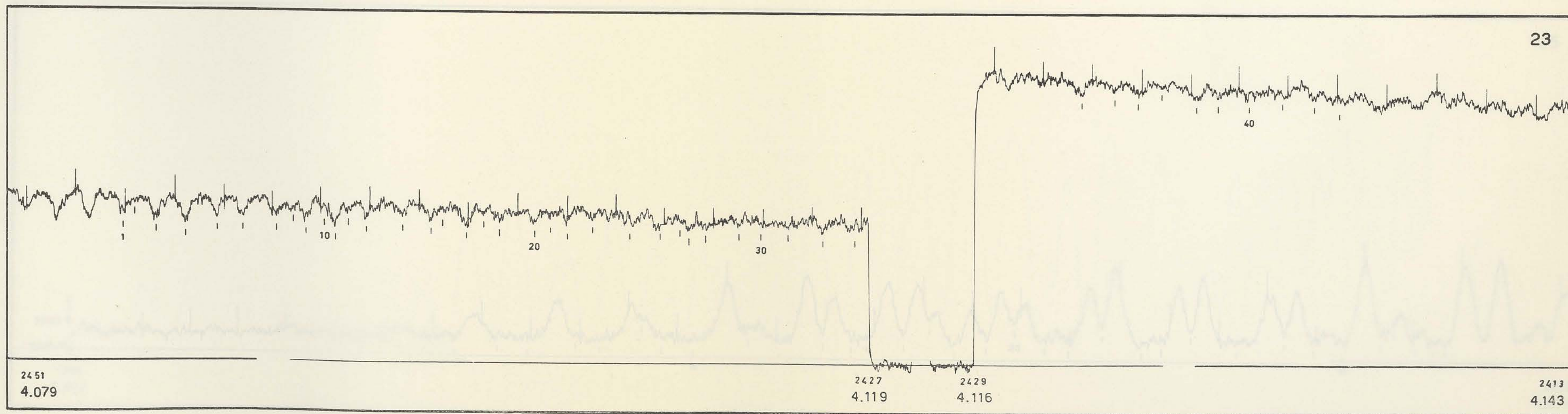
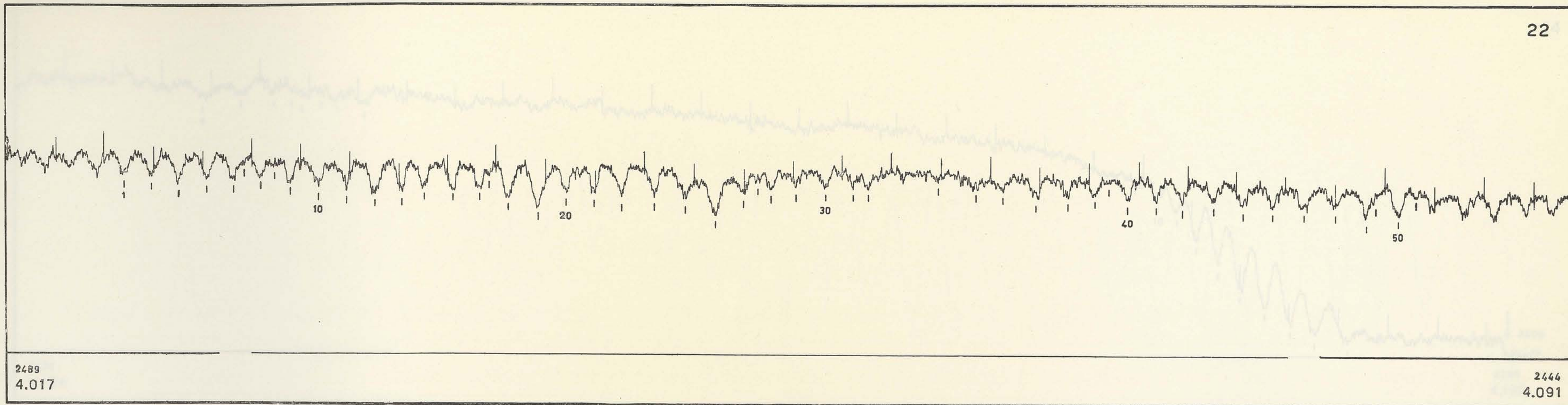


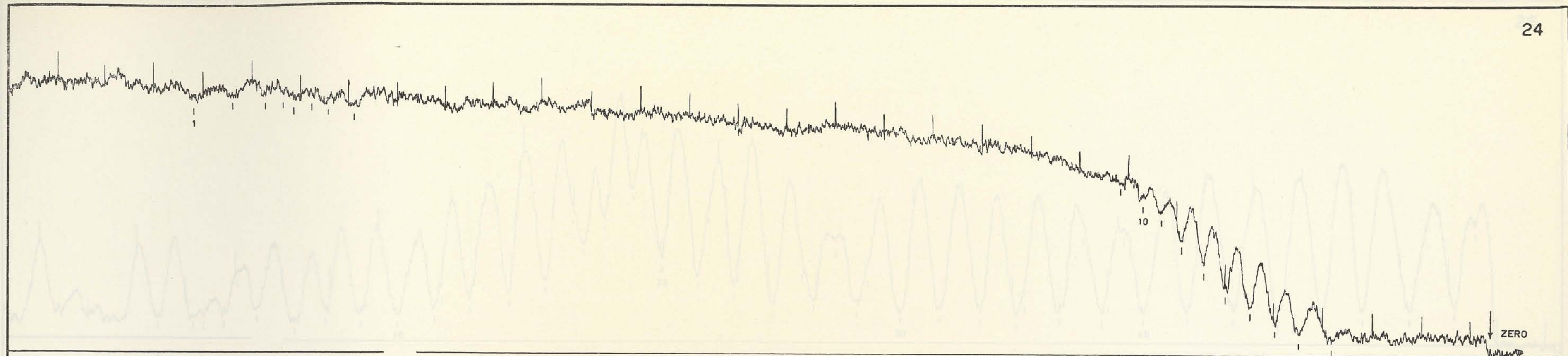












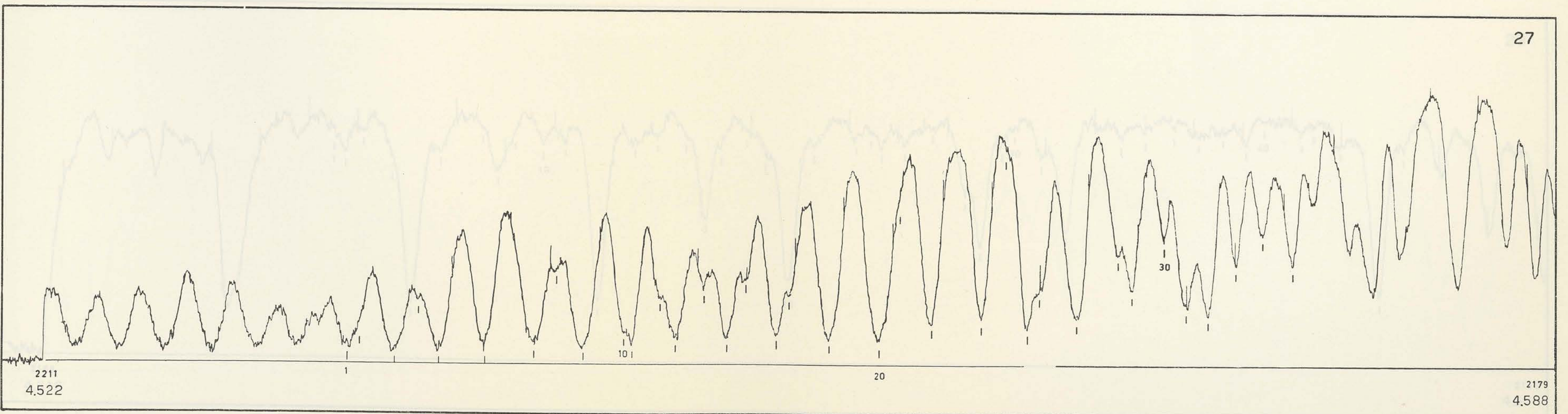
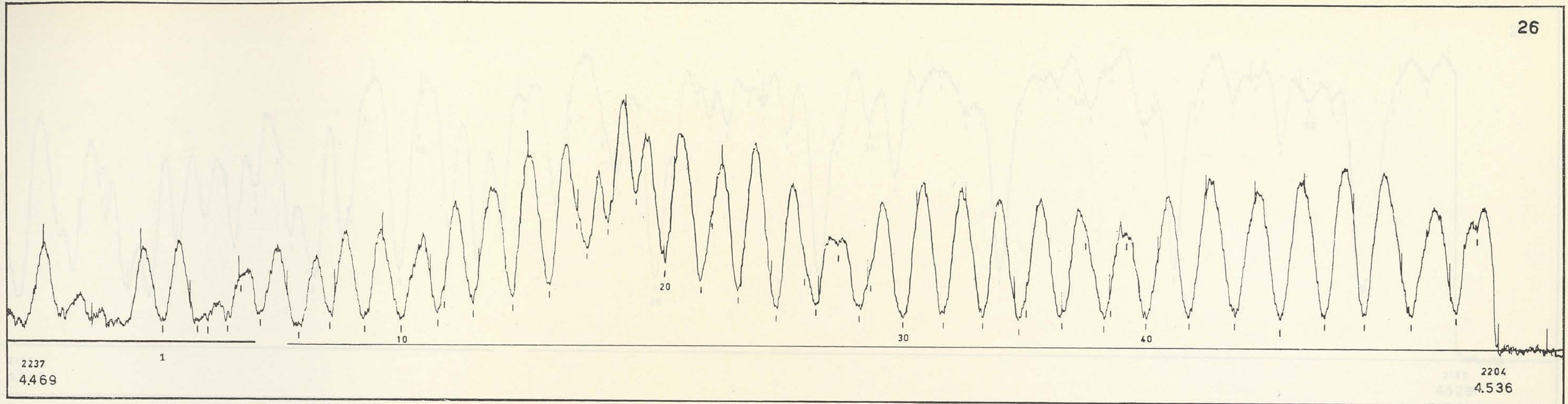
2423  
4.126

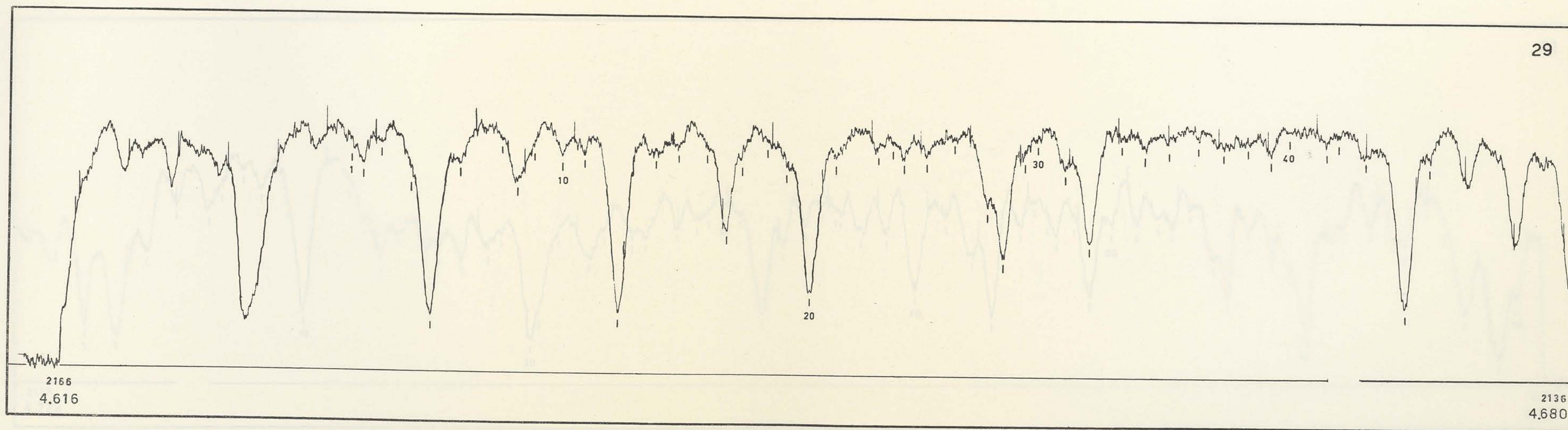
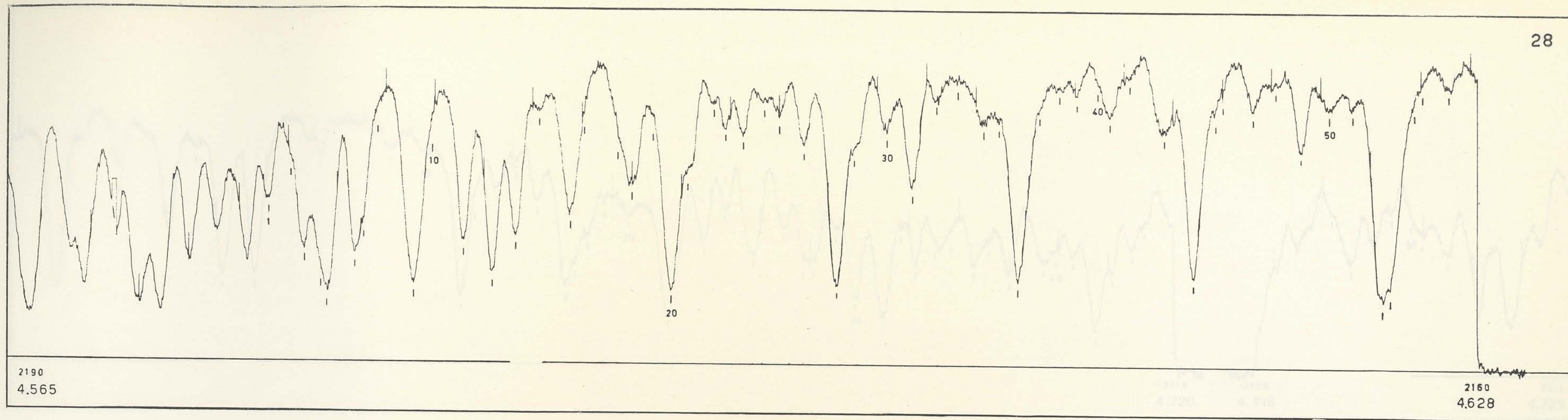
2385  
4.192

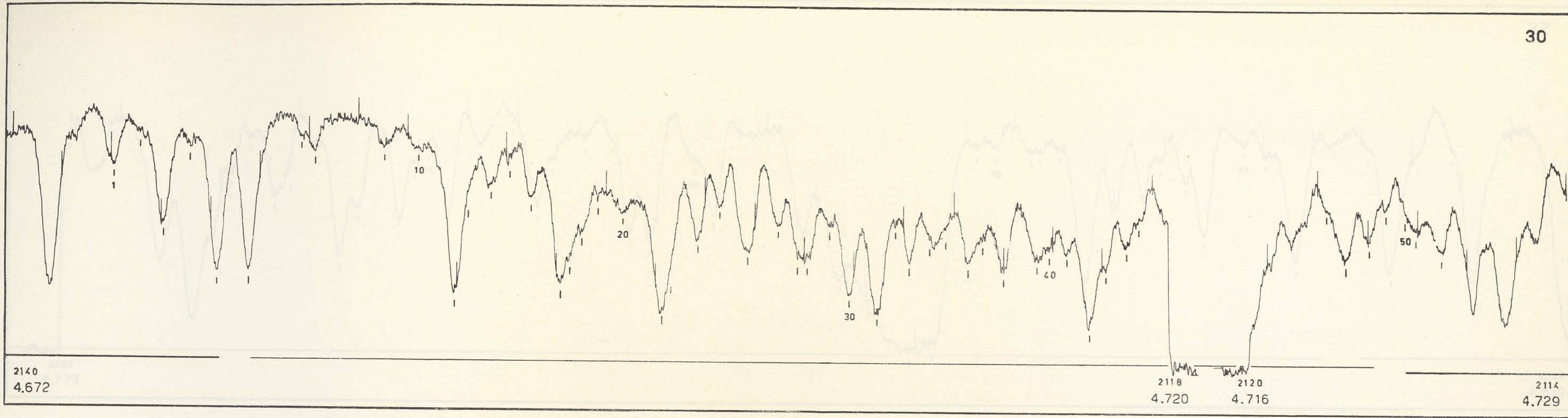


2266  
4.412

2232  
4.479



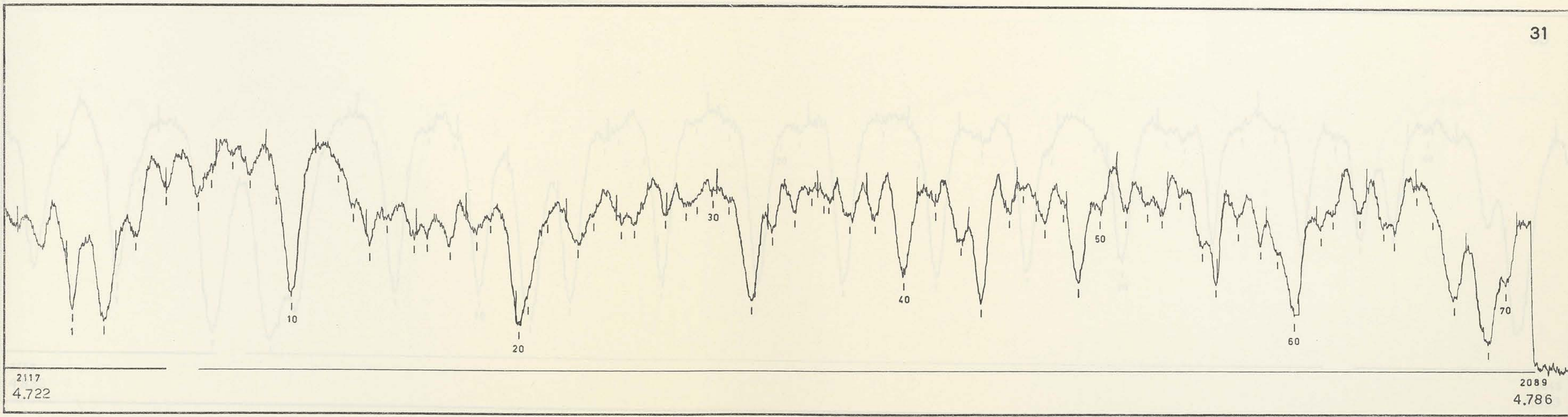




2140  
4.672

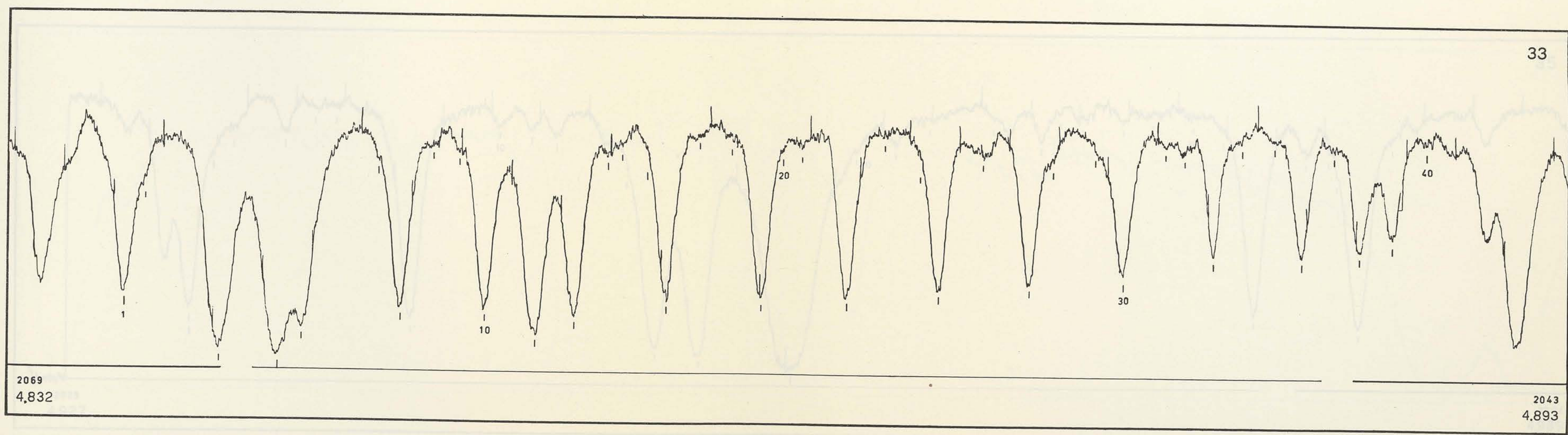
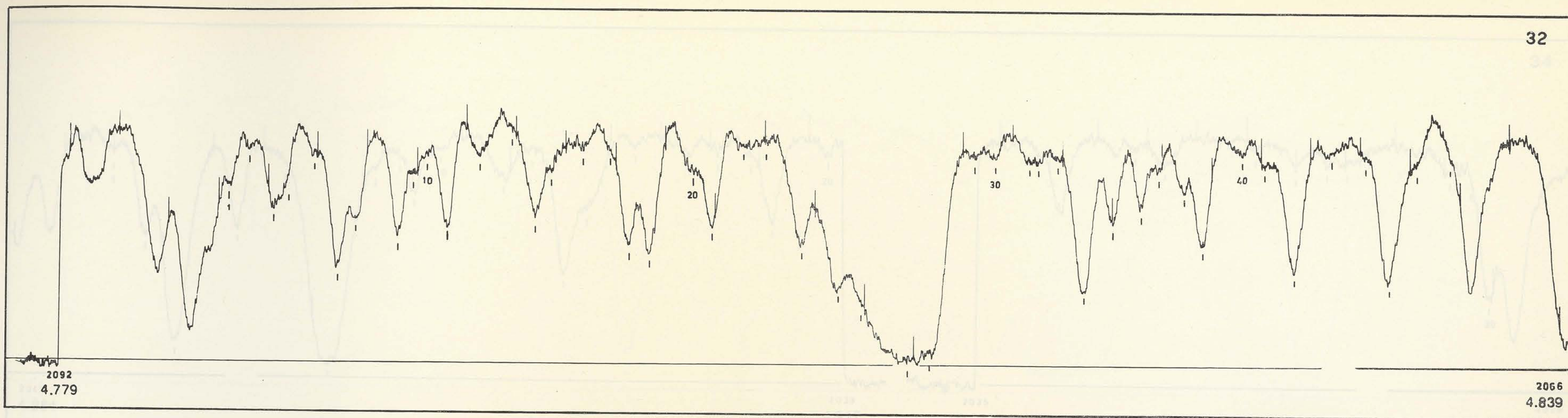
2118 2120  
4.720 4.716

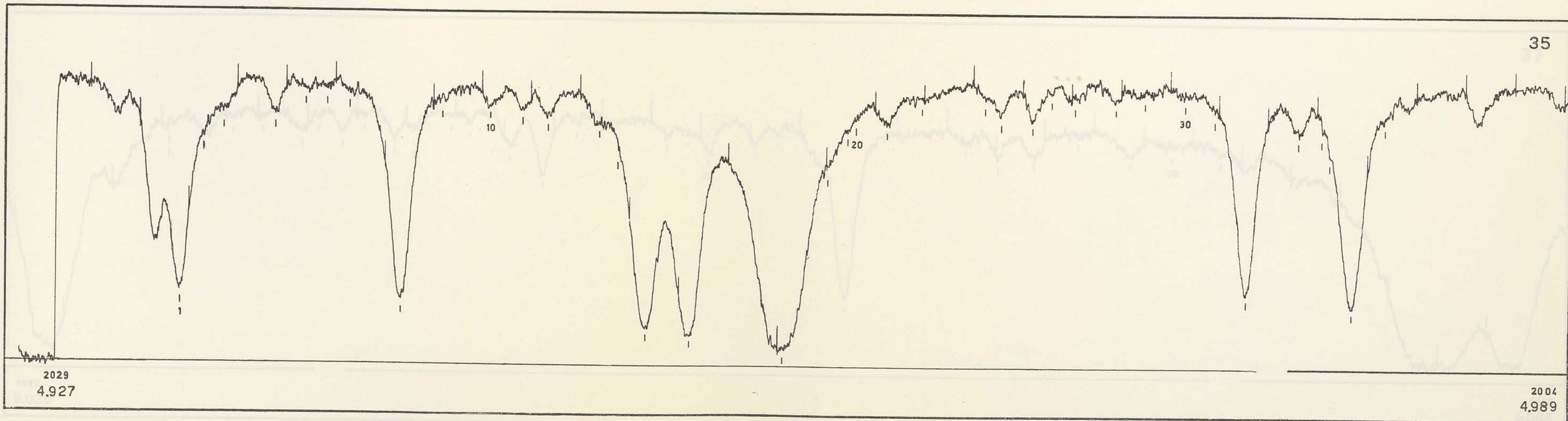
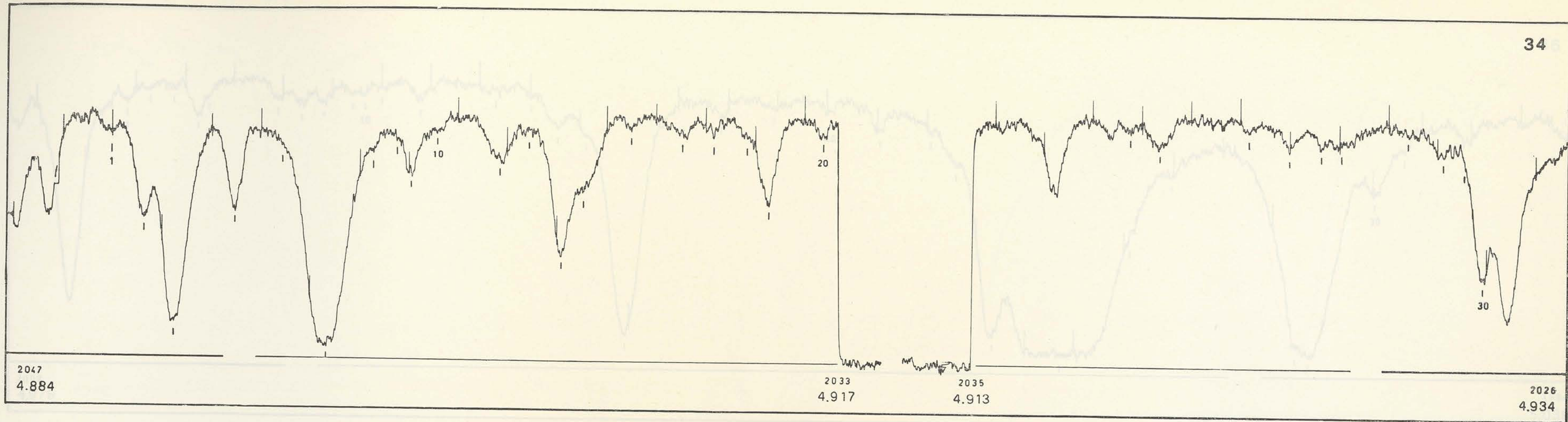
2114  
4.729

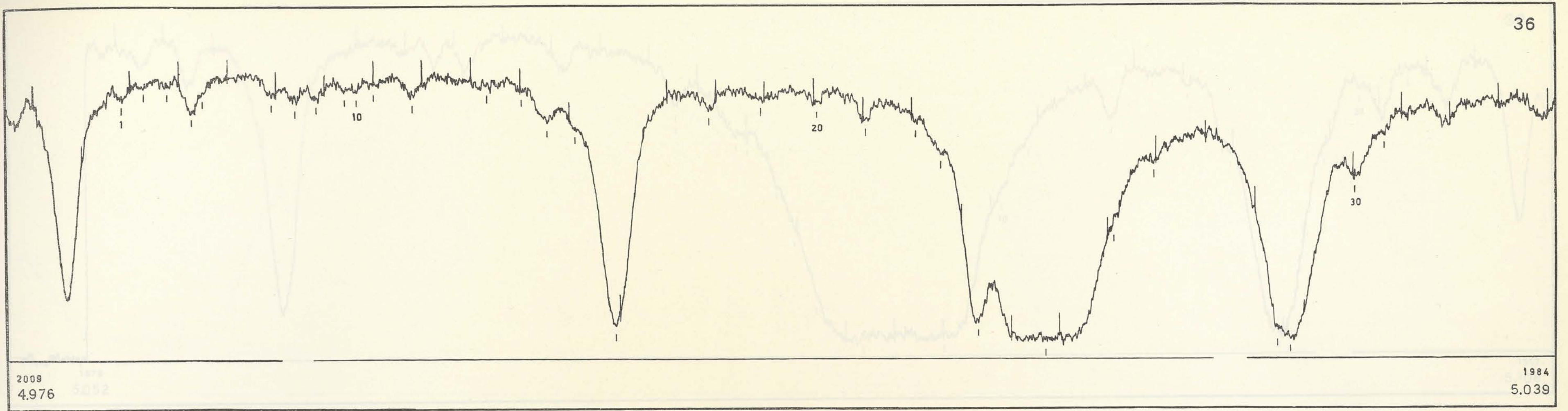


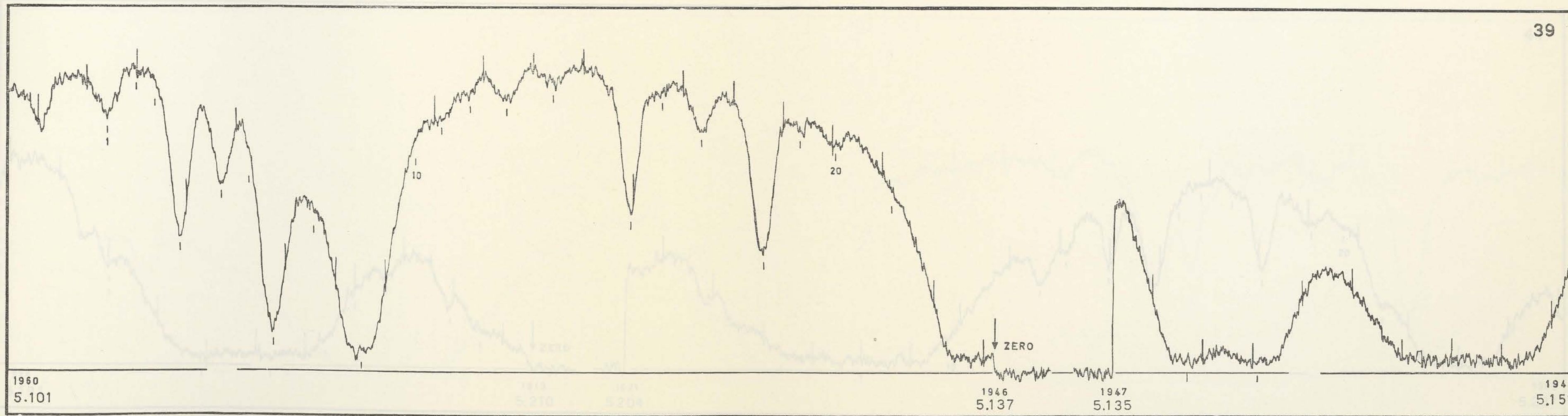
2117  
4.722

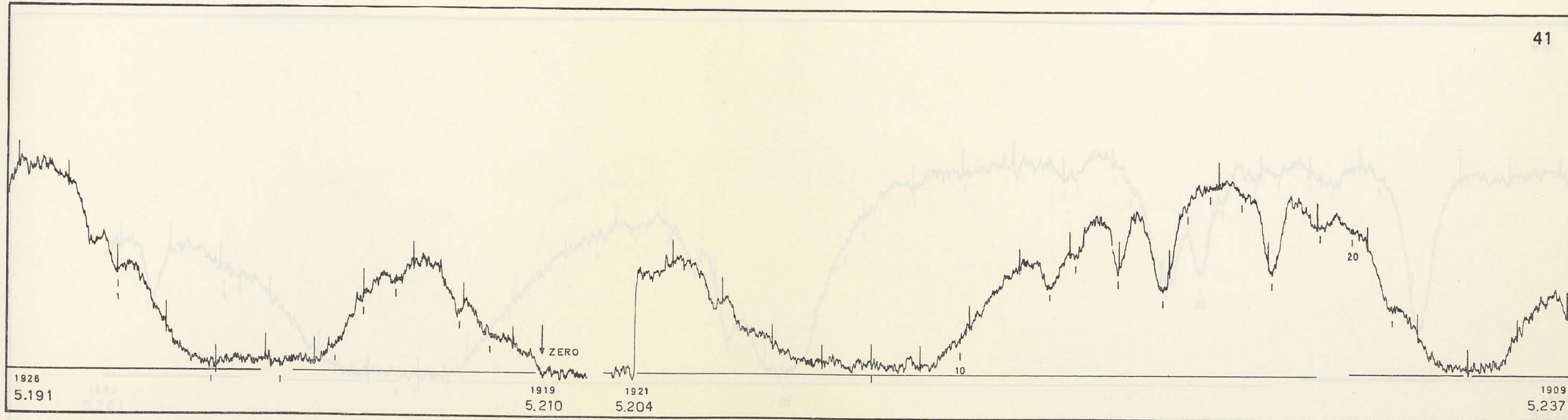
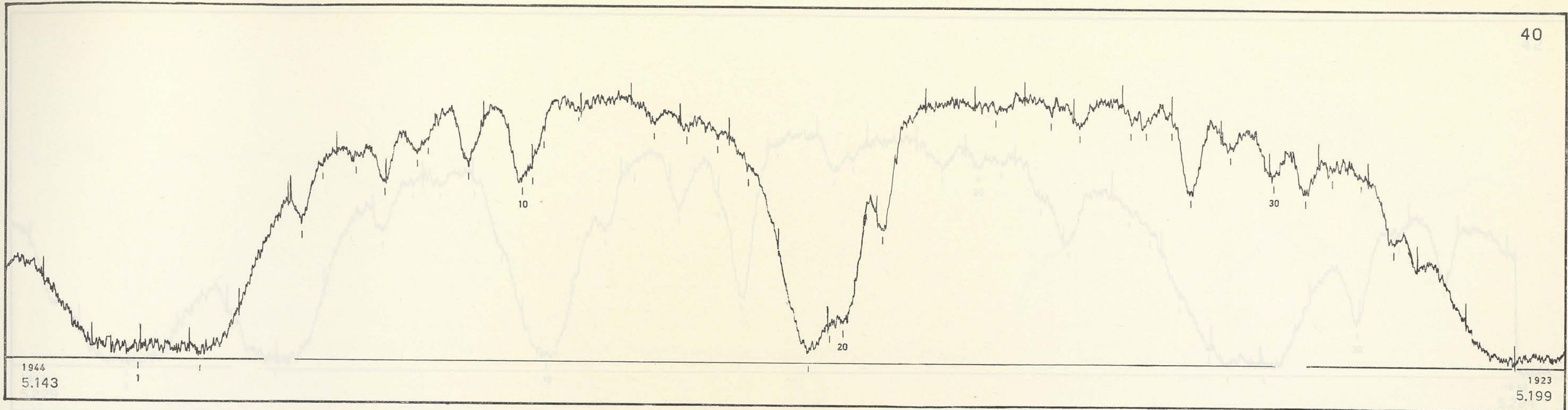
2089  
4.786

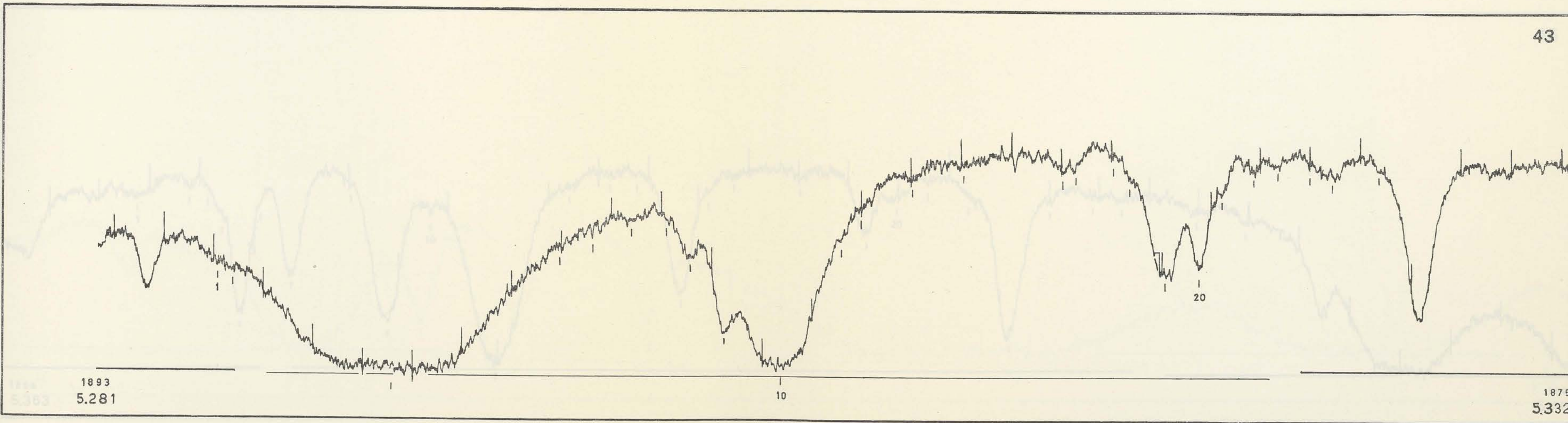
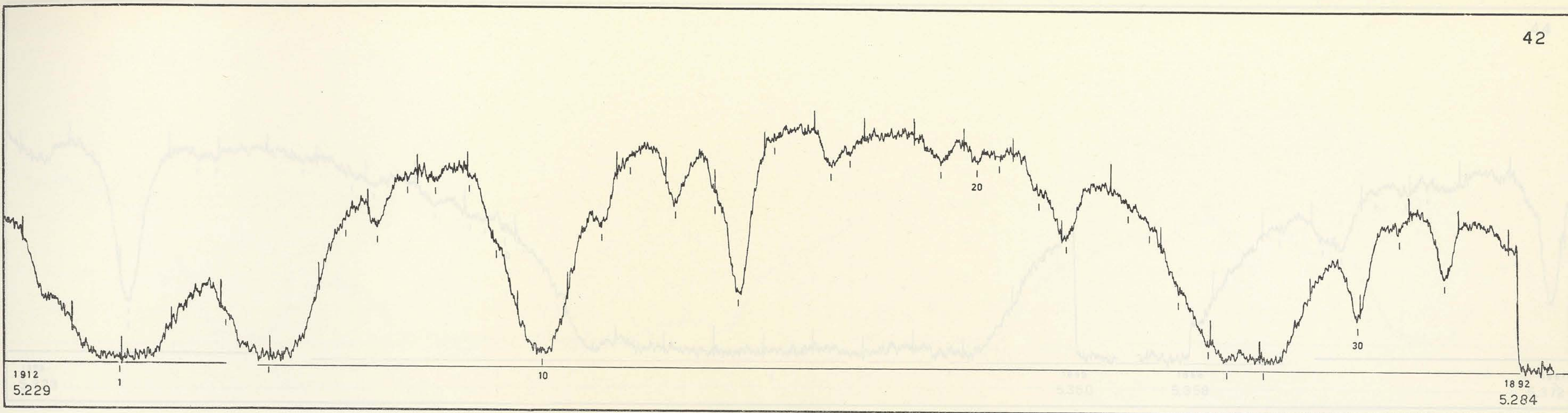


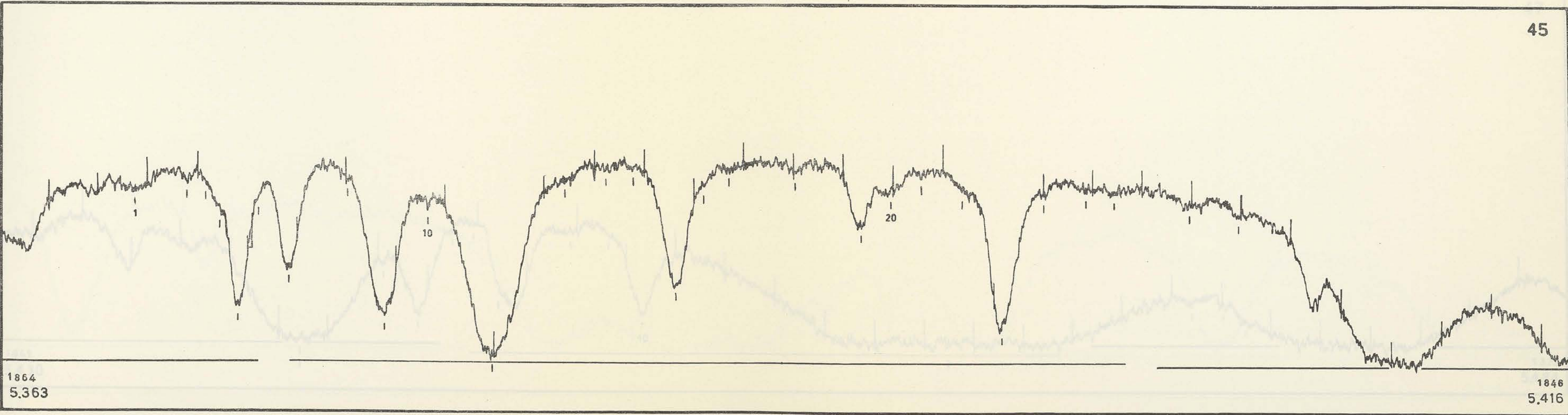
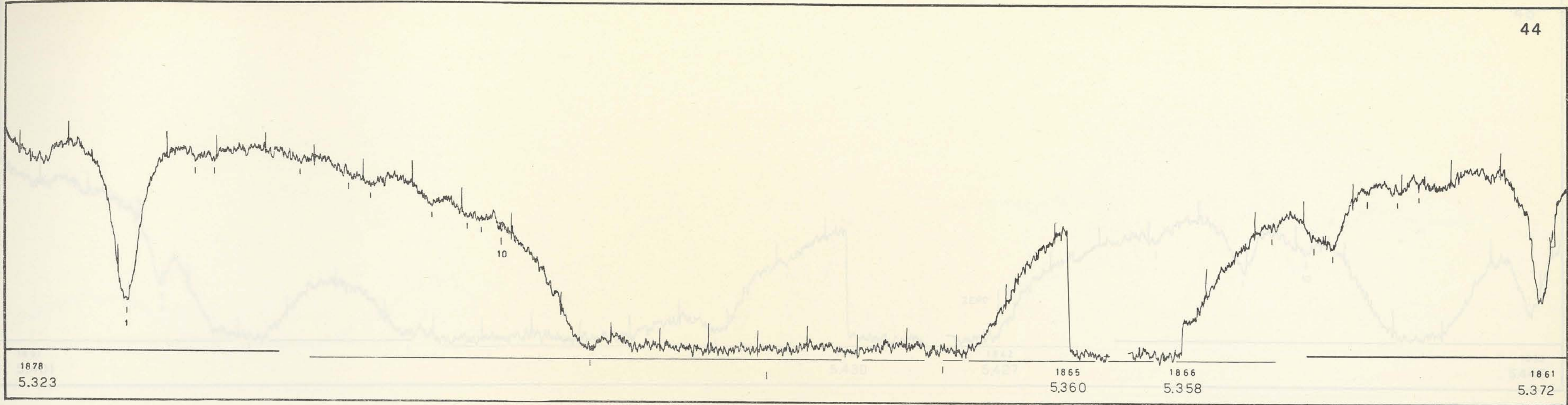


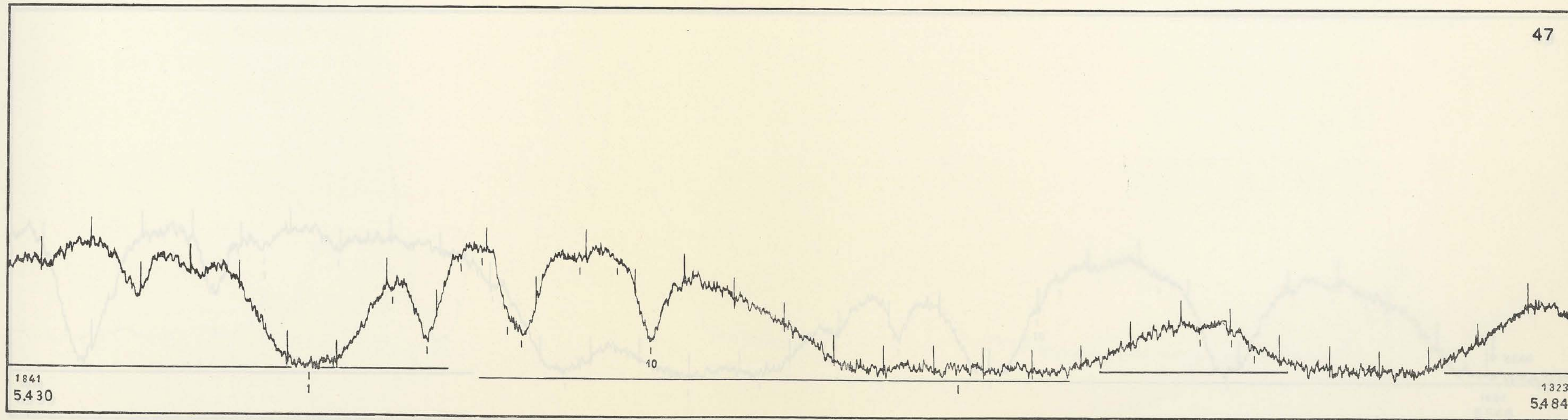
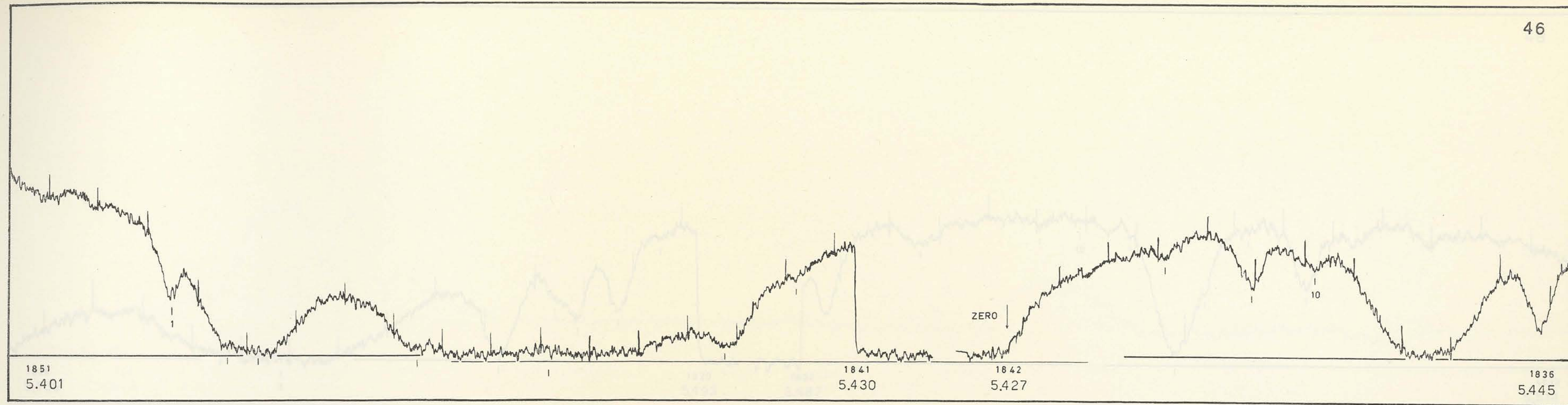


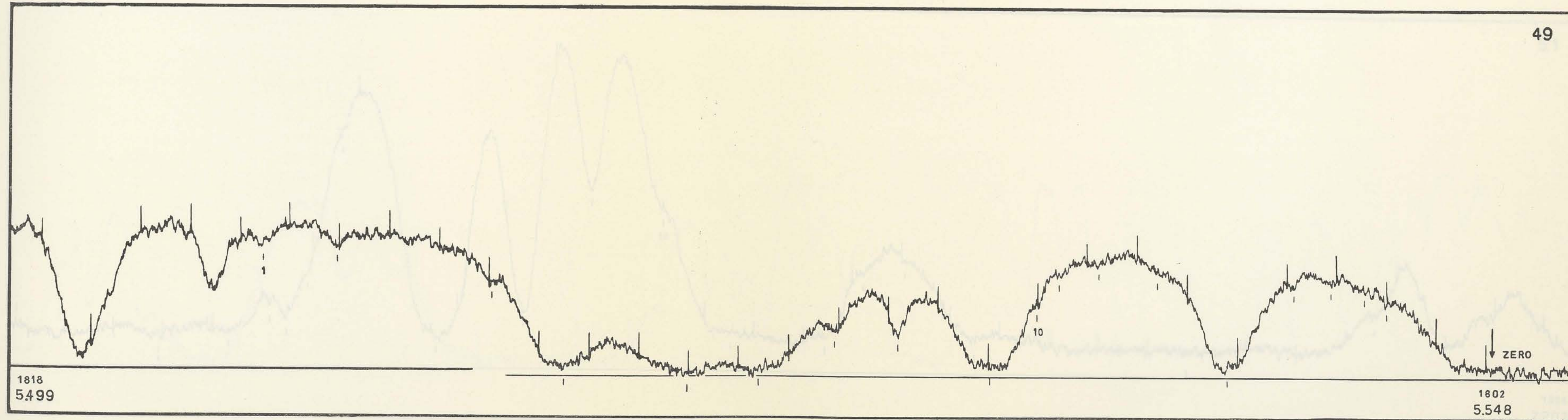
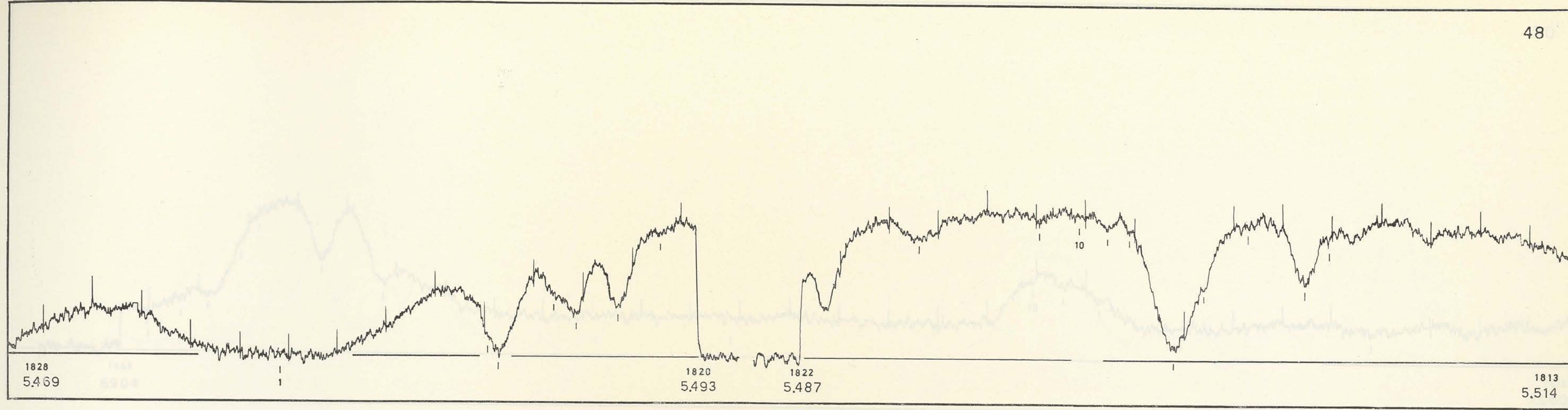


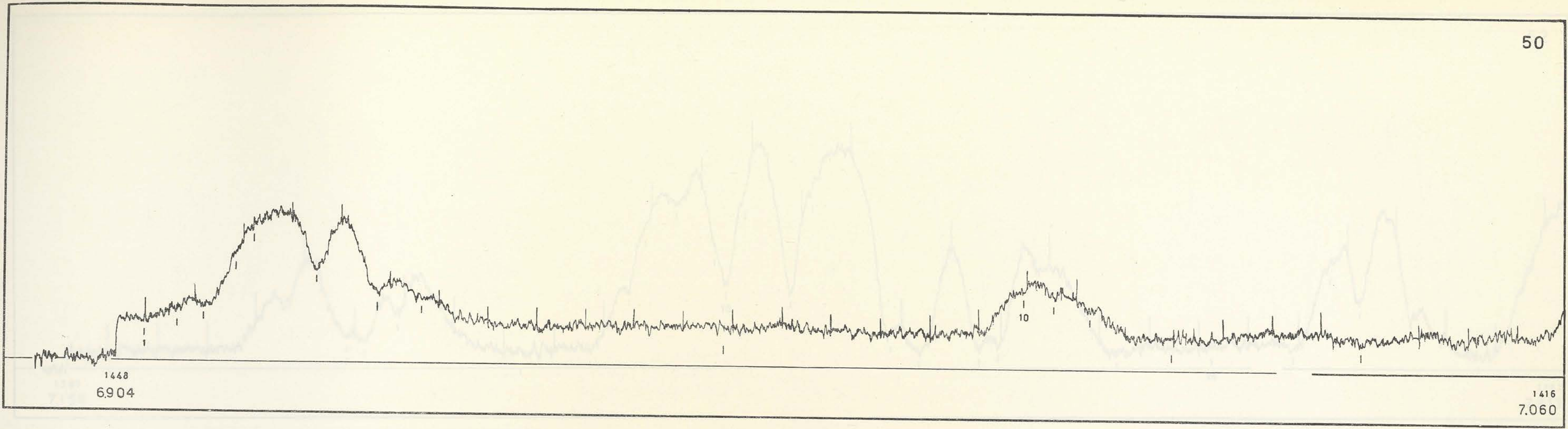






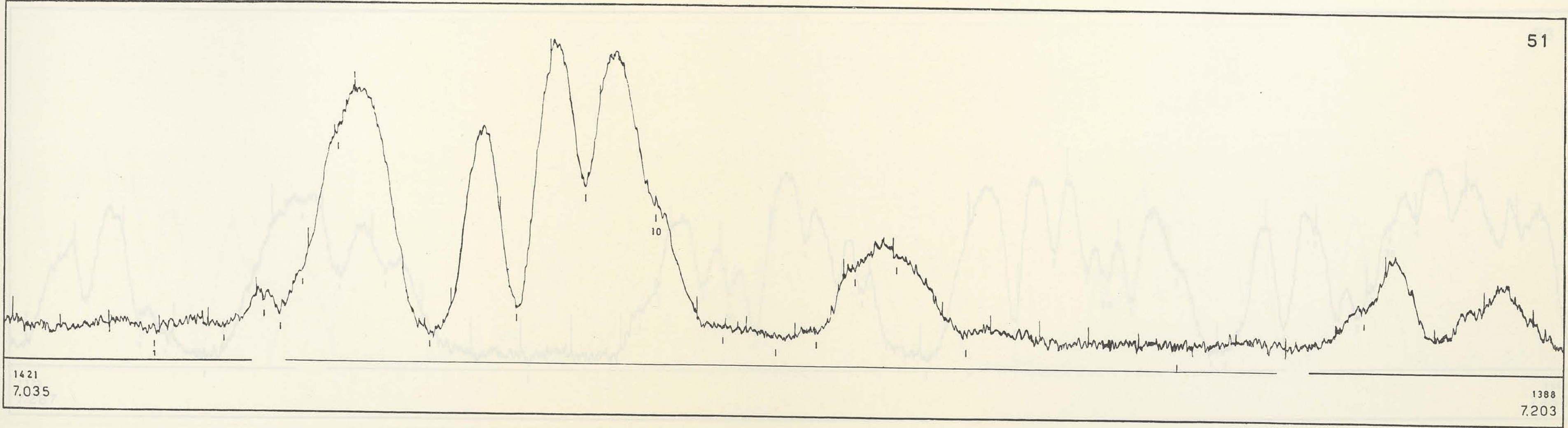






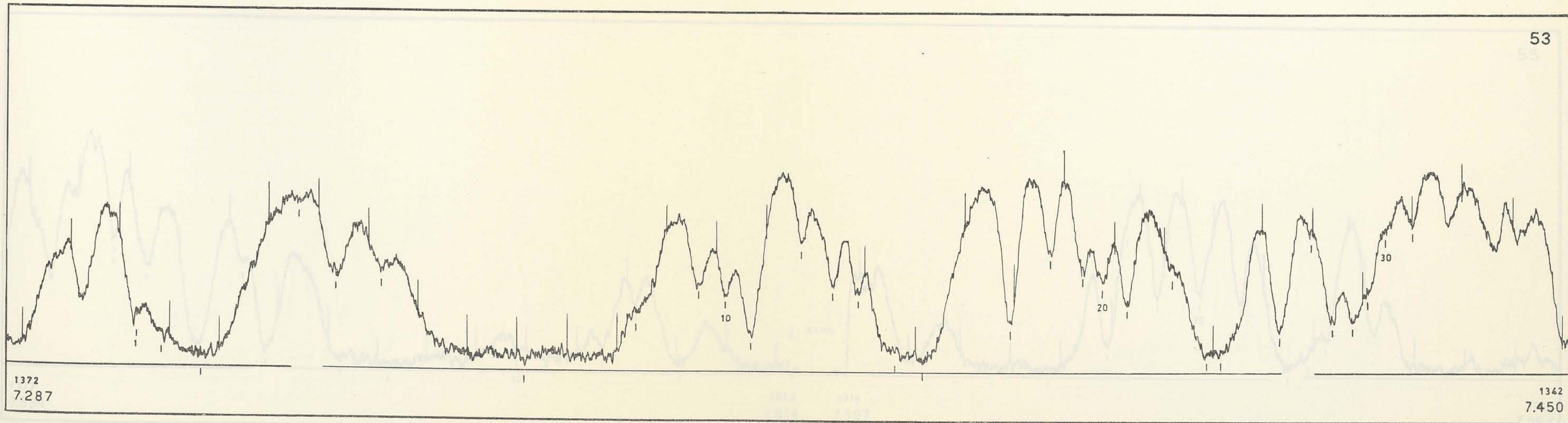
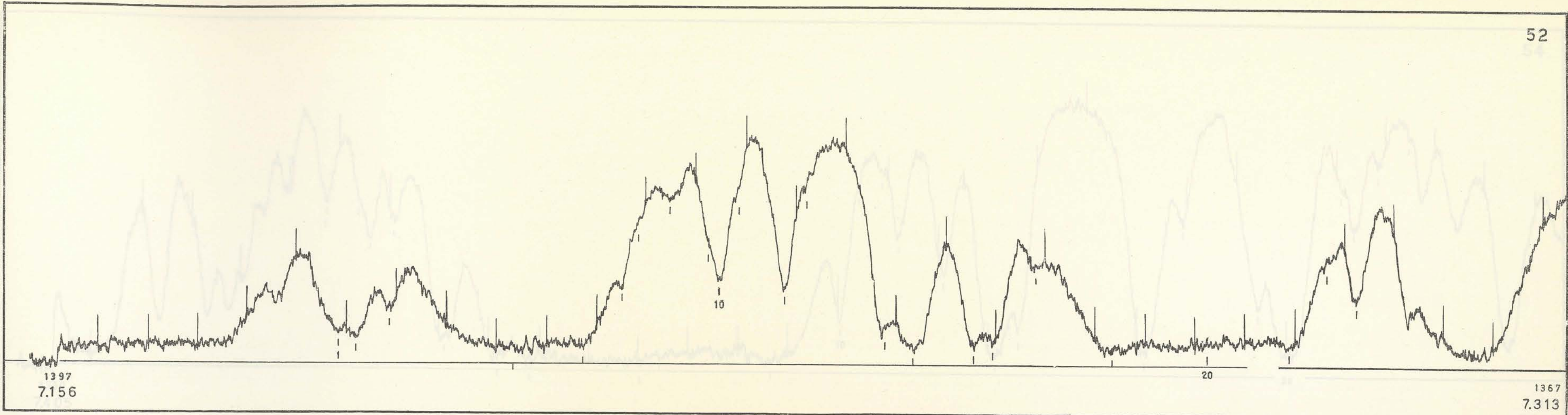
1448  
6904

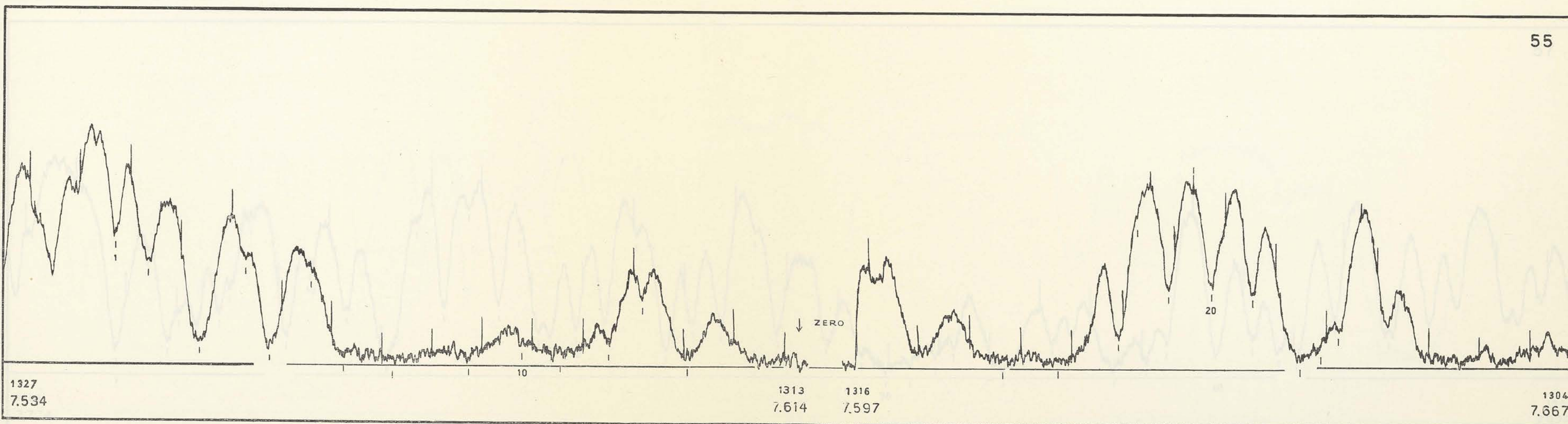
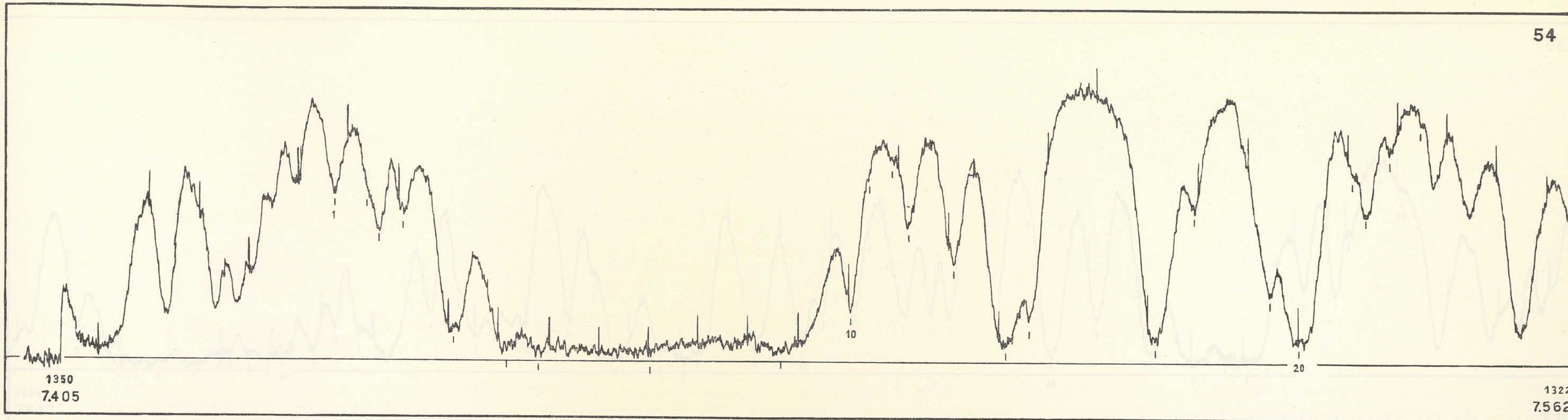
1416  
7.060

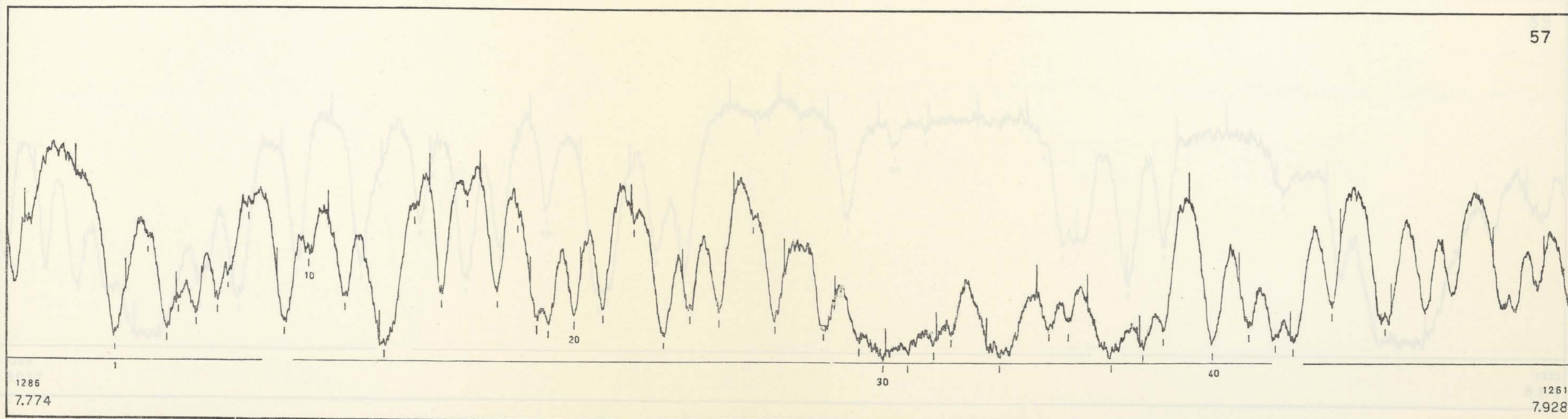
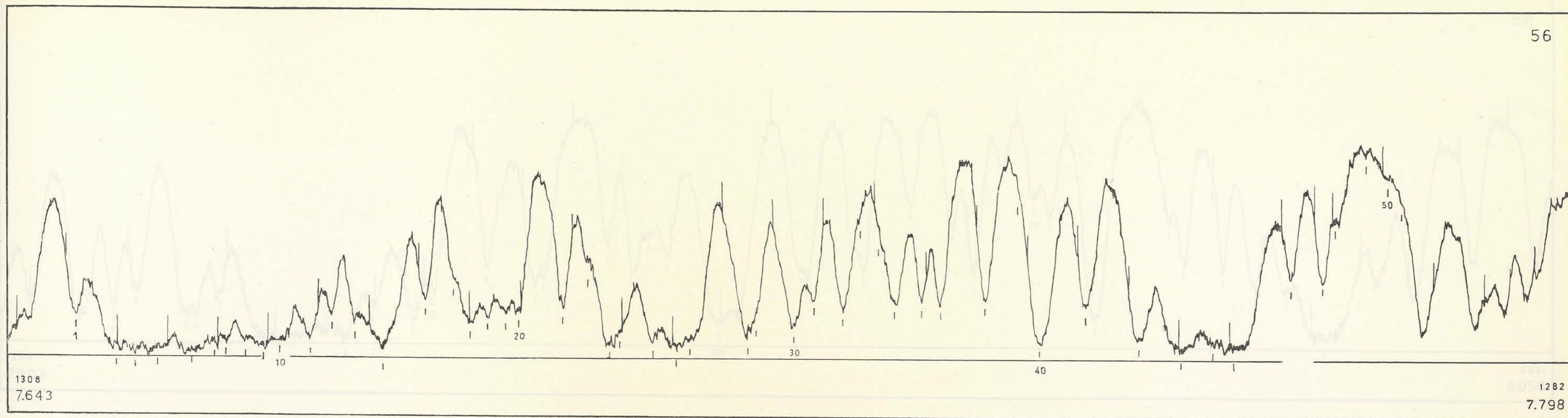


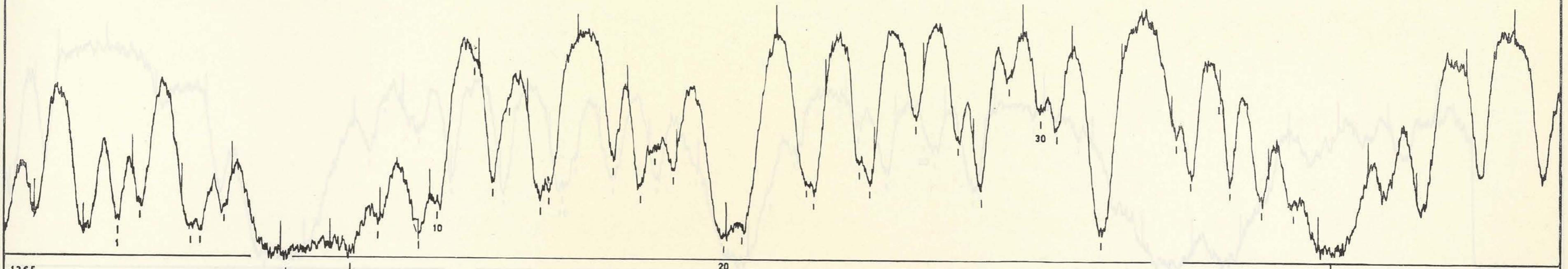
1421  
7.035

1388  
7.203







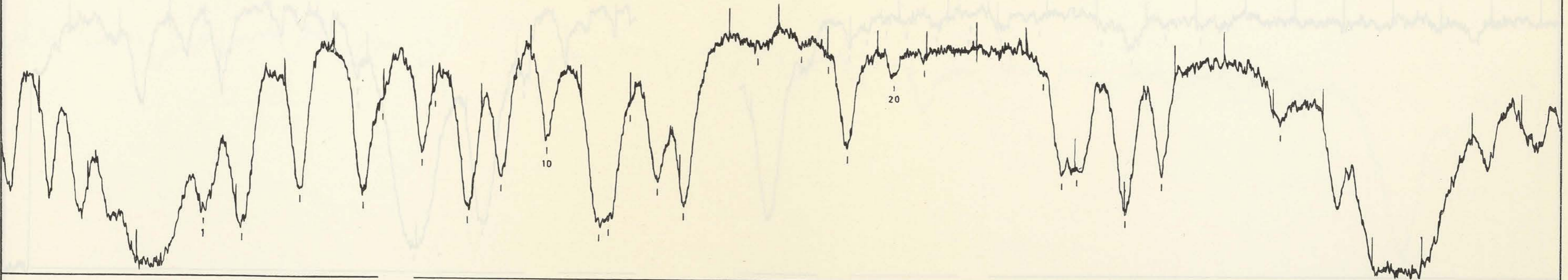


1265  
7.903

20

30

1241  
8.056

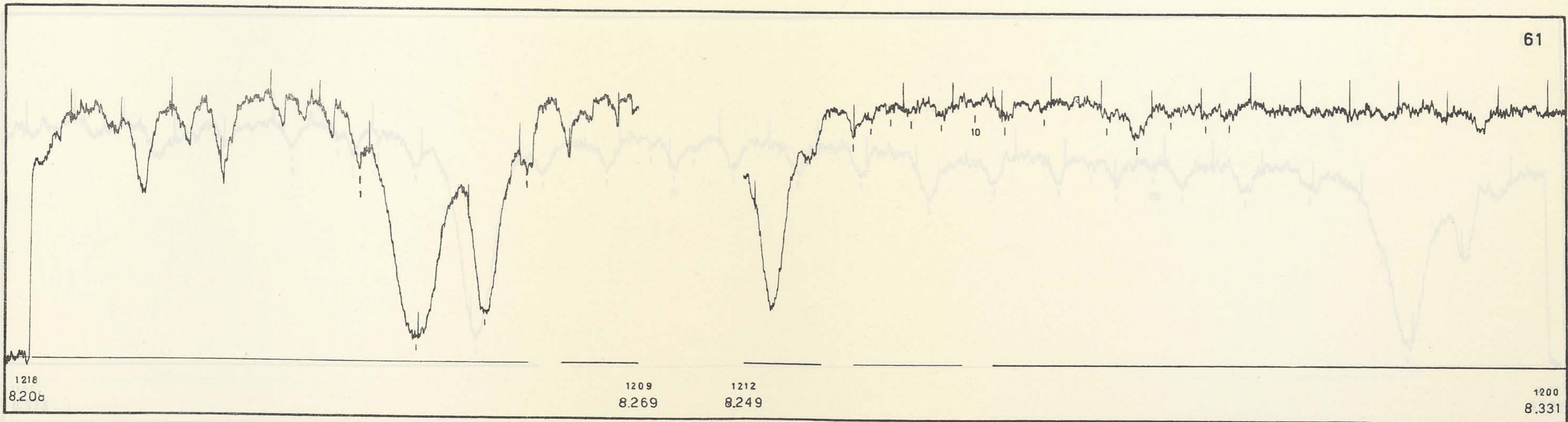
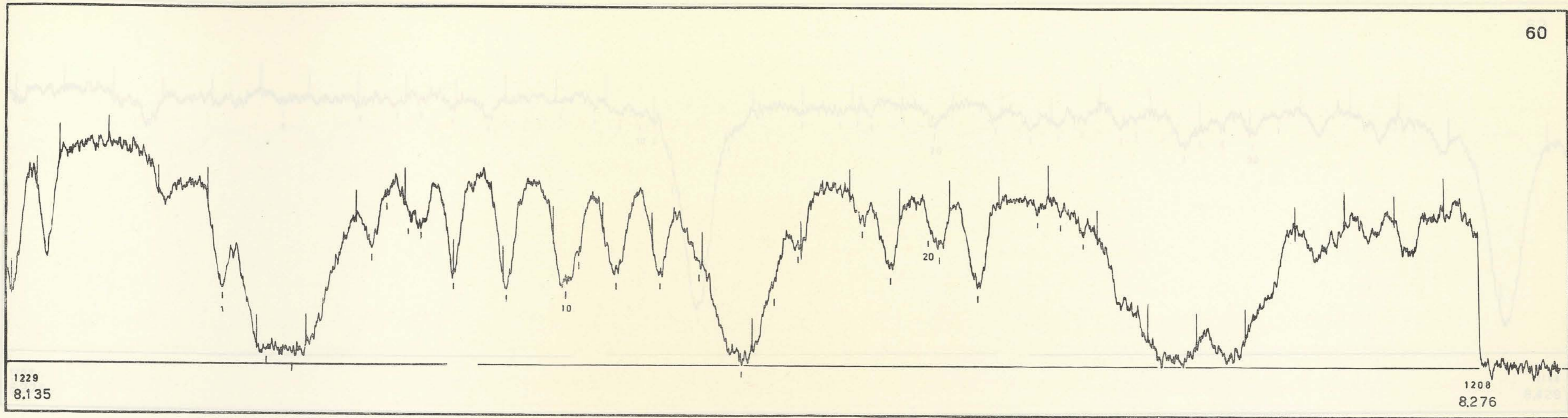


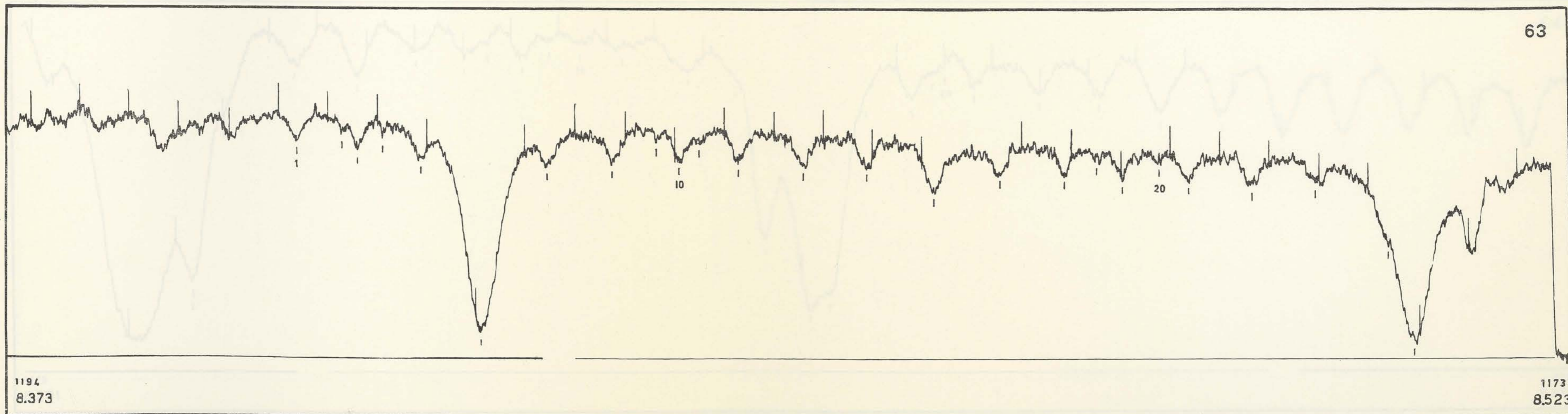
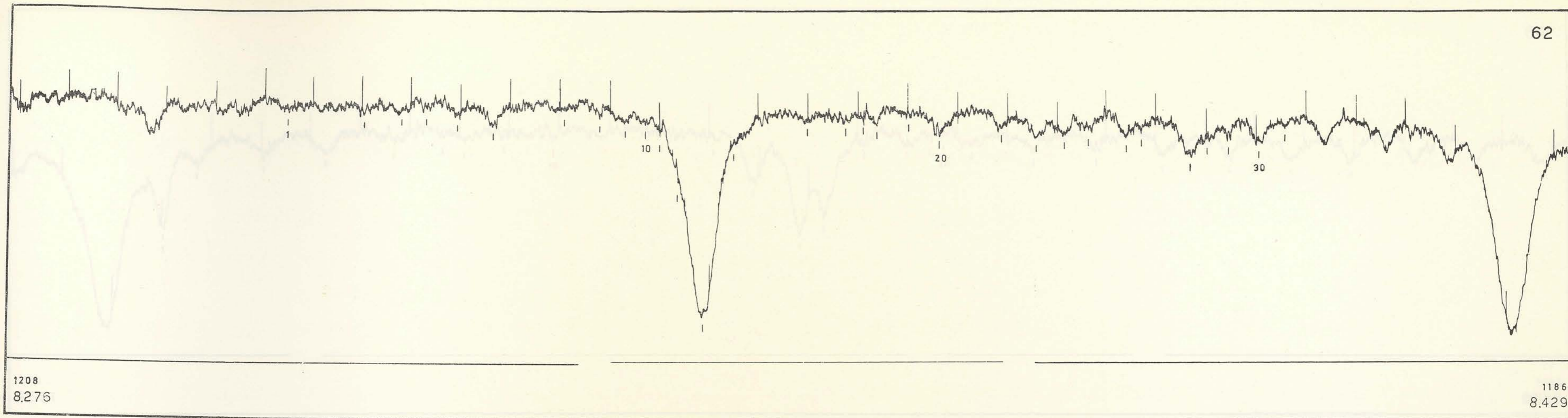
1247  
8.017

10

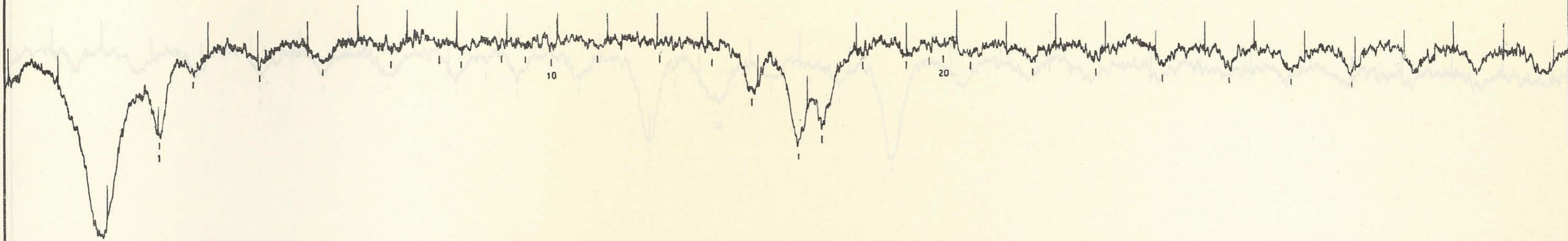
20

1223  
8.174





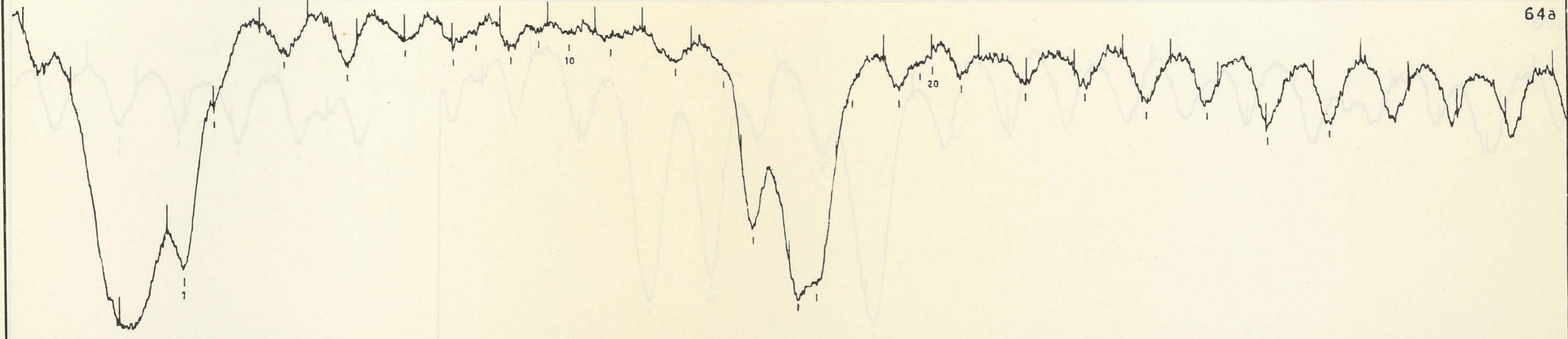
64



1176  
8.501

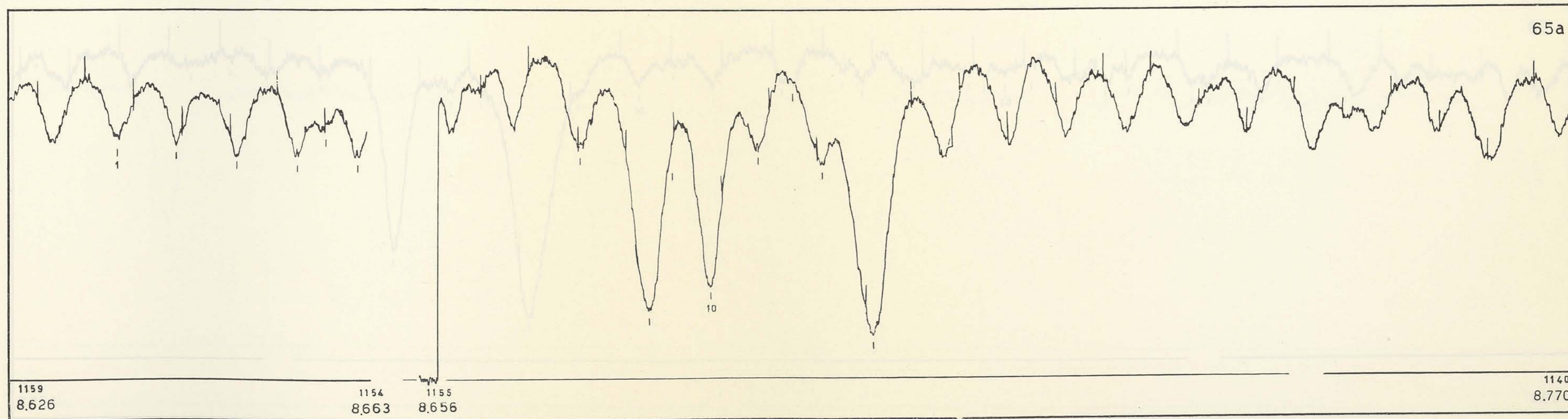
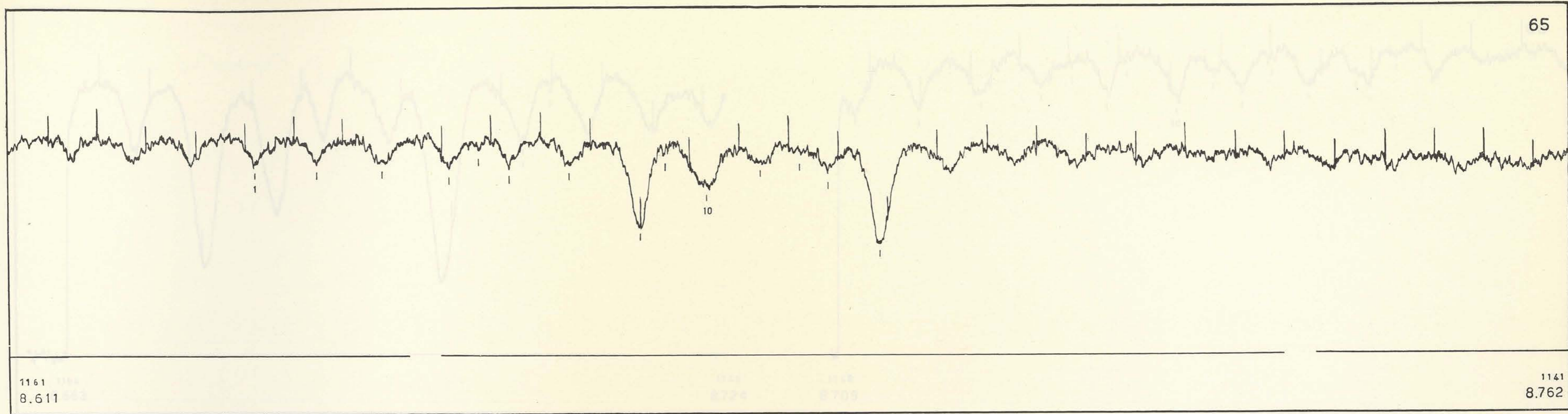
1155  
8.656

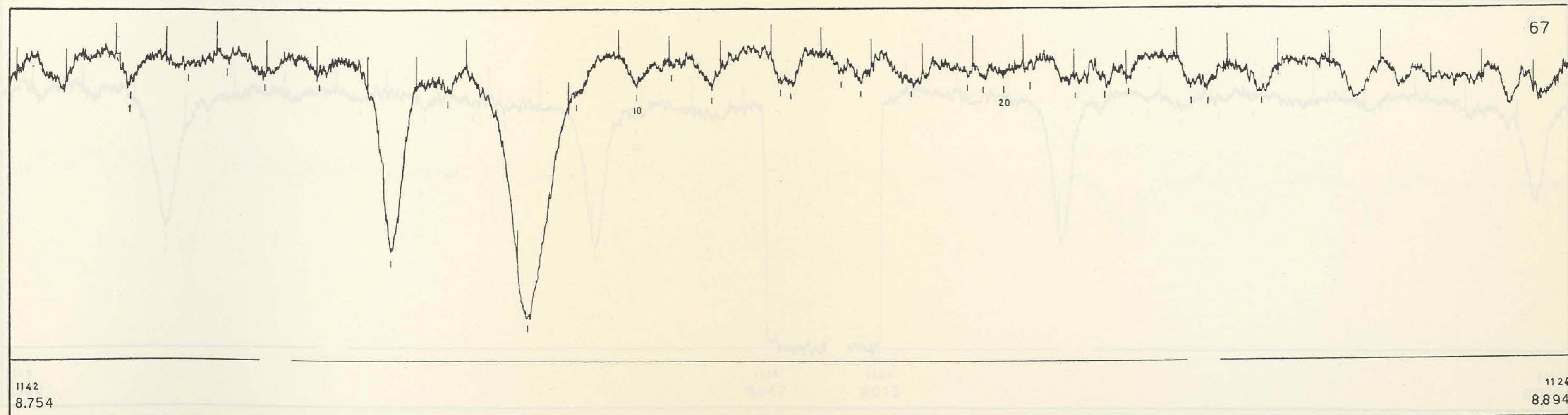
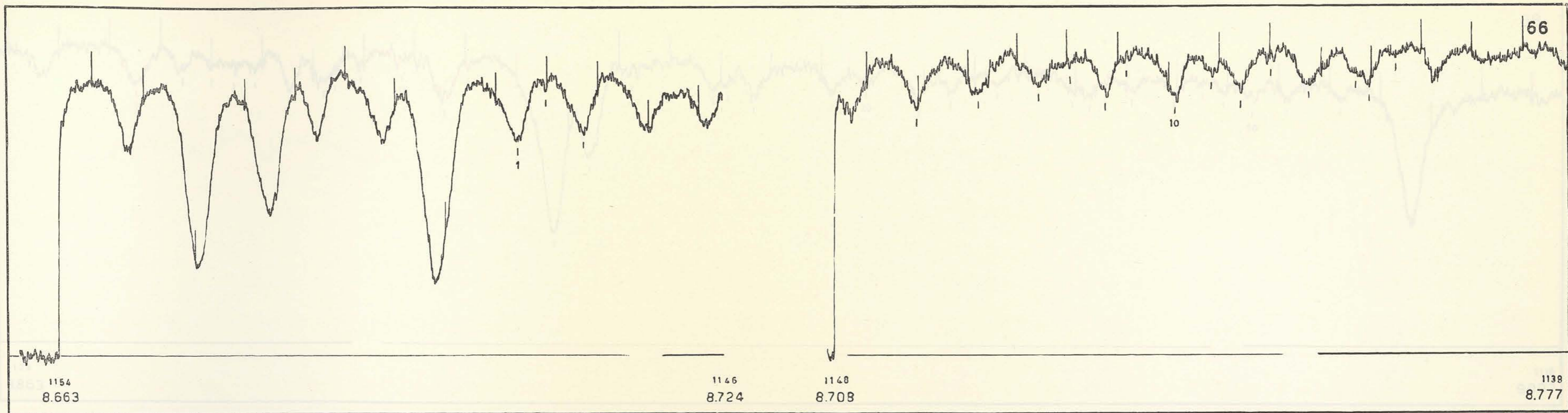
64a

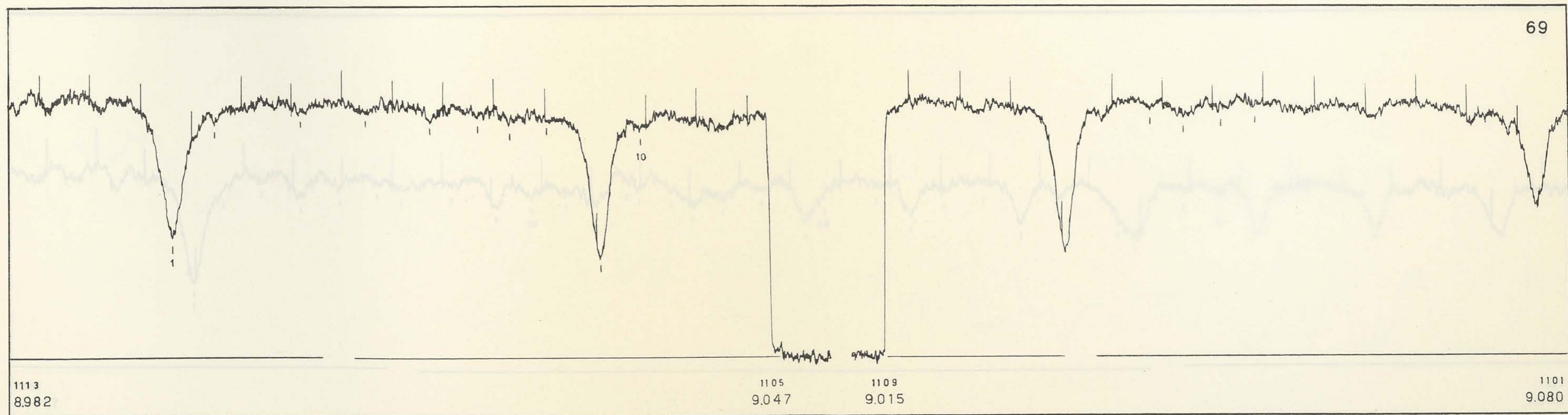
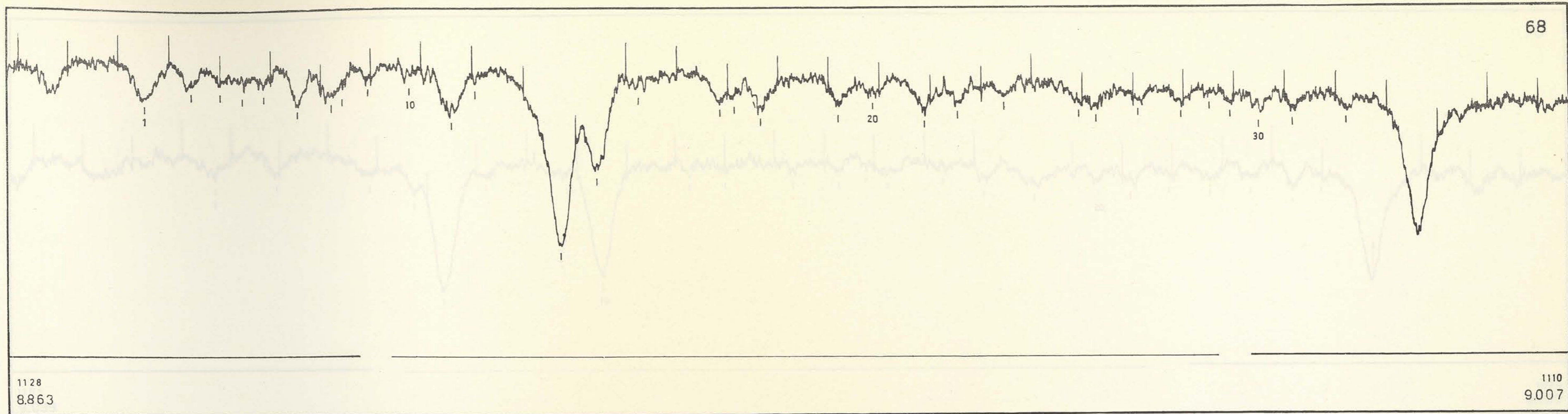


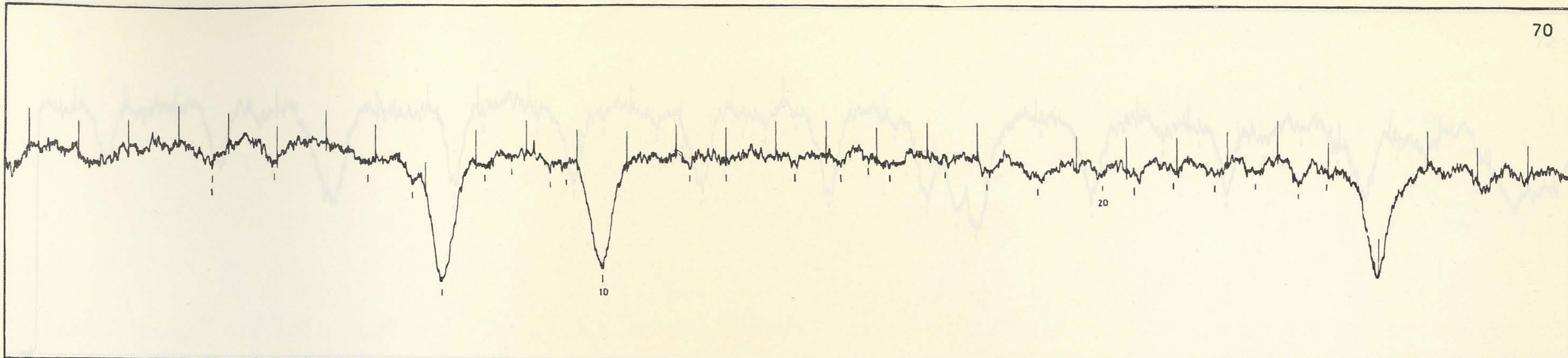
1176  
8.501

1155  
8.656



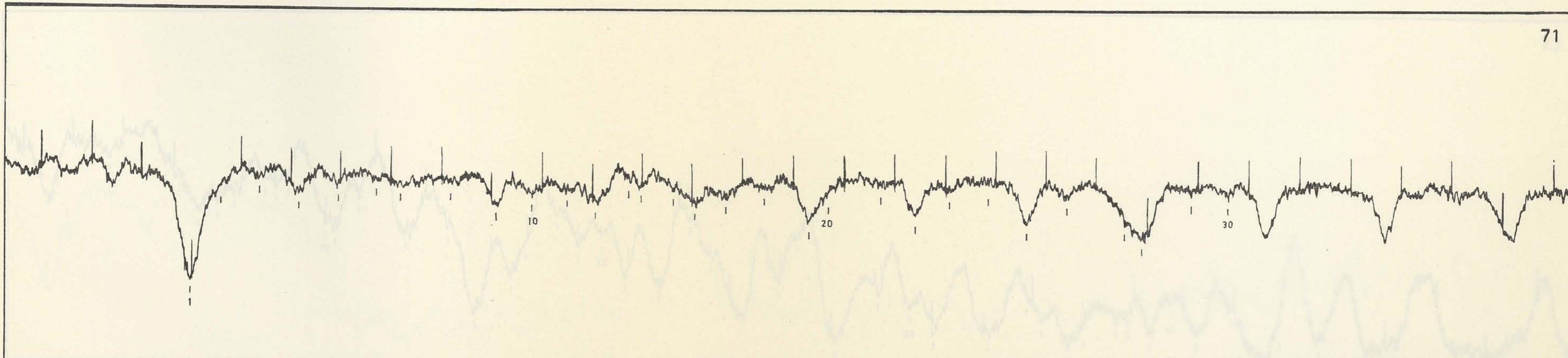






1106  
9.039

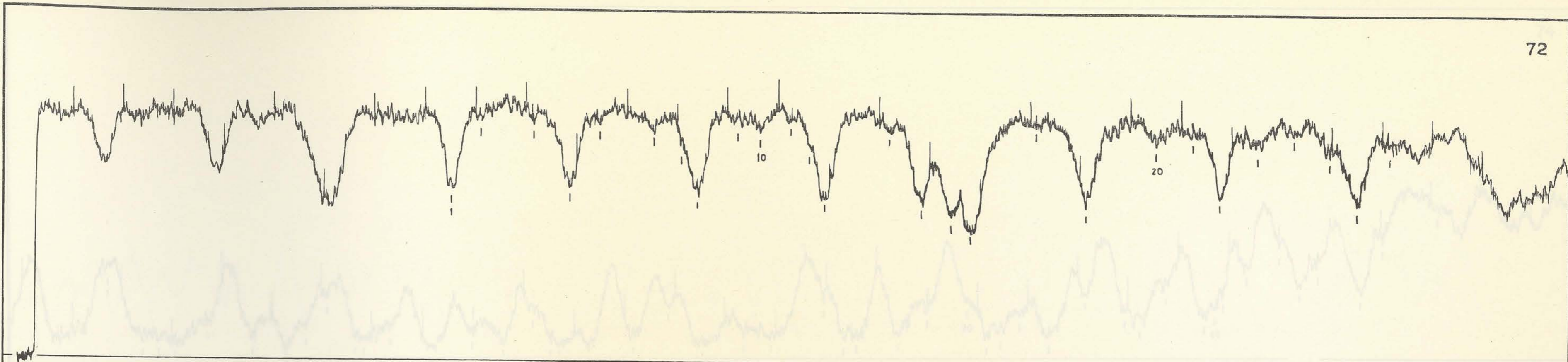
1089  
9.180



1093  
9.147

1077  
9.282

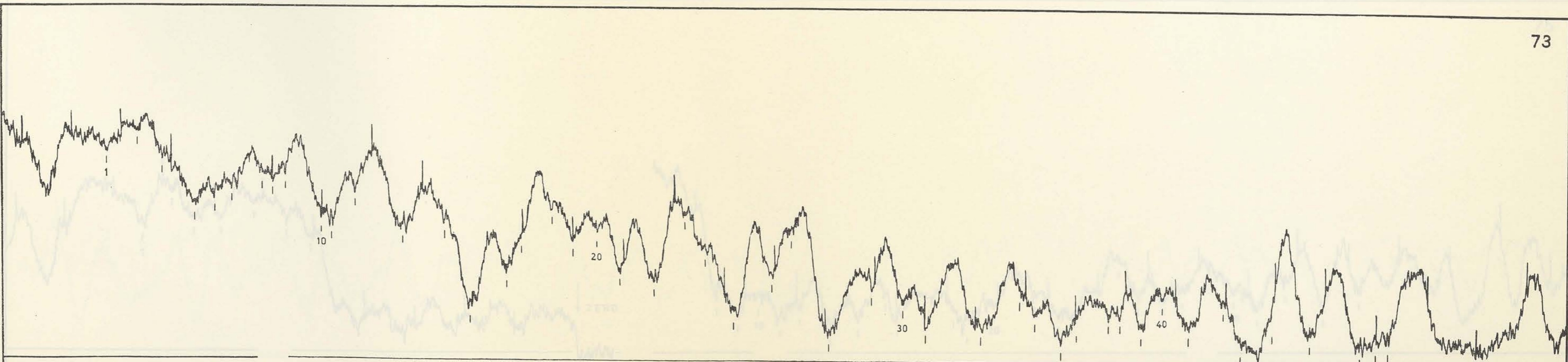
72



1084  
9.223

1068  
9.361

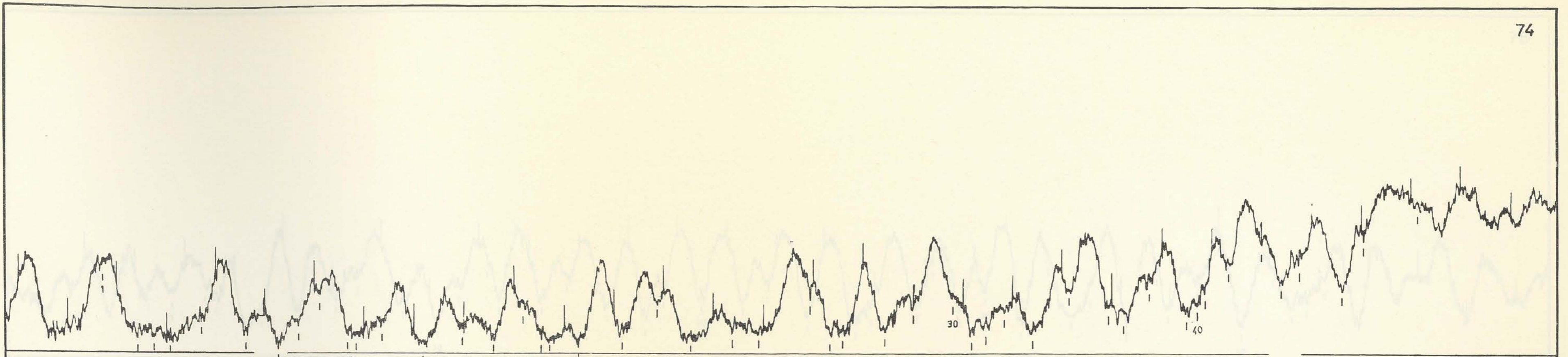
73



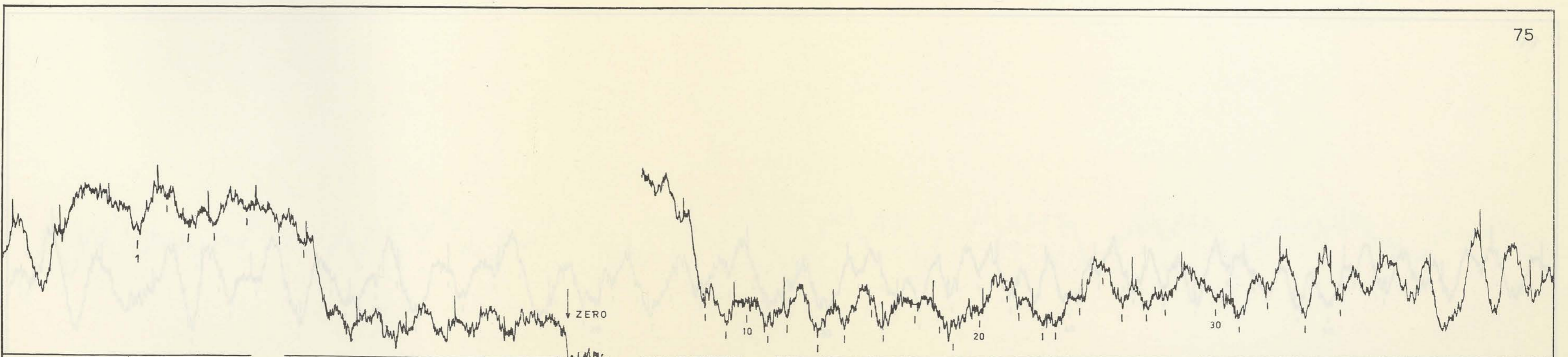
1071  
9.334

1055  
9.476

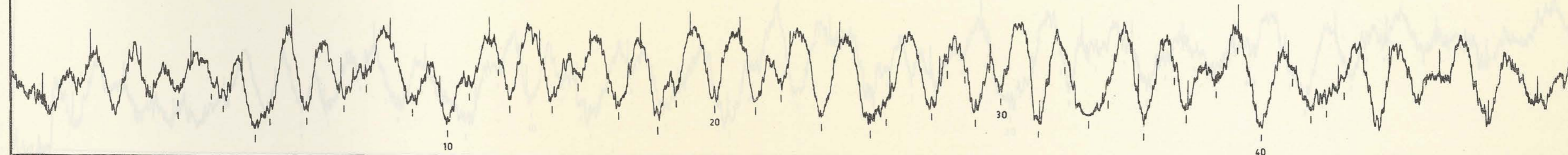
1078 1047  
9.522 9.594



1058 9.449 1042 9.594

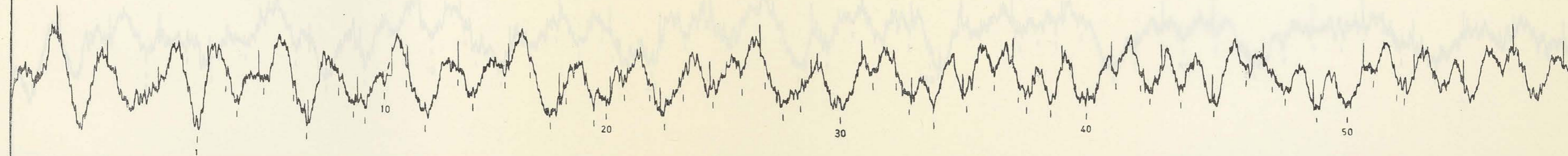


1045 9.567 1039 9.622 1042 9.594 1034 9.669



1037  
9.641

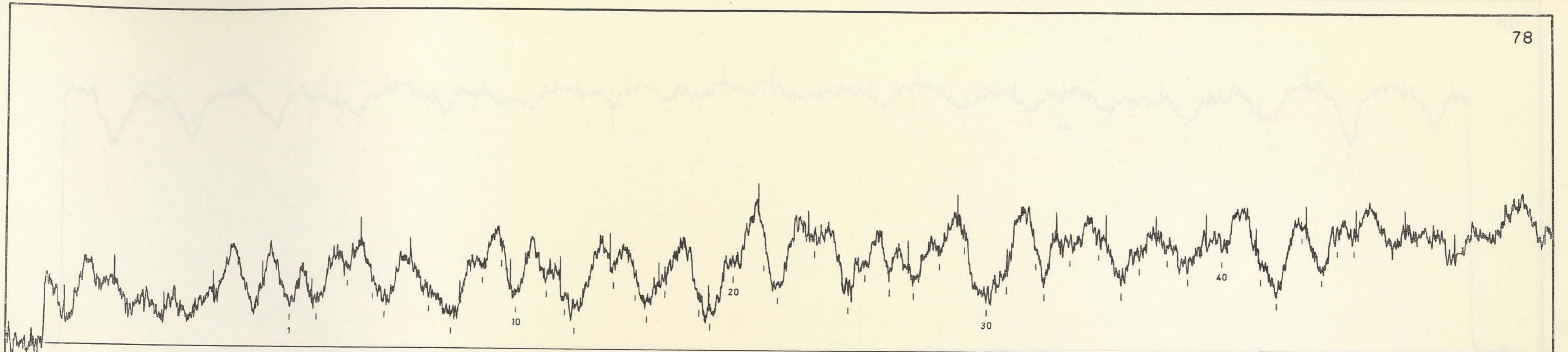
1023  
9.772



1026  
9.744

1012  
9.879

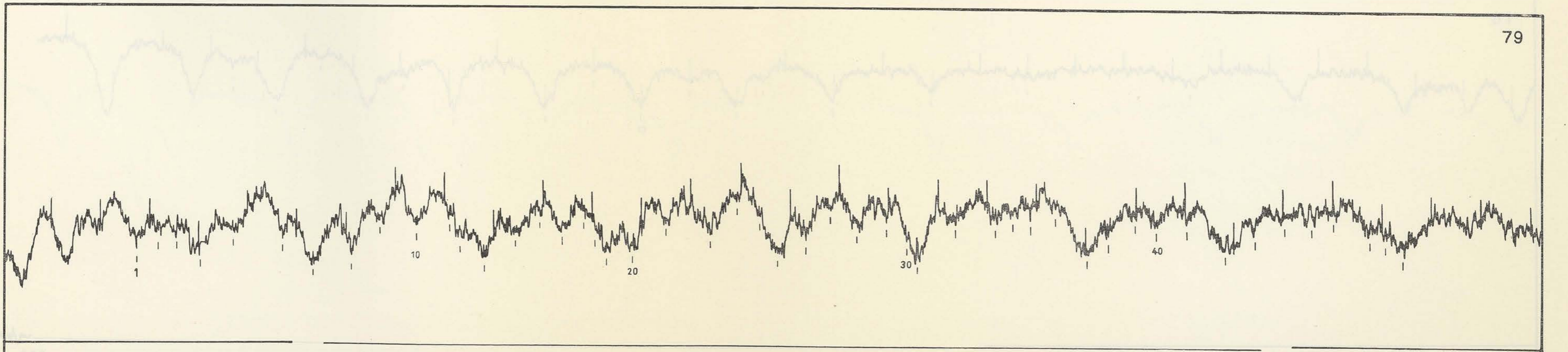
78



1015  
9.850

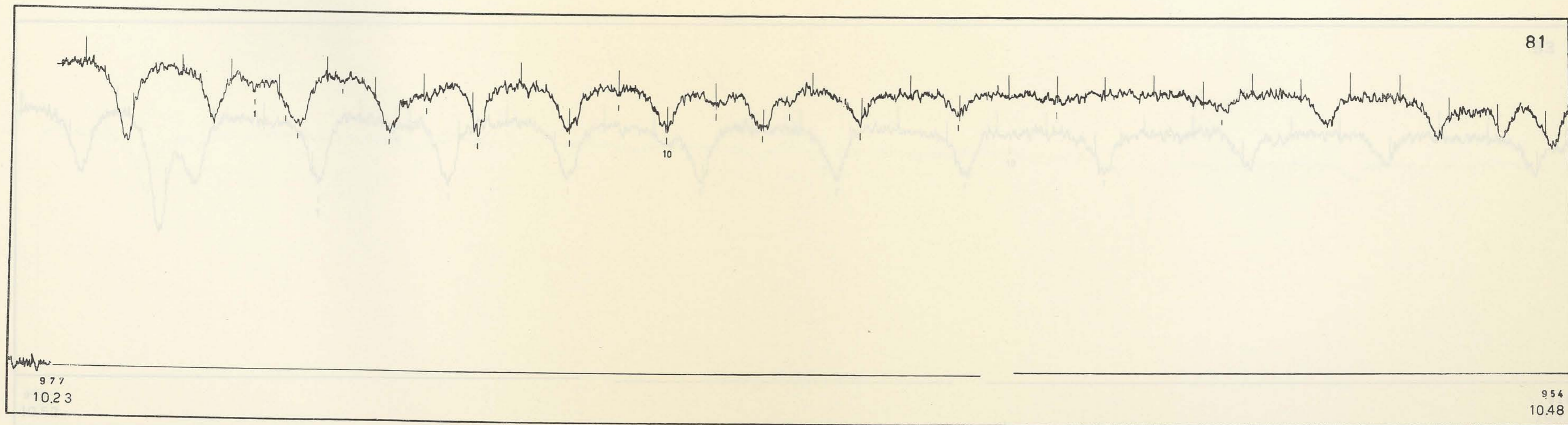
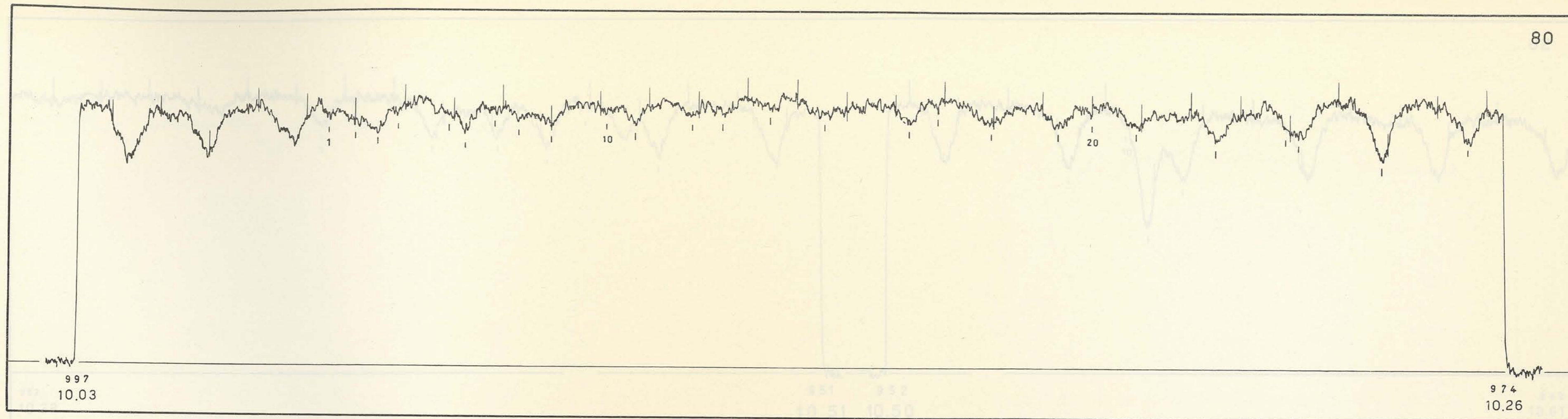
1002  
9.977

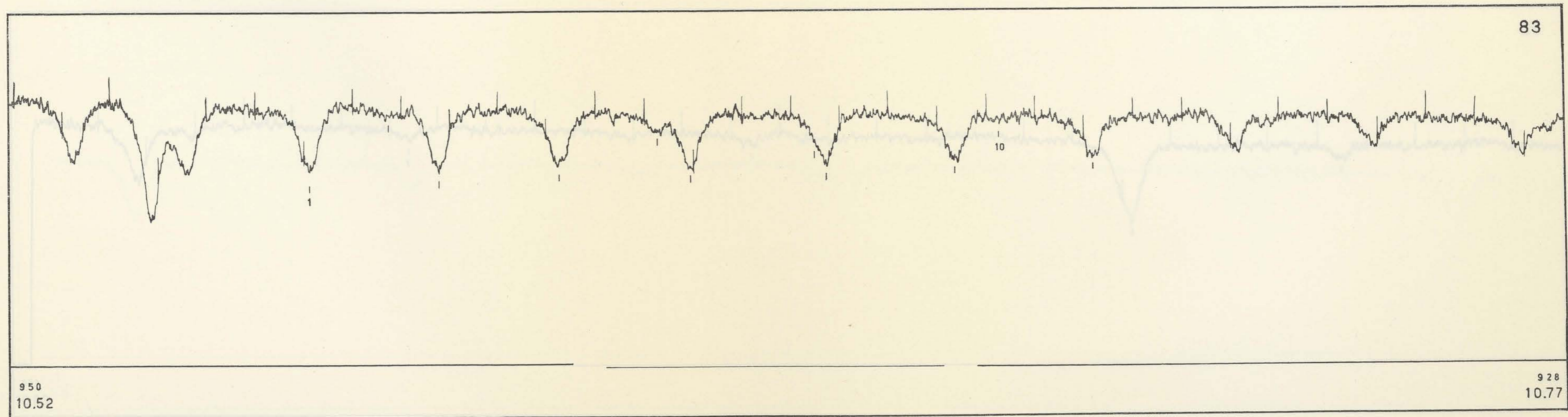
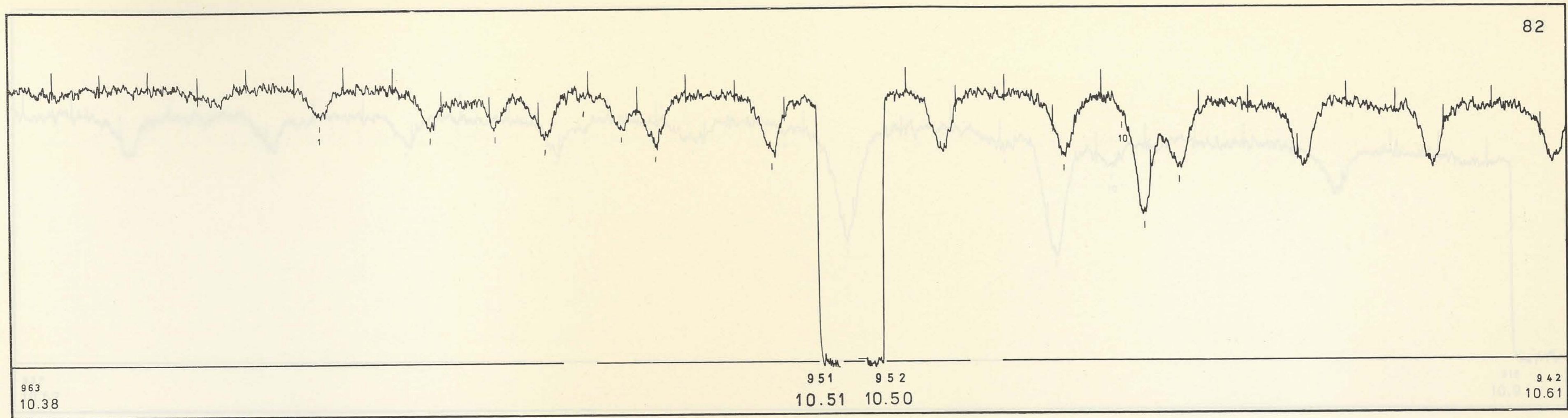
79

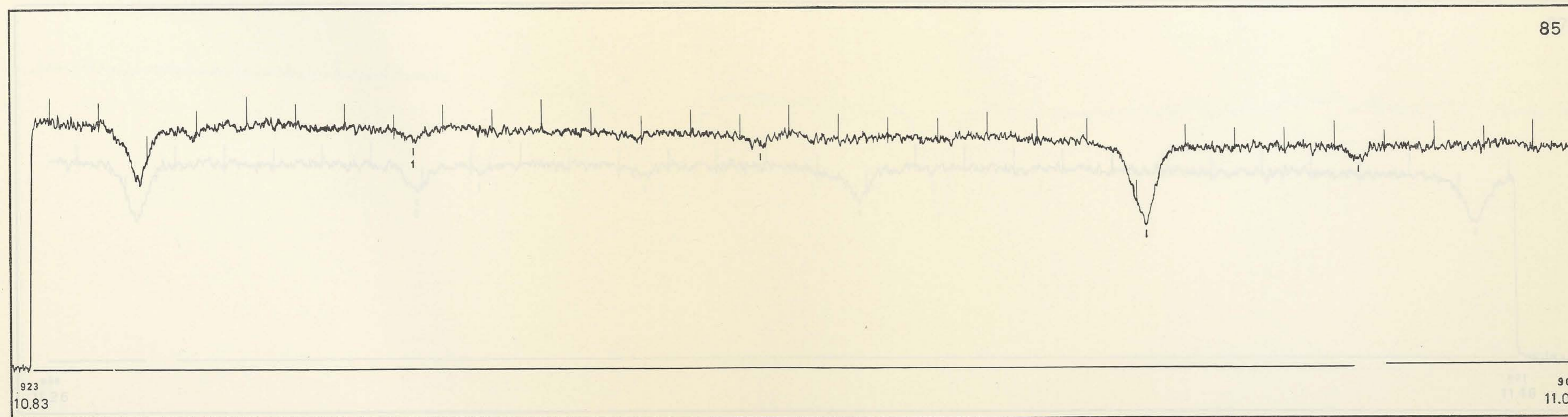
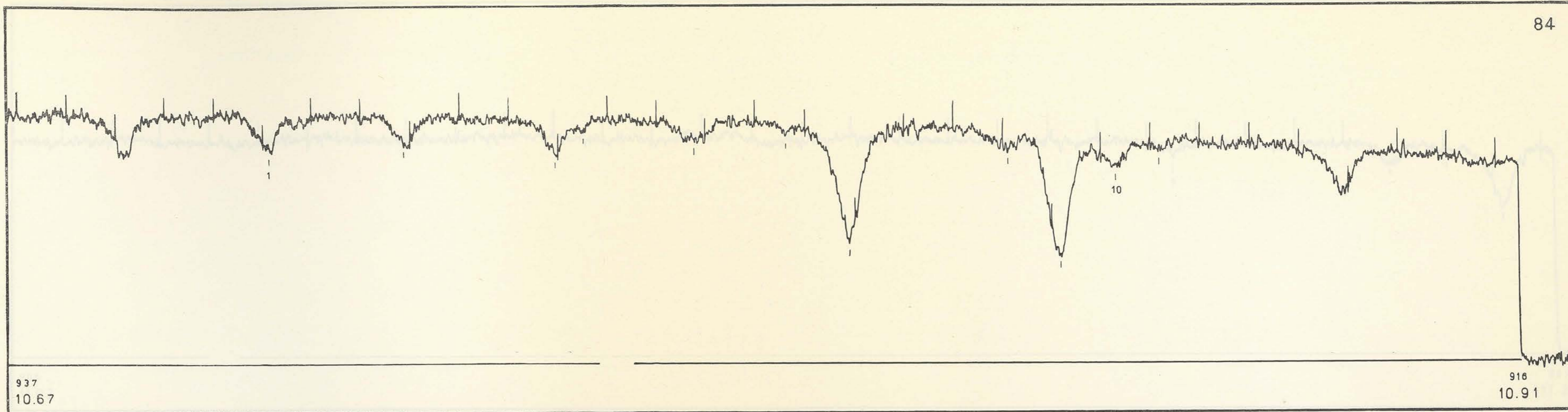


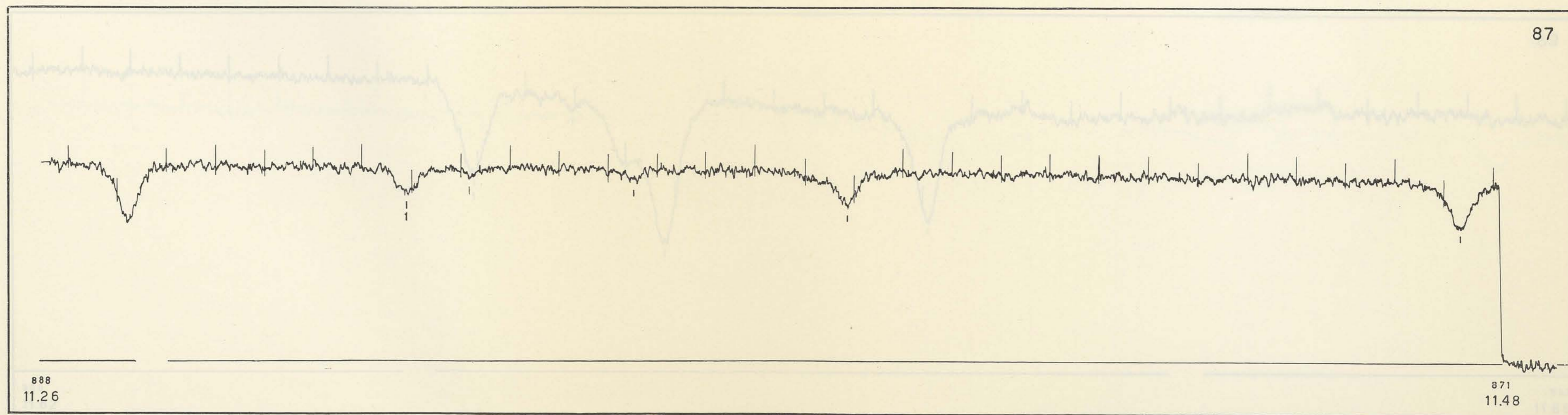
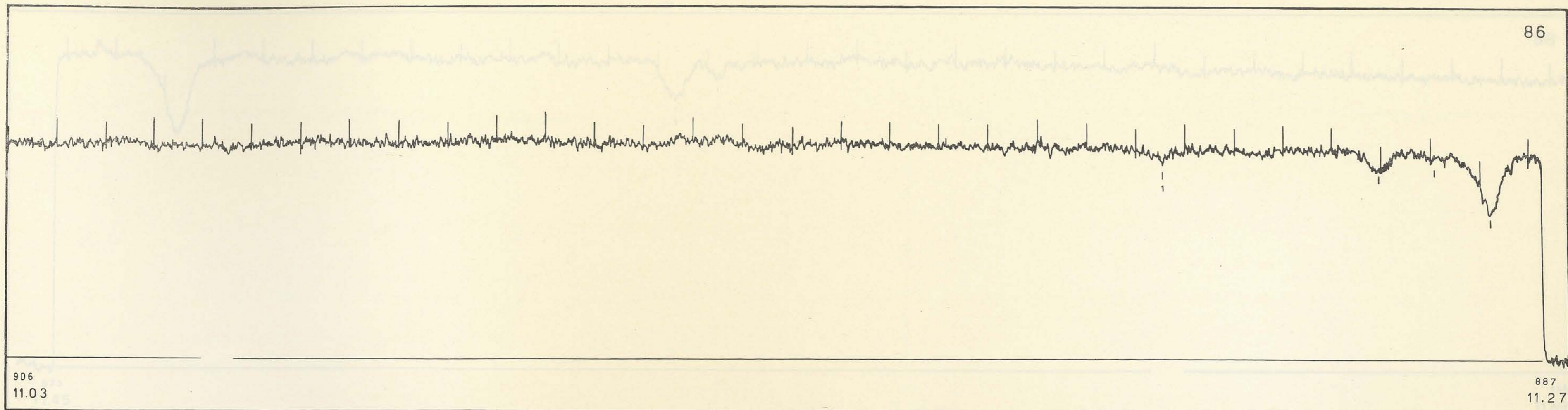
1005  
9.948

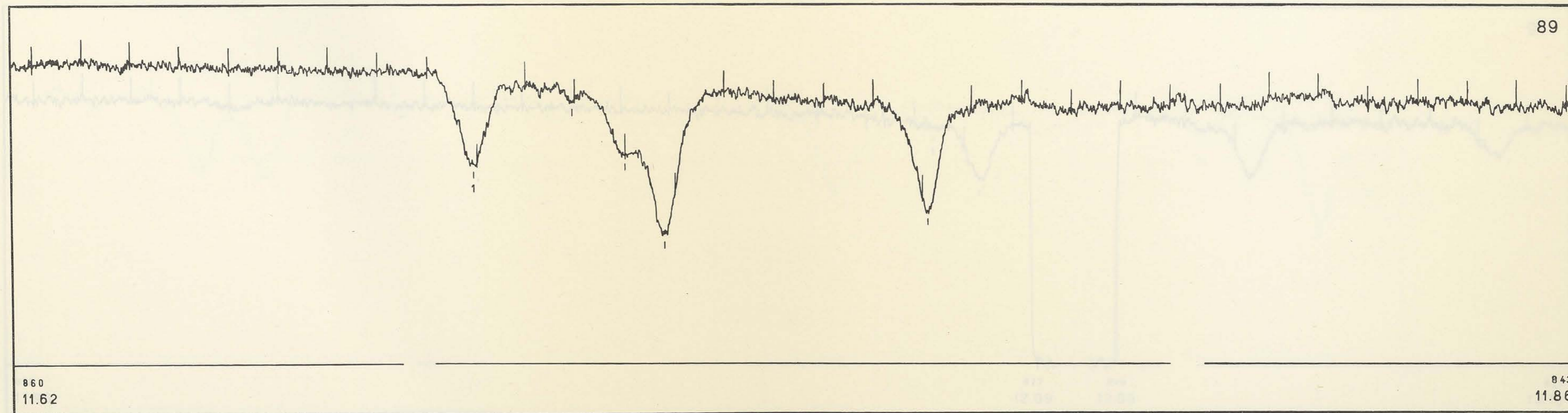
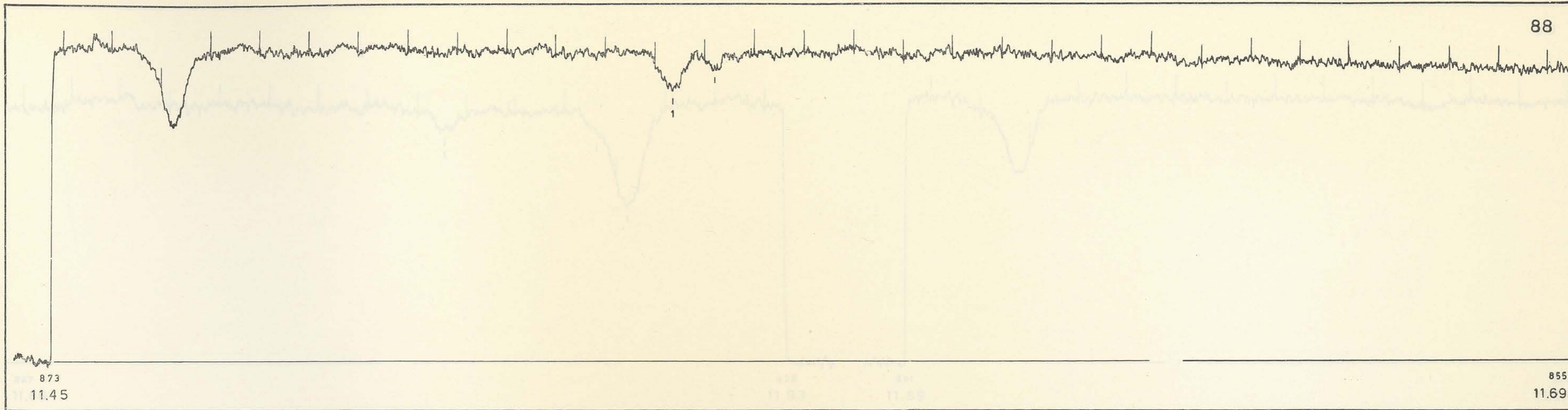
992  
10.08

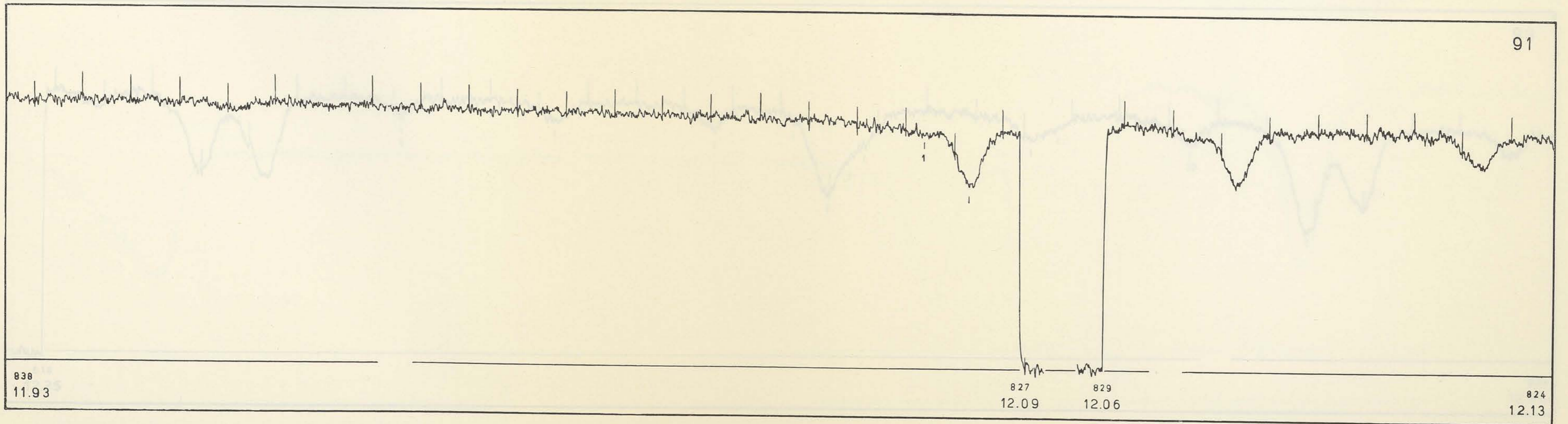
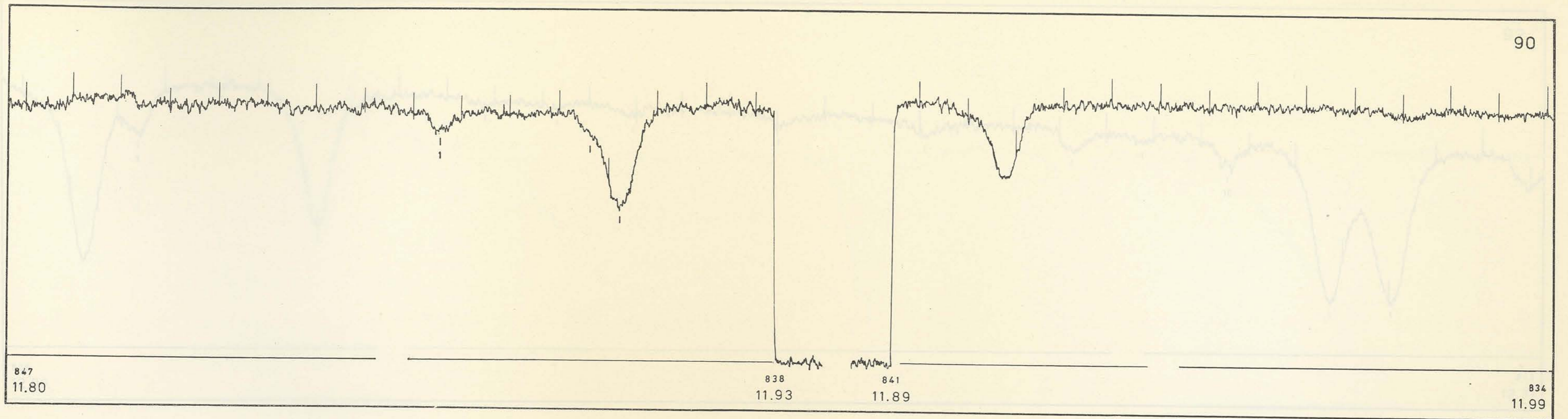


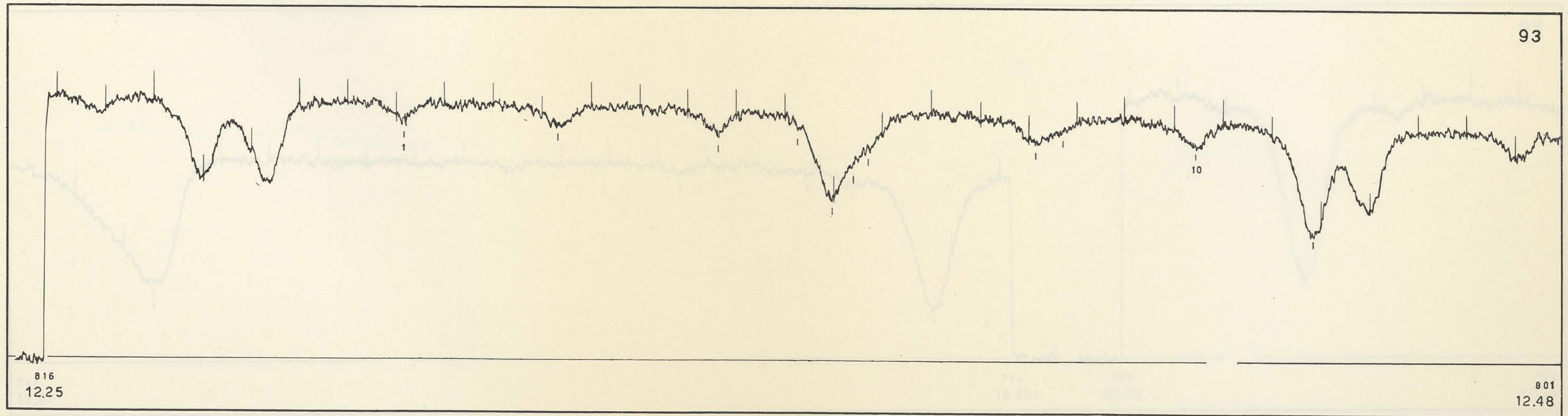
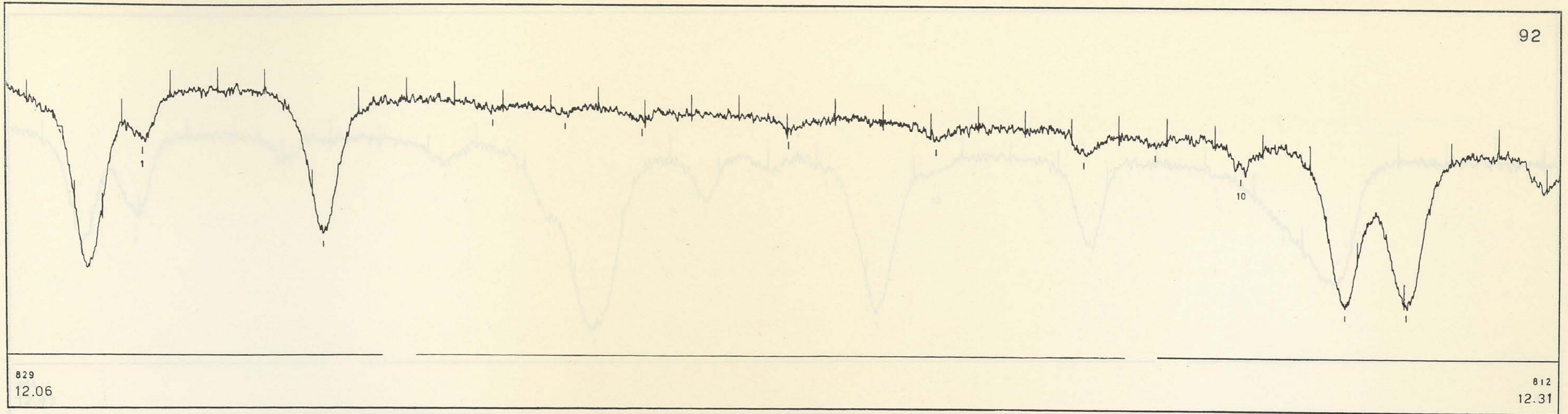




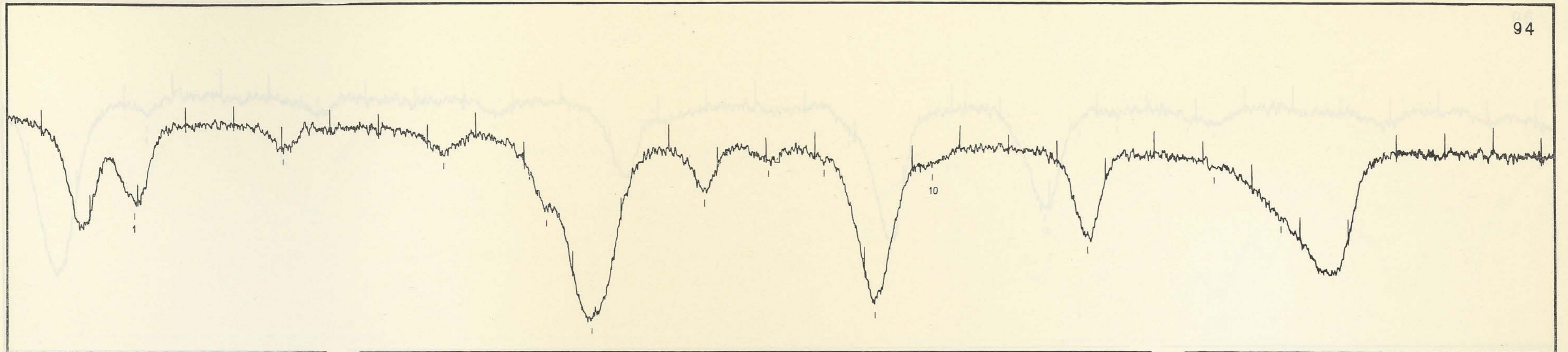








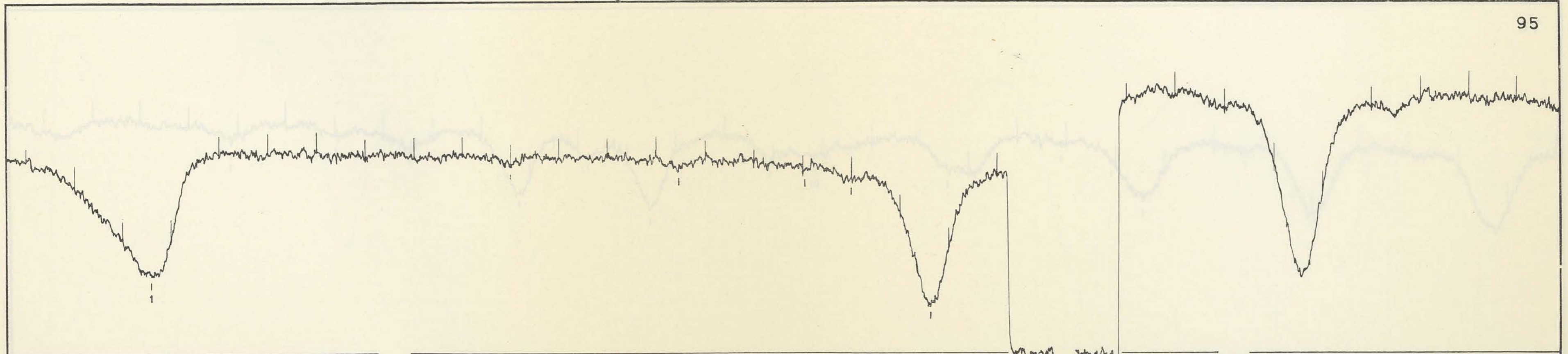
94



804  
12.43

790  
12.65

95

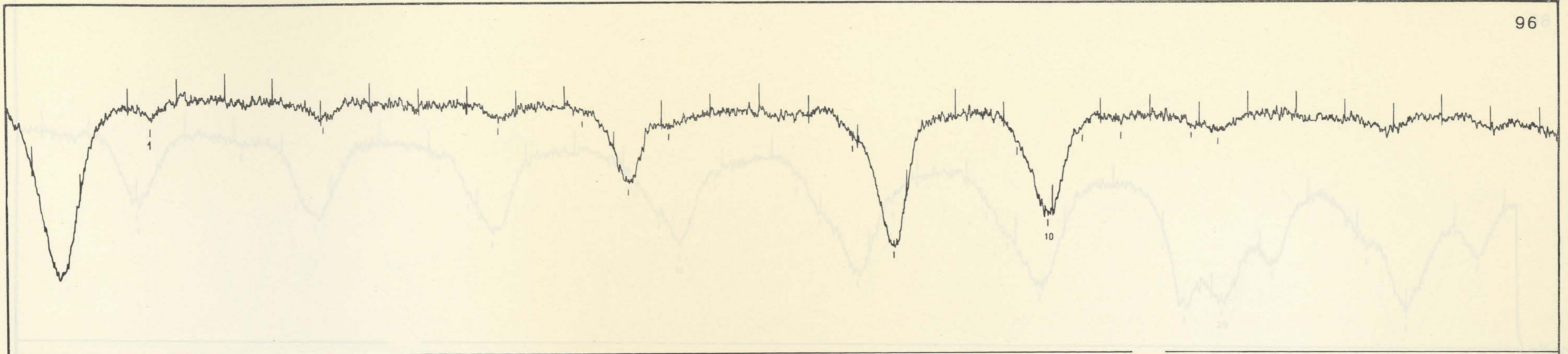


793  
12.61

784  
12.75

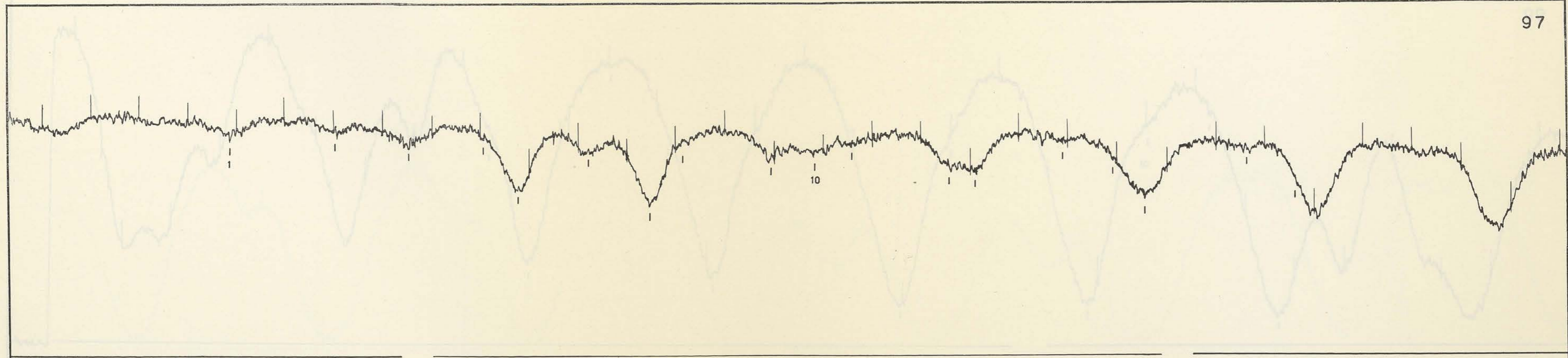
786  
12.72

782  
12.78



785  
12.74

771  
12.97



775  
12.90

761  
13.14

