

INSTITUT FÜR PLASMAPHYSIK

GARCHING BEI MÜNCHEN

Spektroskopische Beobachtungen am
Theta-Pinch II

W. v. Jaskowsky

M. Keilhacker

F. Pohl

IPP 1/4

Mai 1962

Die nachstehende Arbeit wurde im Rahmen des Vertrages zwischen dem Institut für Plasmaphysik GmbH und der Europäischen Atomgemeinschaft über die Zusammenarbeit auf dem Gebiete der Plasmaphysik durchgeführt.

	<u>INHALTSVERZEICHNIS</u>	<u>Seite</u>
	Zusammenfassung	2
A	Einleitung	3
B 1)	Zeitintegrierte Spektren: Identifikation der beobachteten Linien, Entstehungs- ort der Linien- und Kontinuumsstrahlung	4
2)	Zeitlich aufgelöste Spektren: Zeitlicher Intensitätsverlauf von Linien und Kontinuum	5
3)	Linienbreiten: a) bei den zeitintegrierten Spektren b) bei den zeitlich aufgelösten Spektren	7
C 1)	Referenzen	10
2)	Abbildungen	

Zusammenfassung

Aus zeitintegrierten und aus zeitlich aufgelösten Spektralaufnahmen an einer Theta-Pinch-Anordnung werden die folgenden Beobachtungen mitgeteilt:

Die beobachteten Linien sind den Glasbestandteilen zuzuordnen. He ist nicht nachweisbar. Die höchste beobachtete Ionisationsstufe ist O VI.

Die Intensitätsmaxima der Linien, die den Ionisationsstufen des Sauerstoffs zuzuordnen sind, erscheinen in der zeitlichen Reihenfolge O VI, O V, O IV, O III, O II.

Zur Zeit des Intensitätsmaximums von O VI wird in Achsennähe des Entladungsgefäßes Kontinuumsstrahlung beobachtet. Sie wird als Elektronenbremskontinuum gedeutet und dauert ca. 0,3 μ sec an.

A) Einleitung

Am Theta-Pinch II wurden Spektralaufnahmen von Entladungen in Deuterium gemacht, um einen Überblick über das Auftreten von Kontinuumstrahlung und Verunreinigungslinien zu erhalten. Der hier beobachtete Spektralbereich reichte wegen Verwendung eines Glasgefäßes von 3400 bis 6400 Å. Dabei interessieren der Entstehungsort der Strahlung im Entladungsgefäß sowie der Zeitpunkt und die Dauer der Lichtemission, relativ zum Stromverlauf. Bei den beobachteten Verunreinigungen interessierte deren Art und Ionisationsgrad.

Die technischen Daten von Theta-Pinch II sind: Gespeicherte Energie: 40 Kilojoule bei einer Ladespannung von 50 Kilovolt. Die Spule ist 30 cm lang und hat einen Innendurchmesser von 5,2 cm. Das maximale Magnetfeld beträgt 72 Kilogauss.

Die Entladungen wurden - wenn nicht anders erwähnt - bei einem Druck von $3 \cdot 10^{-2}$ Torr durchgeführt. Das Deuteriumgas wurde einige μsec vor der Entladung durch Anlegen einer Hochfrequenzspannung von 40 KV vorionisiert.

B 1) Zeitintegrierte Spektren

Die zeitintegrierten Spektren in Abb. 1 - 9 ⁺⁾ wurden mit einem Bausch- und Lomb-Doppelgitter-Spektrographen mit 8 Å/mm Dispersion aufgenommen. Die Spaltbreite betrug 0,05 mm, was ca. 0,4 Å entspricht.

Die Aufnahmen wurden axial mit einer Eingangsapertur von ca. $f/60$ gemacht. Dabei wurde das Entladungsgefäß auf den Spektrographenspalt abgebildet. Wegen der verwendeten kleinen Apertur und der stigmatischen Abbildung wird eine gute radiale Auflösung erhalten.

Die Linien der in Abb. 1 - 9 reproduzierten Aufnahmen wurden mit einem Komparator vermessen. Durch Vergleich mit den Linien des Eisenvergleichsspektrums wurden die Wellenlängen der Verunreinigungslinien bestimmt. Die Identifikation geschah dann mit Hilfe von Spektraltabellen [1], [3]. Es ergab sich, dass folgende Elemente und Ionisationsstufen vorkommen:

Li I, B II, O II bis O VI, Na I, Al I, Si I bis Si IV, K II, Ca II, Ba I und Ba II.

Sauerstoff

O I wird nicht beobachtet. Das Vorhandensein von O V ist nicht sicher, die einzige Linie, die man dem O V zuordnen kann, ist eine schwache Linie bei 5113 Å, die man aber auch dem O VI zuschreiben kann. Alle Linien der Ionisationsstufen O IV bis O VI sind lichtschwach und nur in Umgebung der Gefäßachse bis etwa zum halben Radius zu sehen. Auch die O III-Linien bei 5268 und 5592 Å haben ausgeprägte Intensitätsmaxima in der Gefäßmitte.

Andere Linien

Die Linien aller anderen vorkommenden Elemente sind im gesamten Gefäßbereich zu sehen.

⁺⁾ Abb. 1 - 5 zeigen Aufn. Nr. 3 v. 16. 11. 1961 (Druck $3 \cdot 10^{-2}$ Torr)
" 6 - 9 " " " " " " (" $2 \cdot 10^{-2}$ Torr)

Kontinuum

Die in der Mitte des Entladungsgefäßes beobachtete Kontinuumstrahlung erstreckt sich über den gesamten hier berichteten Spektralbereich. Die Kontinuumstrahlung tritt in einem zylindrischen Bereich von etwa 9 mm Durchmesser um die Gefäßachse auf. Der Gefäßdurchmesser beträgt ca. 4,4 cm.

B. 2) Zeitlich aufgelöste Spektren

Zur Untersuchung des zeitlichen Intensitätsverlaufs von Kontinuum und Linien wurde die Entladung über einen Drehspiegel mit einem kleinen Hilger-Prismen-Spektrographen aufgenommen.

Ein Gebiet aus der Mitte des Entladungsgefäßes wurde mittels einer Zwischenabbildung auf einen Spalt und dann über den Drehspiegel auf den Spektrographenspalt abgebildet. Zur Synchronisierung von Drehspiegel und Entladung wurde eine HBO-Lampe über den Drehspiegel auf einen Photomultiplier abgebildet, dessen Signal zur Auslösung der Entladung verwendet wurde (vgl. Abb. 12).

Zur genaueren Markierung der Belichtungszeit relativ zum Stromverlauf wurde das von der HBO-Lampe über den Drehspiegel kommende Licht mit 2 kleinen Spiegeln, die unterhalb und oberhalb des Spektrographenspaltes angebracht waren, auf einen zweiten Photomultiplier geworfen, dessen Signale als Zeitmarken auf dem Oscillographen aufgenommen wurden (vgl. Abb. 13).

Der Drehspiegel hatte einen Durchmesser von 2,5 cm und lief mit 420 Umdrehungen pro sec. Der Lichtweg betrug etwa 120 cm, der Spalt wurde daher in etwa 3 μ sec von dem Bild überstrichen. Die Ablesegenauigkeit beträgt ca. 0,1 μ sec. Als Eingangsapertur ergab sich $f/40$.

Zur Prüfung der Reproduzierbarkeit wurden unter gleichen Versuchsbedingungen zahlreiche Aufnahmen gemacht, von denen hier in Abb. 10a, 10b und 10c die Aufnahmen Nr. 534, 505 und 702 als Beispiele wiedergegeben sind.

Die Belichtungszeiten der Smearspektren auf Abb. 10a, 10b und 10c bedecken ungefähr die 2. Hälfte der 3. und die 1. Hälfte der 4. Stromhalbwelle des Stromes der Entladung. Die Zündung erfolgte bei diesen Entladungen zu Beginn der 3. Halbwelle.

Sauerstoff

Die Linien der verschiedenen Ionisationsstufen - und damit verschiedener Anregungsenergie - erscheinen zu verschiedenen Zeiten und erreichen zu verschiedenen Zeitpunkten ihre Intensitätsmaxima. Um dies zu verdeutlichen, sind in Abb. 11 die Anregungsenergien der oberen Terme einschliesslich der entsprechenden Ionisationsenergien der Sauerstofflinien gegen die Zeit ihres Auftretens aufgetragen. Die Linien und Zeiten sind der in Abb. 10a dargestellten Aufnahme entnommen.

Die folgenden Energien der oberen Linienniveaus wurden verwendet:

	Linie	Übergang 1	Energie (eV) [2]
O VI	5289/92	$7^2G, F^{\circ} - 8^2F^{\circ}, G, H$	130,0
O V	5114	$3^1S - 3^1P^{\circ}$	81,8
O IV	4783/98	$3p^4P - 3d^4D^{\circ}$	61,7
O III	5592	$3s^1P^{\circ} - 3p^1P$	36,0
	5268	$3p^1S - 3d^1P^{\circ}$	41,0
O II	4941/3	$3p^2P^{\circ} - 3d^2D$	29,0
	4414/6	$3s^2P - 3p^2D^{\circ}$	26,3

Aus Abb. 11 ist zu ersehen, dass die Maxima der Linien der verschiedenen Ionisationsstufen des Sauerstoffs in der 4. Stromhalbwelle in der zeitlichen Reihenfolge von O VI, O V, O IV, O III bis O II auftreten.

Die Abbildungen 10a, 10b und 10c zeigen, dass bis ca. 0,1 μ sec vor Beginn der Kontinuumsstrahlung fast kein Sauerstoff zu beobachten ist.

Kontinuum

Die Kontinuumstrahlung tritt während der 1. Hälfte der 4. Stromhalbwelle auf und dauert ca. 0,3 μ sec.

Andere Linien

Bei Abb. 10a ist NaD nur schwach in Absorption zu sehen, Si II fehlt ganz.

Bei Abb. 10b ist NaD während der gesamten Belichtungszeit zu sehen. Si II ist schwach zu erkennen.

Bei Abb. 10c sind ausser NaD auch zahlreiche Si-Linien während der ganzen Belichtungszeit zu sehen, z.B. Si II 5056 und Si III 4552. Bemerkenswert ist die starke Intensitätsabnahme von NaD vom Belichtungsbeginn bis zum Kontinuumsbeginn.

B 3) Linienbreiten ⁺⁾

a) bei den zeitintegrierten Spektren

Auf den Aufnahmen in Abb. 1 bis Abb. 9 werden beim Silizium und beim Sauerstoff Linienbreiten beobachtet, die ein Vielfaches der Spaltbreite betragen. Ausserdem zeigt auch die Linie des B II bei 6081 Å eine erhebliche Verbreiterung. Alle anderen betrachteten Linien des Li I, Na I, Al I, K II, Ca II und Ba II weisen die der Spaltbreite entsprechende Breite von etwa 0,4 Å auf.

Die Verbreiterung der erwähnten Linien des Siliziums und Sauerstoffs wurde mit Dopplerbreiten verglichen. Bei deren Abschätzung wurde für die Temperatur der Wert

$$T = \frac{P_n + P_{n+1}}{2} \cdot 11600 \text{ } ^\circ\text{K}$$

eingesetzt, wobei P_n die Ionisationsenergie in eV bedeutet.

Die Zusammenstellung der beobachteten Linienbreiten $\Delta\lambda$ und der Dopplerbreiten $\Delta\lambda_D$ in der folgenden Tabelle zeigt, dass

⁺⁾ Die Linienbreiten wurden mit einer Messlupe ungefähr bestimmt.

die letzteren nur $1/2$ bis weniger als $1/5$ der beobachteten Breiten ausmachen und ausserdem teilweise unterhalb der Spaltbreite liegen. Die Dopplerverbreiterung ist also nicht die alleinige Ursache der beobachteten Linienverbreiterung.

Linienbreiten in Achsennähe

	4072		
	4075		
O II	4414	0,9	0,5
	4416		
	4705		
	4924		
O III	5258	1,2	0,6
	5592		
O VI	5290	3,0	1,2
Si I	5708	0,9	0,2
	4198		
Si II	5056	1,6	0,3
	6347		
Si III	3799	1,0	0,4
	4567		
Si IV	4116	0,8	0,5
B II	6081	1,5	0,6

b) bei den zeitlich aufgelösten Spektren

Bei den zeitlich aufgelösten Spektren, die mit dem Prismenspektrographen aufgenommen wurden, entsprechen der Spaltbreite von $0,1$ mm ca. 3Å bei einer Wellenlänge von 4000Å , 8Å bei 5000Å und 20Å bei 6000Å .

Die auf den Abb. 10a, 10b und 10c über die Spaltbreite hinaus verbreitert erscheinenden Linien bestehen aus einer grösseren Zahl sich überlappender Linien, die wegen der relativ grossen Spaltbreite nicht einzeln sichtbar sind. Als Beispiel für die Überlappung sollen die Linien bei 4820 Å und 5290 Å erwähnt werden:

Wie aus Abb. 4 ersichtlich, besteht die Linie bei 4820 Å aus den Si III-Linien bei 4813, 3819 und 4828 Å sowie eventuell noch der K II-Linie bei 4829 Å

Die Linie bei 5290 Å ist auf Abb. 10b und 10c am unteren Rand der Abbildung - d. h. am Ende der Belichtungszeit - etwa 10 bis 15 Å breit, was der Spaltbreite entspricht. Zur Zeit der Kontinuumsstrahlung beträgt ihre Breite 30 bis 50 Å. Zu dieser Zeit stammt sie teilweise vom O VI, das nach 1 in dem betreffenden Bereich Linien bei 5279, 5289, 5292 und 5298 Å besitzt, ferner vom O III, dessen Linie bei 5268 Å zu einer späteren Zeit getrennt sichtbar wird. Als weitere Bestandteile kommen in Frage: Si II 5295, O IV 5305 sowie etwa 10 Å Al II-Linien und einige Ba- und Ca-Linien.

C 1) Referenzen

- (1) A Multiplet Table of Astrophysical Interest
By Charlotte E. Moore
U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards
Technical Note 36
November 1959

- (2) Atomic Energy Levels, By Charlotte E. Moore
U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards
Circular of the National Bureau of Standards, 467
June 1949

- (3) MIT Wavelength Tables
A Publication of The Technology Press
Massachusetts Institute of Technology
John Wiley and Sons, Inc., New York

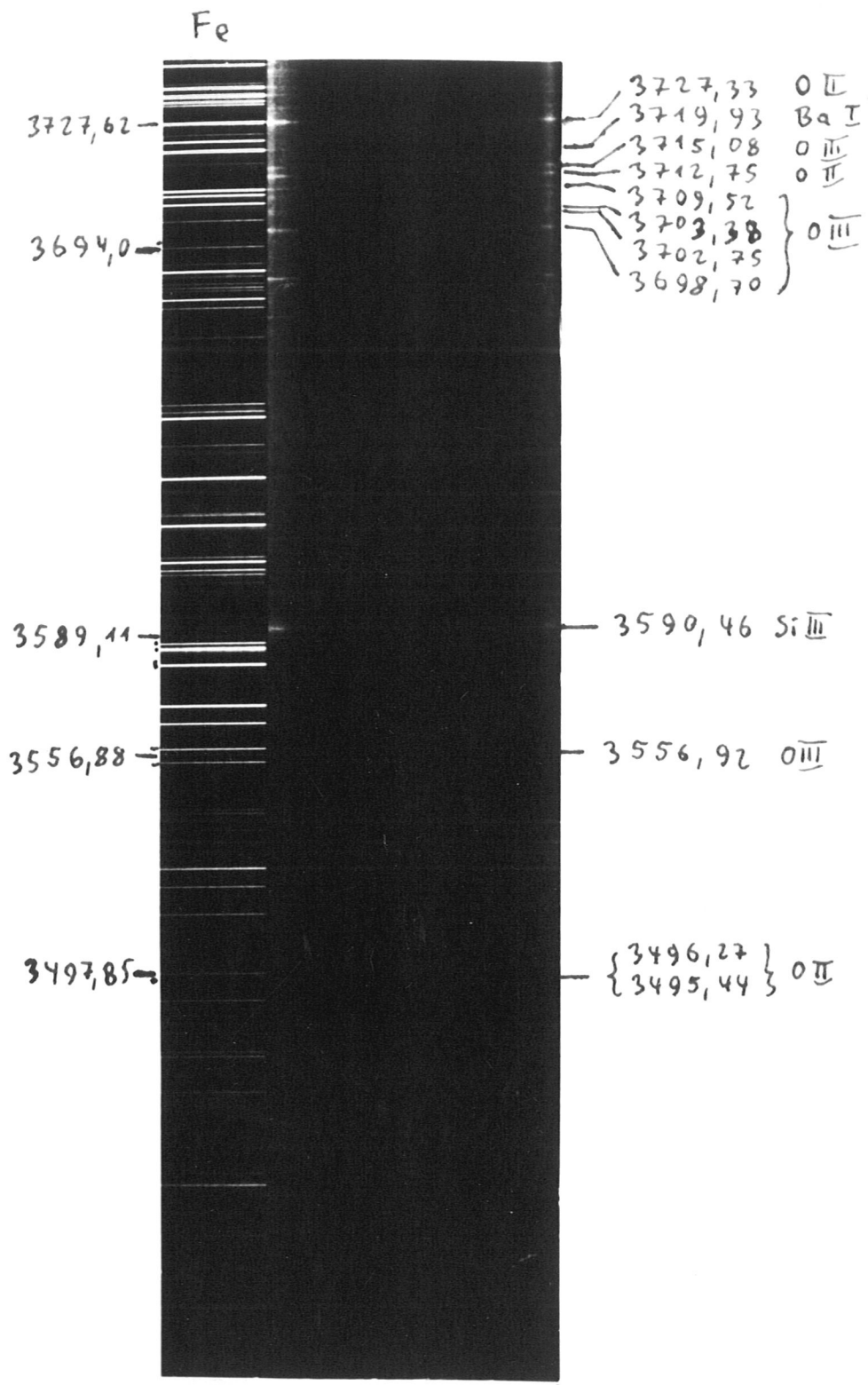


Abb 1 3400 - 3750 Å

Abb 1 - 9
Thetapinch - Spektren

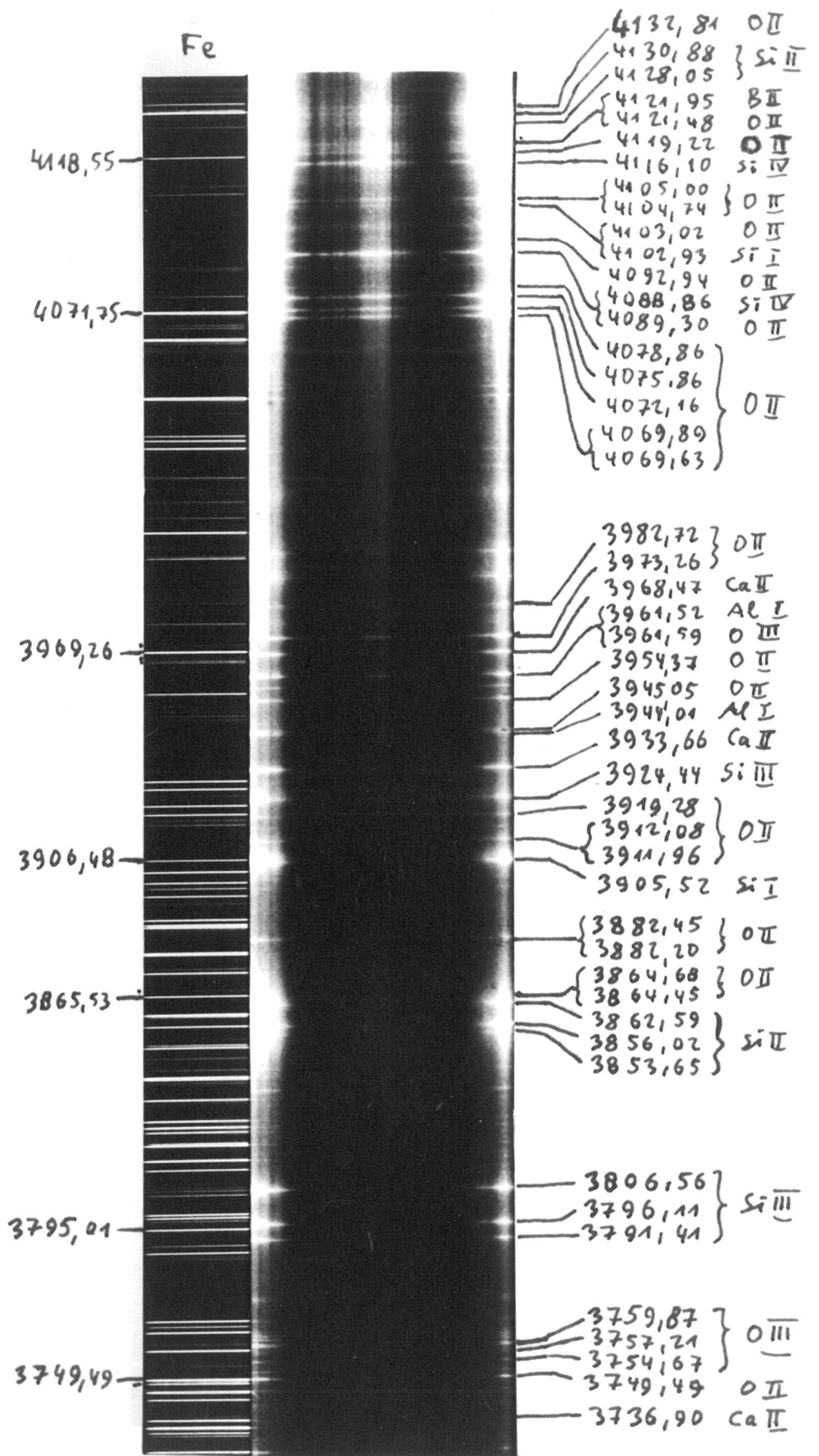


Abb 2 3730 - 4140 Å

Fe

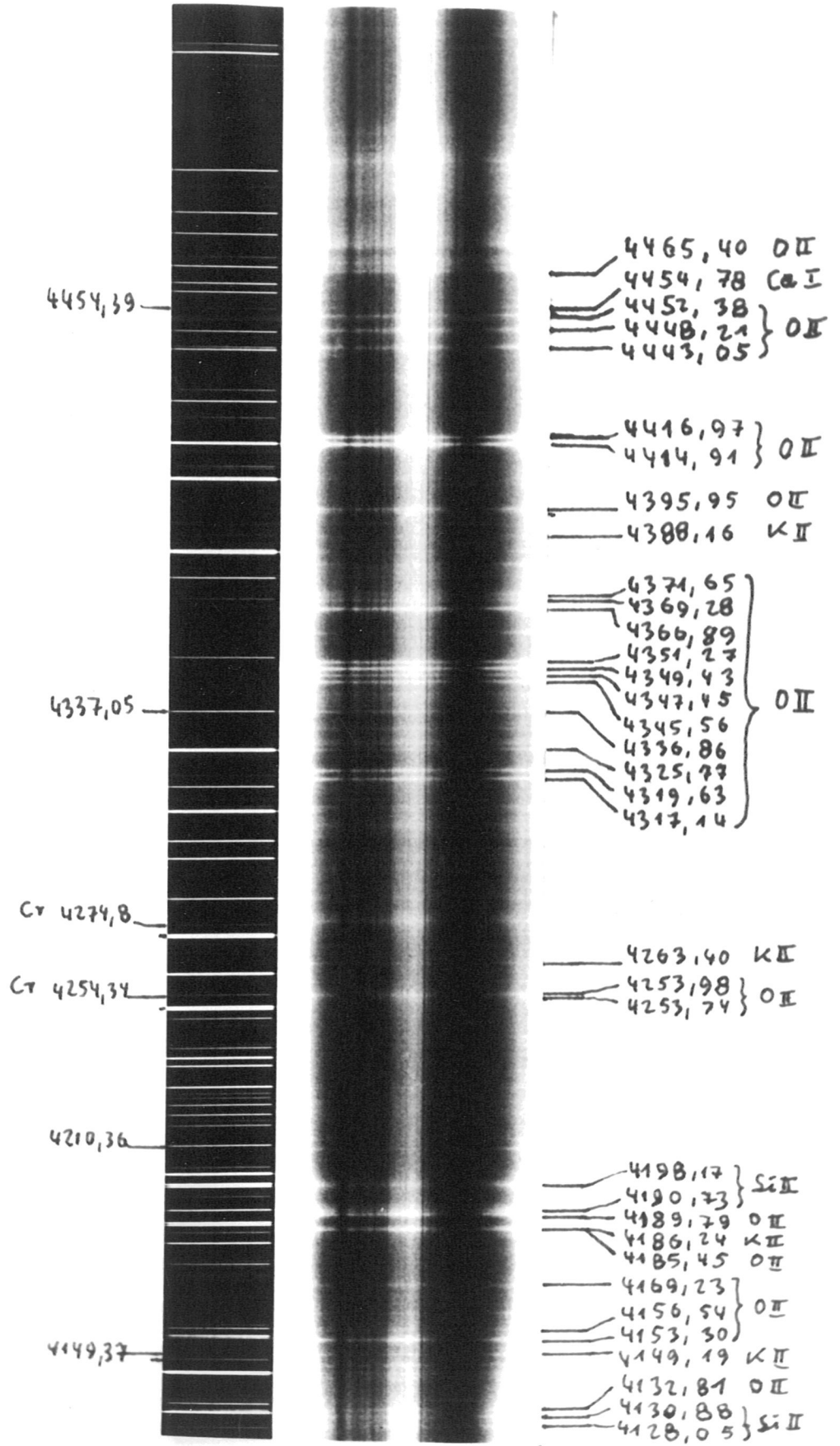


Abb 3 4120 - 4500 Å

Fe

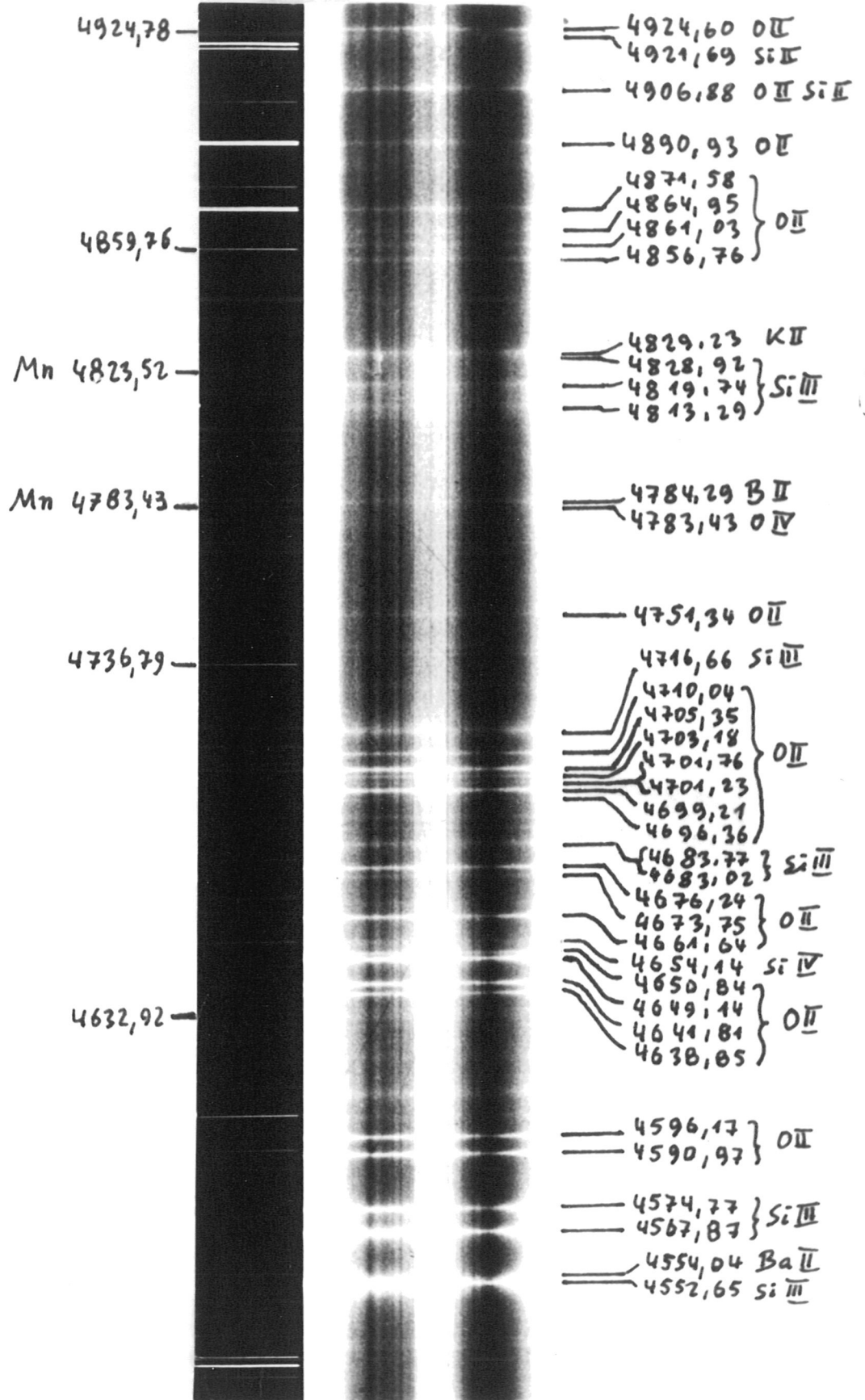


Abb 4

4520 - 4930 Å

Fe

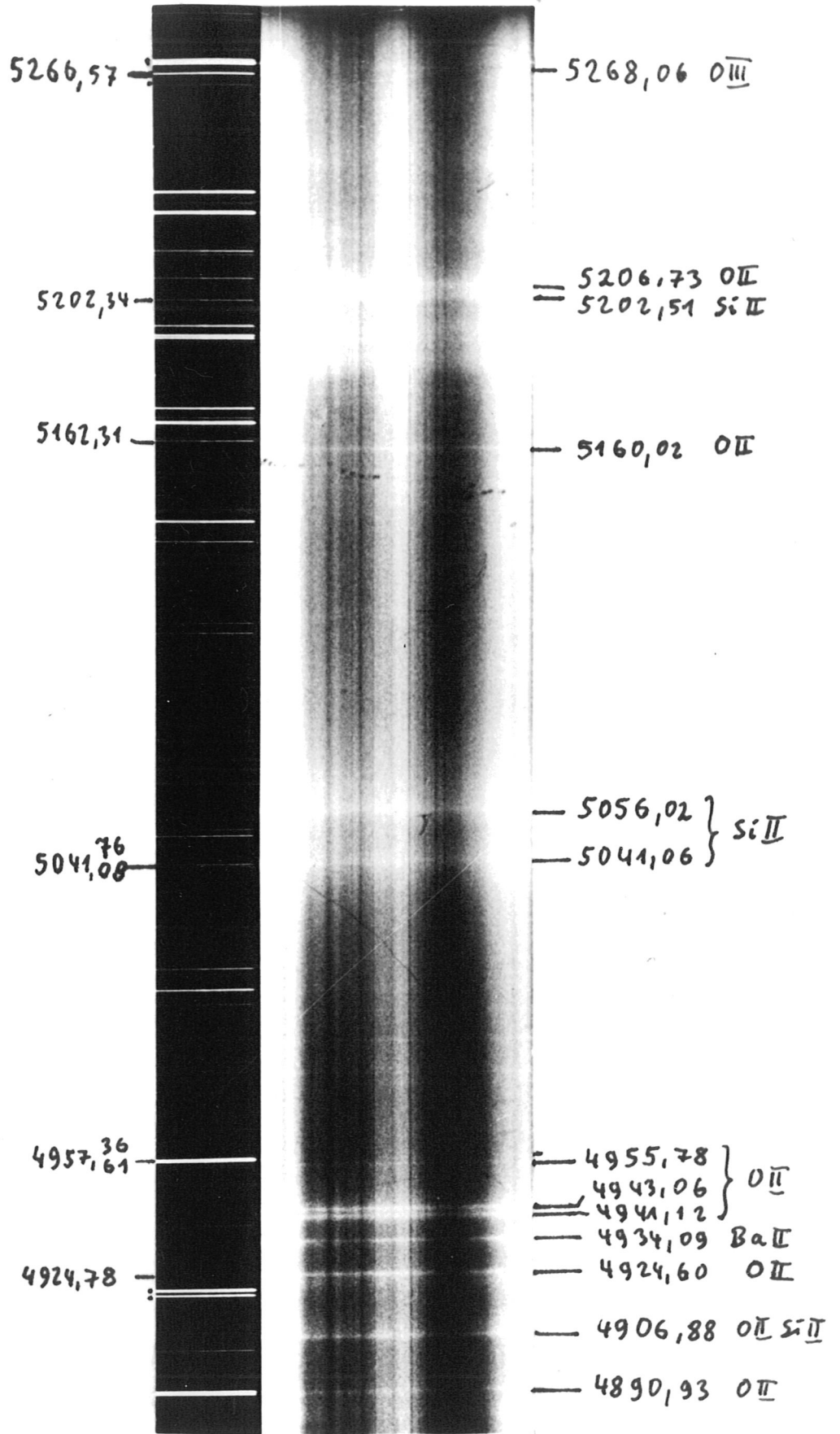


Abb. 5 4880 - 5280 Å

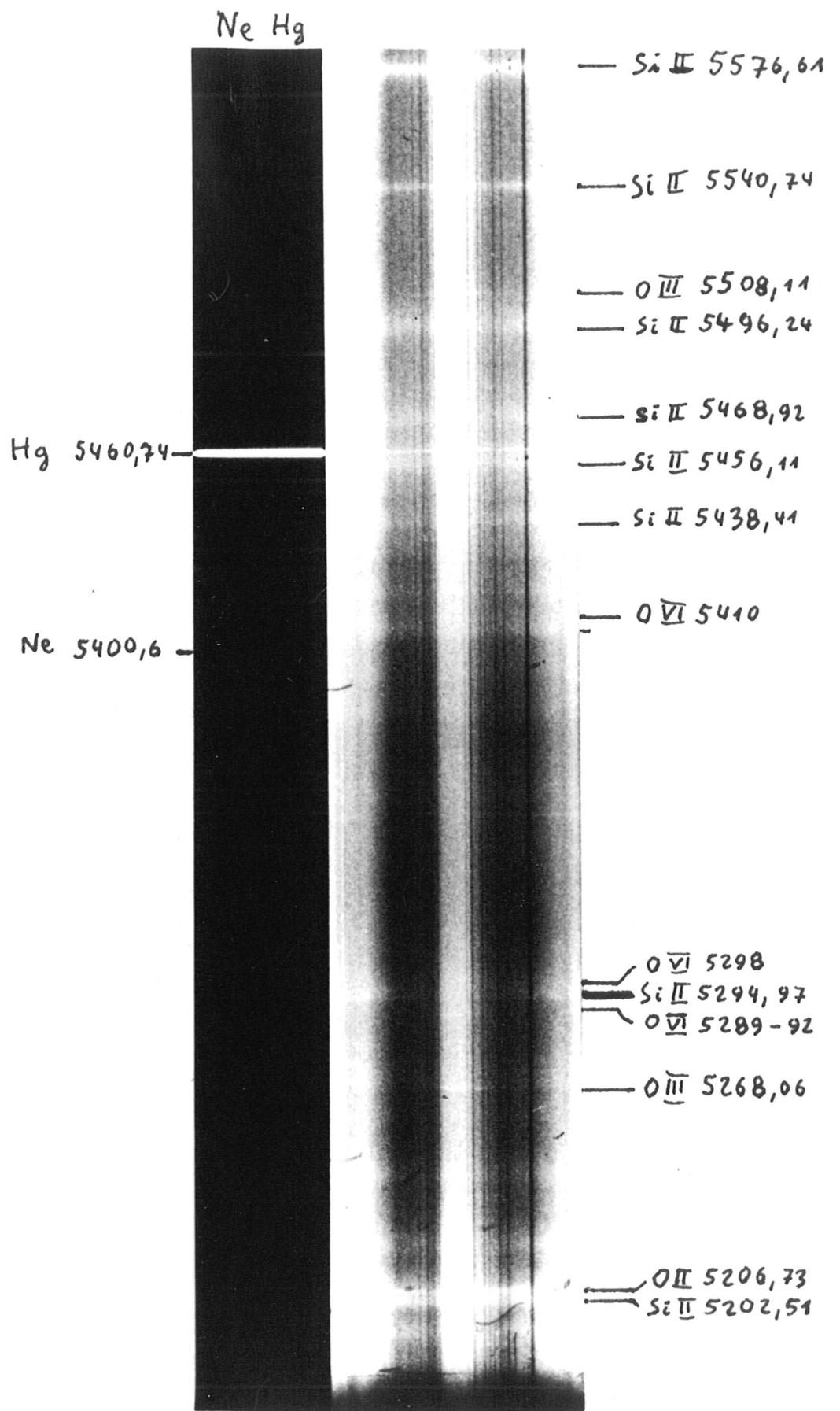


Abb 6 5200 - 5580 Å

Ne Hg

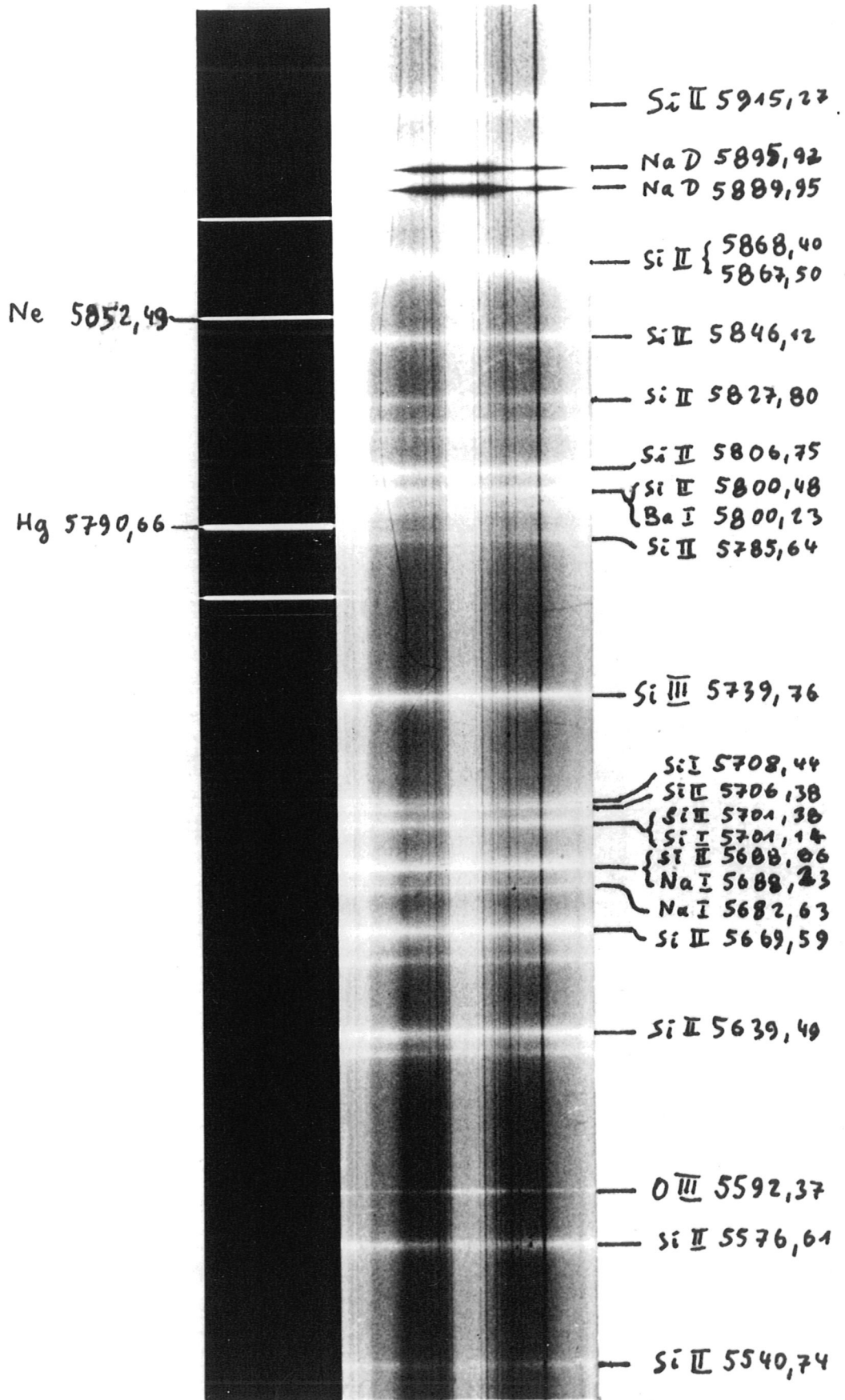


Abb 7 5540 - 5930 Å

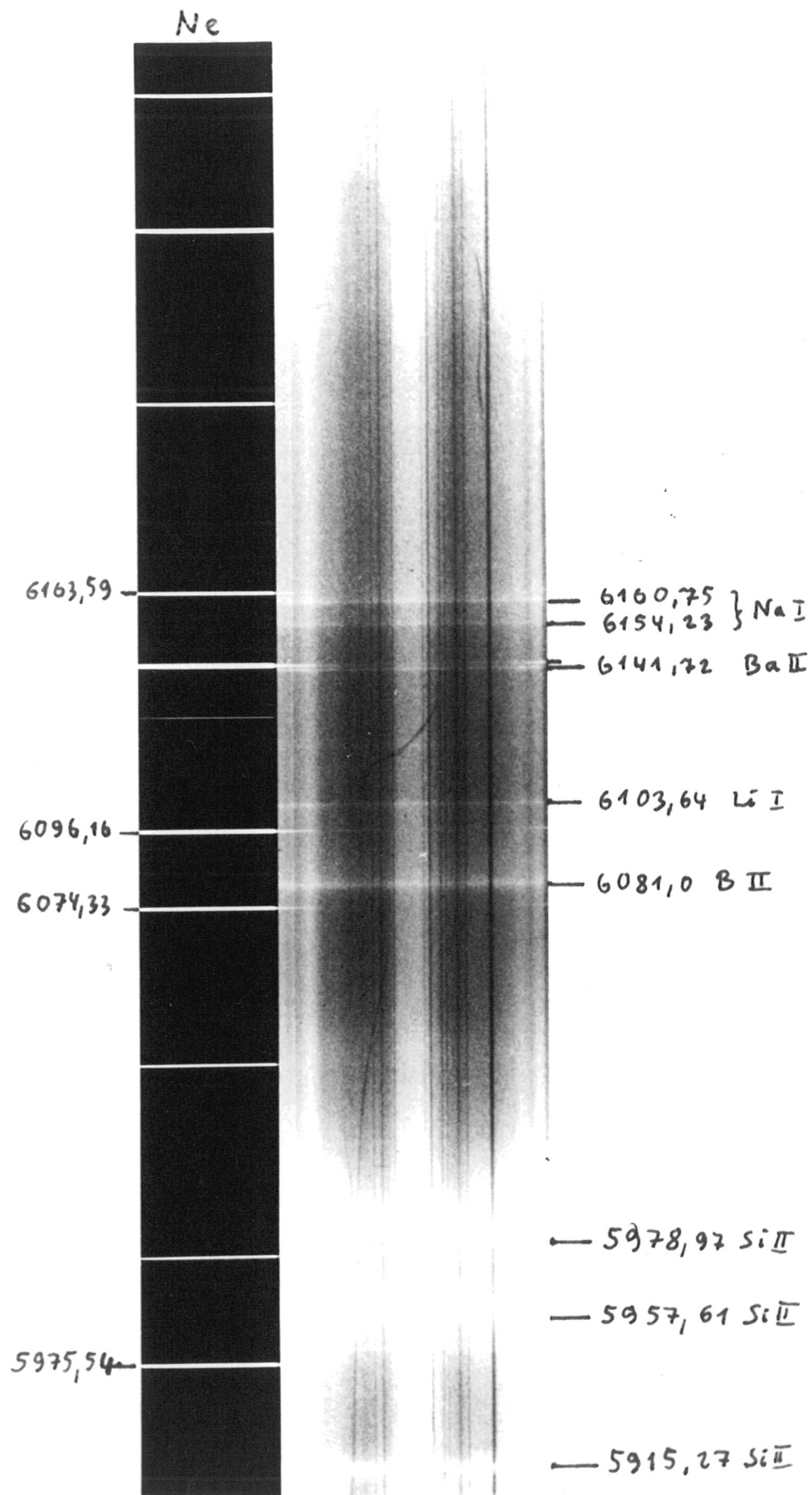


Abb 8 5910 - 6310 Å

Ne

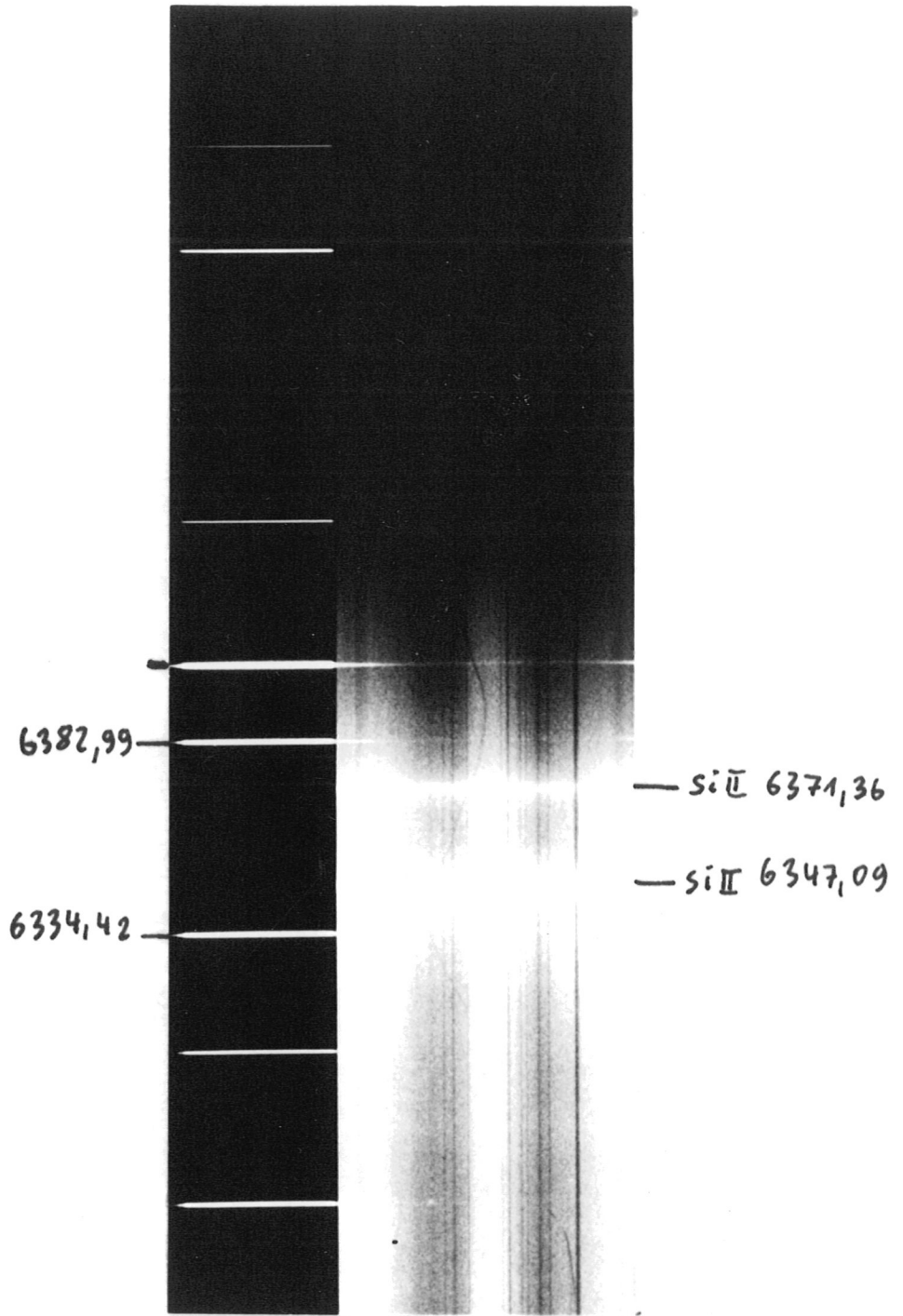
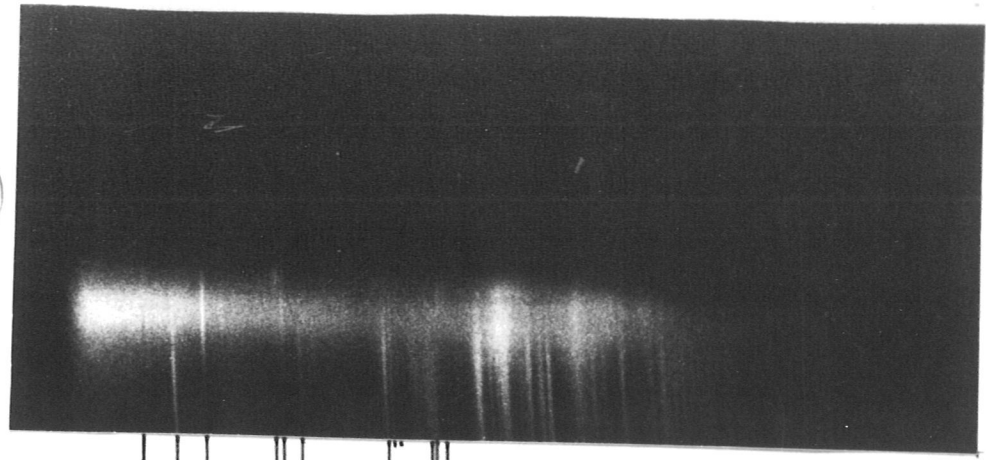


Abb 9 6250 - 6450 Å

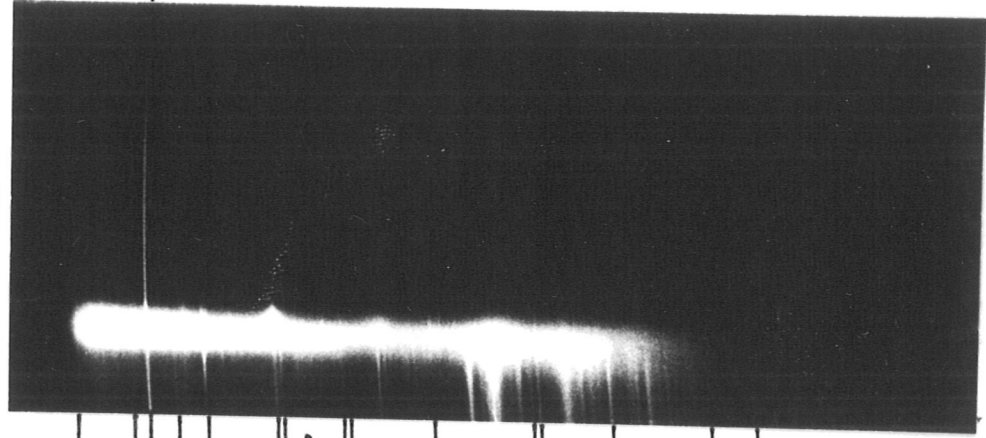
a)



2,7 μsec

NaD 5890/96
 Si III 5739
 O III 5592
 O VI 5289-92
 O III 5268
 O II 5206
 O II 4941/43
 Si III 4813/28
 O IV 4783/98

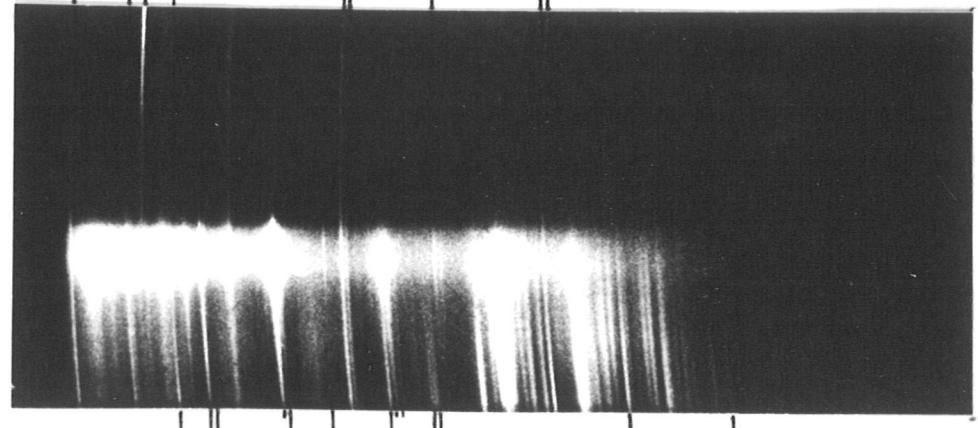
b)



2,9 μsec

Si II 6347/74
 Si II 5957/78
 NaD 5890/96
 Si III 5739
 O III 5592
 O III 5268
 Si II 5041/56
 O IV 4783/98
 Si III 4552/74
 O II 4444/16
 O II 4253
 O II 4285/89

c)



2,7 μsec

Si III 5739
 O III 5592
 O V 5573
 O III 5268
 O V 5114
 O II 4941/43
 O V 4940
 Si III 4813/28
 O II 4444/16
 O II 4253

Abb 10a-c Thetapinch - Smearspektren

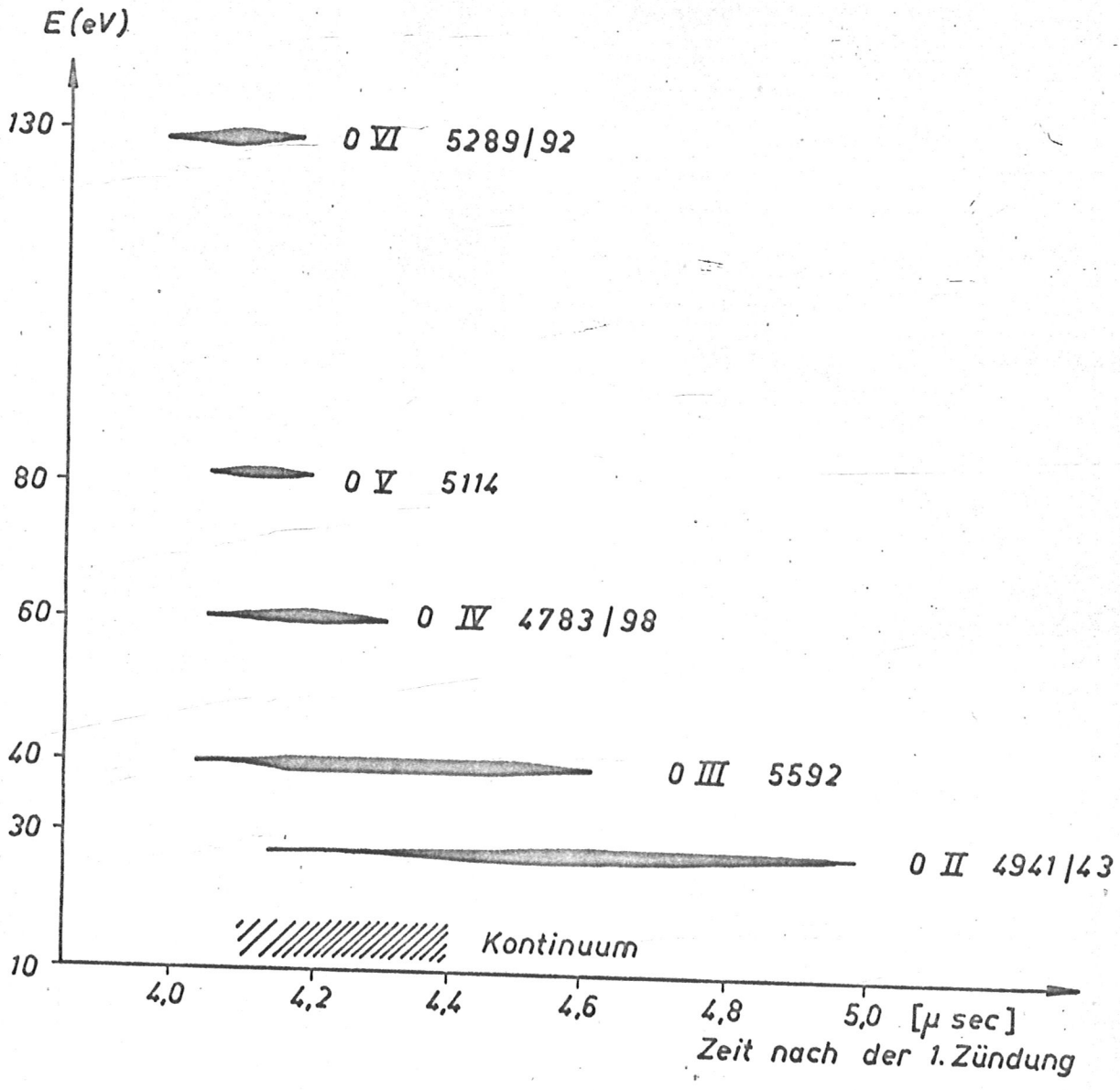
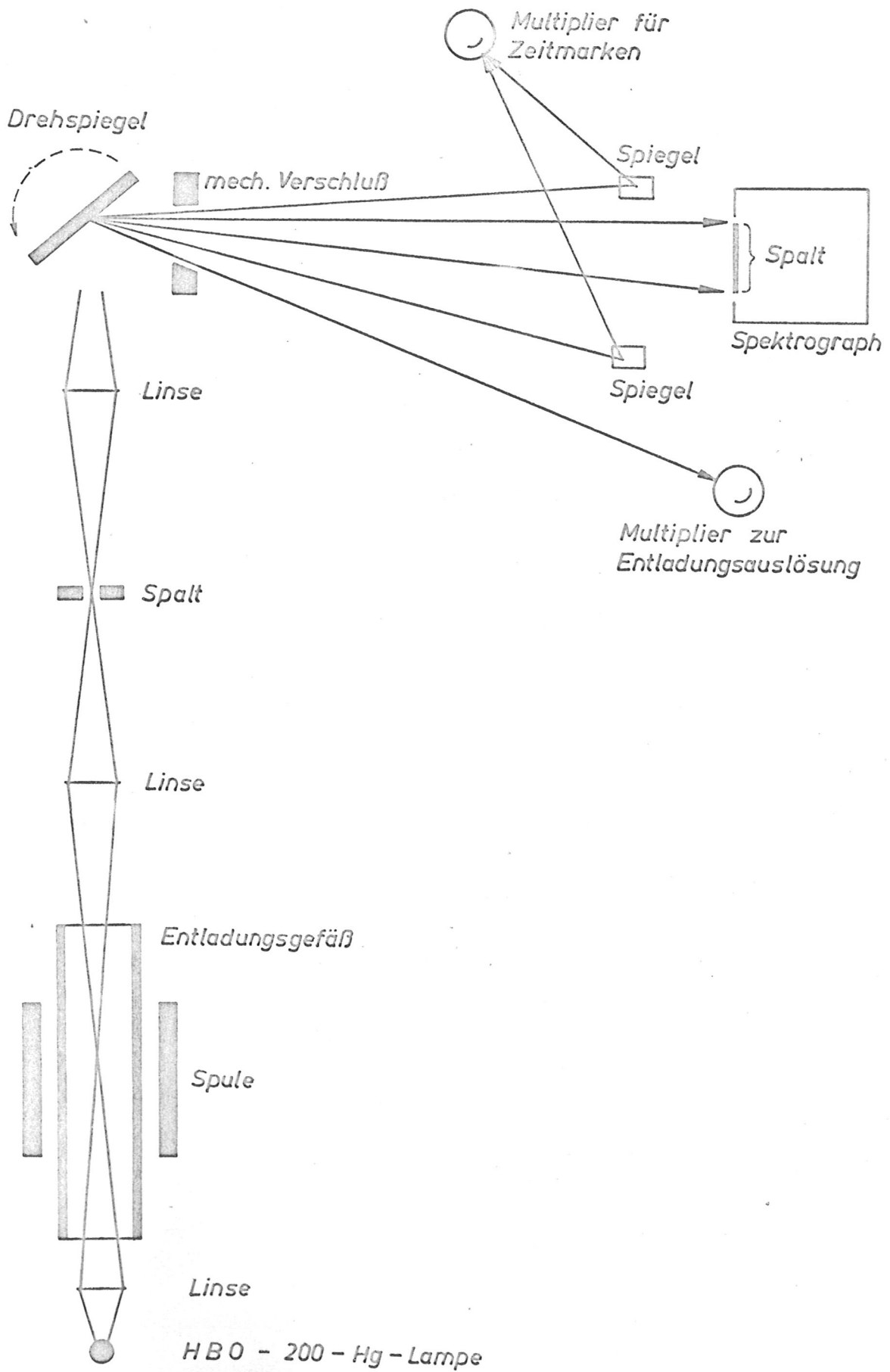
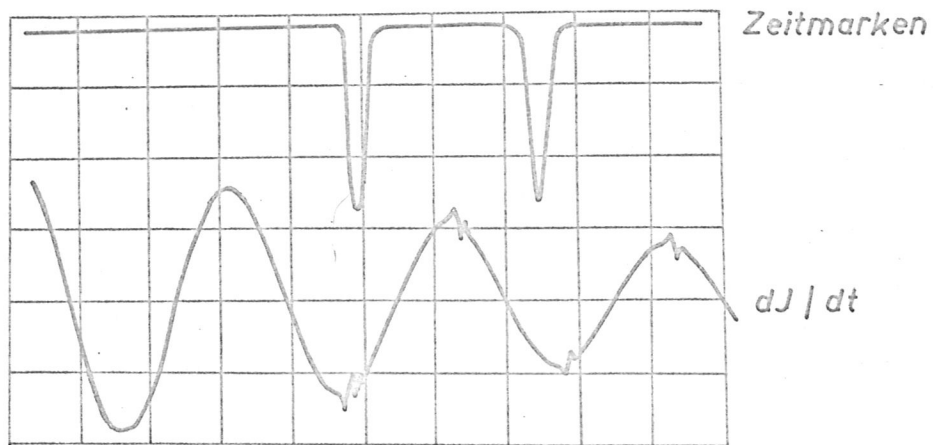


Abb. 11 Zeitliches Auftreten einiger O-Linien und des Kontinuums in Abb. 10a



Schema der optischen Anordnung



Aufnahme 727

$2 \mu\text{sec} / \text{Sk.}$

Abb. 13

Zeitzuordnung der Smearspektren
zum Stromverlauf