Über die kurzen Bahnspuren in photographischen Schichten

Mit einem Anhang:

Tiefenmessung in der photographischen Schicht nach einem Vorschlag von Otto Heimstedt

Von

Hertha Wambacher und Anton Widhalm

(Vorgelegt in der Sitzung am 16. Dezember 1943)

Schon bei den ersten Beobachtungen von Höhenstrahlbahnspuren in der photographischen Emulsion¹ wurden zahlreiche kurze Einzelbahnspuren und Sterne mit maximal 5 kurzen Bahnspuren mit einer Reichweite ungefähr bis zu derjenigen der α -Strahlen von ThC' gefunden. Sie treten auf allen Versuchsplatten in be-deutend größerer Zahl auf als die Sterne mit längeren Bahnspuren. Daher wurden nur solche Sterne bis zu 5 Bahnen als Höhenstrahlzertrümmerungssterne registriert, die mindestens eine Bahnspur mit einer größeren Reichweite als ThC' aufweisen. Da aber die Möglichkeit und nach den theoretischen Überlegungen von E. Bagge² sogar die Wahrscheinlichkeit besteht, daß auch energie- und teilchenärmere Zertrümmerungssterne vorkommen, wurden die Sterne mit kurzen Bahnspuren im folgenden näher untersucht.

Zunächst sollen die ständig verwendeten Abkürzungen erklärt werden:

(Verseuchung) Einzelbahnspuren bzw. Sterne mit Einzelbahnspuren bis zu einer Reichweite, die ungefähr ThC'- a-Str. entspricht.

0 Gl

v

an der Oberfläche endigende Bahnspuren.

am Glas bzw. an der Schichtunterlage endigende Bahnspuren.

¹ Z. B. L. H. Rumbungh. u. G. L. Locher Ph. Rev. 49, 885, 889, 1936; M. Blau und H. Wambacher, Sitzungsber, d. Akad. d. Wiss. in Wien, Mitt. d. Inst. f. Ra-Forschung, Nr. 404, 469, 1937. ² E. Bagge, Ann. d. Phys., 39, 511, 1941.

SS (Schicht — Schicht) innerhalb der Schicht beginnende und endigende, vollständige Bahnspuren.

S-Sterne Sterne, deren Zentrum mindestens 10–12 µ von der Oberfläche bzw. der Glasseite entfernt liegt, so daß man den Stern bezüglich seiner Bahnzahl als vollständig ansehen kann.

I. Ausbeute pro Tag und Quadratzentimeter.

Tabelle I gibt eine Übersicht über alle untersuchten Emulsionen, ihre Schichtdicke, das Datum ihres Eintreffens in Wien bzw. ihrer Absendung aus Wolfen bzw. ihres Gußes, ferner die Dauer und den Ort ihrer Exposition — die Seehöhe beträgt für Wien 200 m, Seefeld 1000 m, Hafelekar 2300 m, Glockner 3465 m -, die Größe der ausgezählten Fläche, die Zahl der Einzelbahnspuren (Gesamtzahl, O-, Gl- und SS-Bahnspuren), Zahl der Einzelbahnspuren pro Tag und Quadratzentimeter, ferner Zahl der Sterne mit höchstens 5 Bahnspuren (V-Sterne), ihre Gesamtzahl, Zahl der S-Sterne, die Zahl aller Sterne pro Tag und Quadratzentimeter, die Zahl der S-Sterne pro Tag und Quadratzentimeter und schließlich die Zahl der einzelnen langen Bahnspuren, Absolutzahl, Zahl pro Tag und Quadratzentimeter und die Zahl der Höhenstrahlsterne pro Tag und Quadratzentimeter. Die auf 65 µ. Schichtdicke umgerechneten Ausbeuten pro Tag und Quadratzentimeter sind unter 🗌 angeführt.

An Emulsionen wurden verwendet: hauptsächlich die zum Protonennachweis vorzüglich geeignete Agfa-K-Platte, verschiedene Emulsionsnummern und Schichtdicken, mit und ohne Glasunterlage;¹ ferner bei früheren Versuchen die Neuen Halbtonplatten von Ilford.

Spalte 7 bzw. Spalte 9 und 10, die Ausbeuten an Einzelbahnspuren bzw. an Sternen, zeigen sehr verschiedene Werte: Wahrscheinlich treten auf jeden Fall starke Schwankungen auf, da ja die Verseuchung nicht gleichmäßig verteilt zu sein braucht; für die ungleichmäßige Verteilung sprechen auch die Kurven Fig. 2 (siehe unten).

Immerhin kann man wohl folgendes aus den Werten der Tabelle 1 entnehmen:

Haut K-Emulsion ohne Glasunterlage.

Wir danken Herrn Prof. Eggert auch an dieser Stelle sehr für die Herstellung und Überlassung der Spezialemulsionen.

1. Der Vergleich der Ausbeuten Zeile 6, 7, 8 (Sterne) bzw. 11 und 12 (Sterne und Einzelbahnspuren) bzw. 15 und 16 (Einzelbahnspuren) zeigt, daß die Zahl der kurzen Bahnspuren und V-Sterne mit der Seehöhe des Expositionsortes mindestens nicht wesentlich ansteigt, daß es sich also mindestens zum weitaus größten Teil nicht um einen Höhenstrahleffekt handeln kann. Dafür spricht auch die Fig. 2.

2. Die Ausbeute an V-Sternen ist in der Emulsion auf Glas ungefähr gleich groß wie in der Haut, die Ausbeuten an Einzelbahnspuren, die im allgemeinen noch größere Unterschiede zeigen,



sind auf den meisten Glasplatten und in der Haut von derselben Größenordnung. Die Schwankungen hängen vielleicht teilweise mit der verschieden günstigen Beobachtbarkeit der kürzeren Bahnspuren auf verschieden stark geschleierten Emulsionen zusammen. Jedenfalls stammt mindestens der größte Teil der Verseuchung nicht aus dem Glas, wie man zunächst wohl denken könnte, da der radioaktive Gehalt von Gläsern bekannt ist, Allerdings sind auch am Glas und im Glas zahlreiche Sterne vorhanden. Fig. 1 zeigt die Tiefenlage der Sternzentren in der K-Schicht auf Glas bzw. in der Haut; oberhalb der Abszissenbezeichnung "im Glas" sind die Sterne eingetragen, deren Bahnen auf irgendeinen im Glas gelegenen Punkt hinweisen.

3. Es scheint, daß die Ausbeute pro Tag an Einzelbahnspuren und an Sternen im allgemeinen zu Beginn der Lebenszeit der Platte größer als nach längerer Expositionszeit ist, siehe Fig. 2, doch fallen einige Werte aus dieser Regel heraus. Diese Untersuchungen sind aber nicht systematisch genug, und das ausgezählte Material ist zu gering, um diese Frage endgültig zu entscheiden. Die länger exponierten Platten zeigten einen größeren Schleier und undeutlichere a-Bahnen, wobei vielleicht Rückgangserscheinungen des latenten Bildes von a-Strahlen eine Rolle



die nicht weiter bezeichneten Em. wurden in Wien exponiert

spielen könnten. Es wäre daher nötig, derartige Platten so aufzubewahren, daß der Rückgang gering bleibt, z. B. im Vakuum oder bei sehr tiefen Temperaturen oder in Stickstoffatmosphäre.¹

176

¹ J. Lauda, Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. in Wien, Mitt. d. Inst. f. Ra-Forschung, 145, 1, 1936, Nr. 390.

Zu Spalte 12 und 13 ist zu bemerken, daß für die Ausbeuten an langen, durch Höhenstrahlung hervorgerufenen Bahnspuren auf den in Wien exponierten Schichten die Absolutzahlen nur sehr gering und die Angaben der Ausbeuten infolgedessen sehr unsicher sind. Das Verhältnis der Ausbeuten in den Höhen 2300 m zu 200 m ist für frühere Versuche¹ 17,5 für Zeile 6 und 8 ungefähr 15, also ungefähr gleich. Der Wert für die Zeile 10 ist unsicher, da sich diese Platte eine Zeitlang gleichzeitig mit einer Neutronenquelle im II. Physikalischen Institut befand und daher durch Neutronen in der Schicht ausgelöste Protonen möglich sind.

II.

Es fragt sich nun, welchen radioaktiven Substanzen die V-Sterne und die V-Einzelbahnspuren etwa zugeschrieben werden könnten. Zur Entscheidung dieser Frage haben wir an Beobachtungsgrößen a) die Teilchenzahl pro Stern, b) die Länge der Sternbahnspuren und der Einzelbahnspuren zur Verfügung.

Von den bekannten radioaktiven Substanzen kommen für die Sterne in erster Linie RaEm und Folgeprodukte und ThX und Folgeprodukte in Betracht.

Âus den Zerfallszeiten der Folgeprodukte (siehe Tabelle b zu Fig. 3: Reichweiten der radioaktiven Substanzen) läßt sich schließen, daß wir bei den 3er-Sternen α -Bahnspuren von Em, Ra und RaC' und bei den 5er-Sternen ThX, RdTh, ThEm, ThA und ThC' zu erwarten haben. 4er-Sterne sind in kleiner Anzahl ebenfalls zu erwarten, falls die Reihe statt mit Em schon mit Ra beginnt oder wenn nach längerer Lagerzeit der Platte zu dem 3er-Stern von Em, RaA und RaC' noch ein Po-Atom hinzutritt. Dagegen sind praktisch keine 2er-Sterne zu erwarten (ausgenommen die sicher sehr seltenen Fälle, in denen ein 3er-Stern oder 5er-Stern im Moment des Aufhörens der Entwicklung gerade in seiner Bildung unterbrochen wurde).

Bei der Betrachtung der Längen der SS-Bahnspuren, welche mit den α -Reichweiten der betreffenden radioaktiven Substanzen zu vergleichen sind, ist bei 5er-Sternen auch die Möglichkeit des dualen Zerfalles über ThC oder C' zu berücksichtigen; beim Zerfall in der Ra-Reihe ist dies nicht notwendig, da der Zerfall über RaC' bedeutend häufiger auftritt.

Für die Länge der SS-Einzelbahnspuren kommen wohl in erster Linie die 2-Reichweiten von U und Ra in Frage.

A. Widhalm, Z. f. Ph. 115, 481, 1940.

a) Teilchenzahl pro Stern.

In Fig. 2 sind zunächst die Sternzahlen in Abhängigkeit von ihrer Teilchenzahl für verschiedene Versuche eingezeichnet. Bei jeder Figur steht die Zahl der beobachteten Sterne — es sind nur vollständige Sterne berücksichtigt —, die Emulsionsnummer und die Expositionszeit angeschrieben, wonach man in Tabelle I die näheren Versuchsbedingungen nachschauen kann.

Wir haben im allgemeinen die größte Zahl an 3er-Sternen; eine Ausnahme bilden die Haut Nr. 6140, 203^d Tage, bei der die 4er-Sterne, und die Ilfordplatte 90^d Tage, bei der die 5er-Sterne überwiegen.

Die Zahl der vollständigen 2er-Sterne ist im allgemeinen gering und ein Teil der 2er-Sterne ist unsicher (z. B. geknickte Bahnspuren, eine Bahnspur sehr kurz usw.).

Bei vielen 3er-Sternen liegt noch eine vierte Bahnspur in nächster Nähe des Zentrums. Siehe Tabelle II, welche nur S-Sterne berücksichtigt. (Der große Anteil der 2er-Sterne in der Haut kann bei der geringen Sternzahl leicht den statistischen Schwankungen zuzuschreiben sein.)

Ein Teil der 4er-Sterne in der Haut Nr. 6140, 203^d ist unsicher, weil die vierte Bahnspur nicht genau im Zentrum endigt, auch die Richtung auf das Zentrum zu nicht ganz stimmt, so daß es sich ebensogut um 3er-Sterne mit einer vierten Bahn in der Nähe handeln kann. Wenn wir annehmen, daß die 3er-Sterne von RaEm, A und C' herrühren, so könnte man nach einer längeren Expositionszeit, von mindestens zirka 2 Jahren, ein Anwachsen der Zahl der 4er-Sterne durch das Hinzutreten der Po-c-Bahn erwarten; in den vorliegenden Versuchen zeigt sich keine derartige Verschiebung in der Verteilung der Teilchenzahl, da die Expositionszeit ja längstens 469^d betrug.

Unter mehr als 1000 Sternen fanden sich 3, bei welchen vielleicht eine Andeutung einer sechsten, sehr kurzen Bahnspur vorhanden ist; doch handelt es sich höchstwahrscheinlich um eine zufällige Gruppierung von 3 bis 4 Körnern. Es sei auch darauf hingewiesen, daß ein Teil der 4er-Sterne vielleicht doch noch 5er-Sterne sind, da die fünfte Bahnspur, besonders bei starkem Tiefgang, verhältnismäßig leicht übersehen werden kann.

b) Längen der Bahnspuren.

Die Bestimmung der Reichweiten ist natürlich das nächst-Gegende Mittel für die Zuordnung zu bestimmten radioaktiven Substanzen; doch kommen durch die Ungenauigkeit der Messung des Tiefganges der Bahnspuren und bei kurzen Bahnspuren durch die geringe Kornzahl und die damit verbundenen Schwankungen so große Fehler in die Längenmessung, daß die Zuordnung der Reichweite im Einzelfall nur manchmal möglich ist.

Um die Bahnspurenlänge zu bestimmen, braucht man die im Okularraster gemessene Horizontalprojektion, den durch Verstellung der Tiefenschraube gemessenen scheinbaren Tiefgang des Endes der Bahn und den Brechungsindex der Schicht. Dieser wurde nach der für planparallele Platten geeigneten Methode bestimmt. Von Schichtstücken, die vom Glas losgelöst wurden, wurde nach erfolgter Entwicklung und Trocknung ein ebenes Stück herausgeschnitten und von diesem mittels einer Mikrometerschraube die Dicke d gemessen. Unter dem Mikroskop konnte die scheinbare Schichtdicke d-h ermittelt werden, was durch genaue Einstellung der Tiefenschraube auf die in der Schicht vorhandenen Ag-Körner gut möglich war. Außerdem wurde an der gleichen Stelle die durch die brechende Kraft der Schicht bewirkte Hebung einer Punktfolge, die in einer darunterliegenden Platte verlief, festgestellt. Aus jeder der beiden Messungen kann nach $h = \frac{d}{d-h}$ der Brechungsindex berechnet werden. Die Bestimmung nach beiden Methoden war von Vorteil, da sich eine ungenaue Bestimmung der Schichtdicke mit der Mikrometerschraube in der Verschiedenheit der ermittelten Brechungsindizes

ein 1,6 erhalten. Infolge der beschränkten Meßgenauigkeit ergaben sich Werte von 1,6 \pm 0,04.

Wir versuchten den Wert auf folgende Weise nachzuprüfen: Es wurden α -Teilchen von ThC unter einem bestimmten Winkel schräg auf die photographische Platte einfallen gelassen. Aus der Projektion der Punktfolge, die mit dem Okularraster gemessen wird und aus dem bekannten Einfallswinkel läßt sich der Tiefgang des Reichsweitenendes berechnen. Bei geringerem Tiefgang läßt sich dazu eine sehr genaue von H e im st e d t vorgeschlagene Methode verwenden.

zeigt. Als Brechungsindex für die neuen Halbtonplatten wurde

Bei diesen Messungen sowie bei der Tiefenmessung mittels der Tiefenschraube ergaben sich stets Werte, die um zirka 20% größer waren als der Wert des wahren Brechungsindex. Dieser Unterschied kann nur durch eine Schichtverdünnung hervorgerufen werden. Der aus der Projektion der Punktfolge und dem Einfallswinkel berechnete Tiefgang entspricht nach dem Entwicklungsvorgang nicht mehr dem ursprünglichen Tiefgang. Das Dünnerwerden der Schicht konnte mit einer genauen Mikrometerschraube gemessen werden. Die Schichtdicke der verwendeten Emulsion beträgt vor dem Entwicklungsvorgang 110 bis 125 μ und nachher um 20–25 μ weniger. Die festgestellte Schichtverdünnung (18–20%), die hauptsächlich durch das Herauslösen des AgBr bewirkt wird, erhöht die Korndichte von Teilchenspuren, die senkrecht die Schicht durchsetzen.

Bei den folgenden Versuchen stand keine so genaue Tiefenschraube zur Messung des Tiefganges zur Verfügung wie bei den eben beschriebenen Eichversuchen, und daher haben wir mit einem größeren Fehler in den Reichweitenangaben zu rechnen.

In Fig. 3 *a* und *b* sind alle in der Schicht endigenden Bahnspuren von 29 5er- bzw. 16 3er-Sternen zusammengezogen; die ausgezogenen Vertikalen bedeuten die Reichweiten der Ra-Zerfallsreihe, die gestrichelten der Th-Reihe. Die Tabelle zu Fig. 3 gibt die Zahlenwerte der Längen der Sternbahnspuren. Vgl. Tabelle b zu Fig. 3. Die Ac-Zerfallsreihe scheint weniger in Frage zu kommen. Aus Fig. 3 *a* kann man schließen, daß die 5er-Sterne zum größten Teil dem Th-Zerfall des RdTh, ThEm, ThA, ThC' und ThX zuzuschreiben sind. Für den Zerfall über ThC statt C' fehlen zwar deutliche Beispiele, doch gibt es einige Fälle, für die man, bei Berücksichtigung der großen Fehler, diesen Zerfall für möglich halten kann. Allerdings wird das erwartungsgemäße Verteilungsverhältnis 65:35 nicht erreicht, doch ist damit bei der geringen Zahl der beobachteten Sterne nicht unbedingt zu rechnen.

Fig. 3 c zeigt die Länge der Bahnspuren von Em-Sternen auf Platten, welche in RaEm-haltigem Wasser gebadet worden waren.¹

Die 3er-Sterne möchten wir nach Fig. 3 b und c hauptsächlich den Substanzen RaEm, RaA und RaC' zuschreiben; die, wie oben erwähnt, vielfach in der Nähe befindliche vierte Spur könnte von Ra oder Po stammen; gegen das letztere spricht allerdings etwas das geringe. Alter der meisten Platten. Die mittlere Reichweite dieser vierten Bahnspur, gemittelt aus 10 Werten von SS-Bahnspuren, gibt zwar genau 3,6 cm, die Po-Reichweite, doch sind die Fehlergrenzen so groß, daß auch Radium durchaus möglich ist. Die Emanation kann vom Ra wegdiffundiert sein. Diffusionsversuche mit Emanation bzw. Ra-Salzlösungen zur Aufklärung dieser Frage sind im Gange. Sie sollen auch zeigen, ob 3er-Sterne mit einer Po- α -Bahn in der Nähe, also mit wegdiffundiertem Po-Atom vorkommen.

¹ Wir danken dem Institut für Ra-Forschung für die Herstellung und Überlassung der Em-haltigen Lösung.

Die 4er-S-Sterne sind im allgemeinen zu wenig zahlreich, um eine für die Zuordnung der Reichweite genügende Statistik auf-



zustellen. Die etwas zahlreicheren Sterne der Haut Nr. 6140 lassen jedenfalls die Deutung zu, daß es sich um die Gruppe Em, RaA, C' und Ra oder Po handelt.

Die Zahl der 2er-S-Sterne ist noch geringer, viele sind nicht mit Sicherheit festzustellen, z. B. wenn die beiden Bahnspuren nicht ganz zusammenstoßen oder wenn eine Bahnspur sehr kurz oder der Winkel zwischen den beiden Bahnspuren ziemlich nahe an 180° liegt. In Fig. 2 sind teilweise auch unsichere 2er-Sterne



Bahnspuren von 5 3er-Sternen, die nur aus SS-Bahnspuren bestehen. vierte, in der Nähe der 3er-Sterne beobachtete Bahnspuren.

mitaufgenommen (keine unsicheren 3er-, 4er- und 5er-Sterne), die Ordinaten geben also einen Maximalwert für die Ausbeute an 2er-Sternen. Bei den stärker geschleierten älteren Platten wurden mehr solche fragliche 2er-Sterne registriert. Es ist die Frage, ob die 2er-Sterne überhaupt "reell" sind, d. h. ob die wenigen sicheren 2er-Sterne nicht sozusagen Unglücksfälle darstellen, bei welchen eine dritte Bahnspur durch irgendeinen Zufall nicht mit beobachtbarer Korndichte zur Ausbildung kam; auch ein zufälliges Zusammentreffen von Einzelbahnspuren kann in seltenen Fällen einmal vorliegen.

182

Warum auf der einen Ilford-Platte, Fig. 2, mehr 5er-Sterne, d. h. mehr Th-Atome vorhanden waren, ist nicht aufgeklärt.

Fig. 4 zeigt die Länge der Einzelbahnspuren in μ in der Schicht von der Emulsion 6252 15^d und 6252 112^d. Fig. 4 a gibt nur die



SS-Bahnspuren, Fig. 4*b* auch die abgeschnittenen Bahnspuren wieder. Zum Vergleich zeigt Fig. 4*c* die Bahnspur von solchen S-3er-Sternen, die nur aus SS-Bahnspuren bestehen. Die Vertikalen geben die Reichweiten der Ra- und Th-Zerfallsreihen an.

Man sieht daraus folgendes: Die hauptsächlichsten Längen der Einzelbahnspuren scheinen von Uran, Ra und vielleicht Th und Jo zu stammen; auch Em kommt vielleicht noch vor.

Sitzungsberichte d. mathem.-naturw. Kl., Abt. II a, 152. Bd., 6. bis 10. Heft. 14

Die kurzen Reichweiten treten bei der allerdings sehr kleinen Statistik der 3er-Sterne, Fig. 4 c, wie zu erwarten, zurück (nur die gestrichelt eingezeichneten in der Nähe befindlichen vierten Bahnen sprechen für eine etwas kürzere Reichweite), dafür sind verhältnismäßig mehr längere Bahnspuren bis ungefähr zur Reichweite von RaC' vorhanden, die unter Einzelbahnen nur ausnahmsweise vorkommen. Auffallend ist, daß bei Fig. 4 b, also unter den abgeschnittenen Bahnspuren, sich so viele lange Bahnspuren bis ungefähr zur Reichweite von ThC' befinden; tatsächlich wurden verhältnismäßig viele Bahnspuren der Reichweiten von RaC' und ThC' an der Oberfläche der Schicht gefunden. Man muß sie wohl einem aktiven Niederschlag aus der Luft zuschreiben. Einige dieser Bahnspuren zeigen ebenso wie einige Sternbahnspuren in Fig. 3 eine größere Länge als ThC'-a-Bahnspuren; der Fehler in der Reichweitenwiedergabe könnte sich wohl nicht nur in einer Verkürzung der Bahnspuren, wie man zunächst vielleicht annehmen würde, sondern auch in einer Verlängerung äußern, die z. B. auf Mitrechnen von Schleierkörnern oder auf ungenauer Tiefenmessung beruhen könnte. Höhenstrahlungswirkungen können jedenfalls nicht alle diese Bahnspuren erklären, da es sich um Platten handelt, die in Wien exponiert wurden, und außerdem die Statistik von Widhalm, Fig. 5, gegen ein häufiges Vorkommen von Höhenstrahlen von diesen Reichweiten spricht.

Es fragt sich nun, wo das Ra bzw. Th und U in der Schicht sitzt und wie es in die Schicht kommt. Wenn wir annehmen es handelt sich nur um die Größenordnung —, daß 1 cm^2 Emulsion zirka 3—6 mg AgBr enthält und daß die Verseuchung hauptsächlich am Ag sitzt, so kommt auf 1g Ag, aus der Anzahl der Sterne pro Tag und Quadratzentimeter (Tabelle 1) berechnet, $\sim 10^{-14}g$ Ra, ein durchaus möglicher Wert für den Gehalt an radioaktiven Substanzen in Erzen. Da Ag an U-Lagerstätten vorkommt, so ist auch der Gehalt an U für Ag nicht unwahrscheinlich; vielleicht können auch durch verschiedene chemische Substanzen bei der Gelatinebereitung radioaktive Elemente in die Gelatine kommen¹).

III. Höhenstrahl-2er-Sterne.

Um Anhaltspunkte für die Entscheidung der Frage zu gewinnen, ob ein Teil der beobachteten V-Sterne vielleicht doch Höhenstrahlzertrümmerungssterne sein könnten, wurde die mittlere Reichweite der Bahnspuren der 3er-V-Sterne und der energieärmeren 3er-Höhenstrahlsterne (bis zur mittleren Reichweite gleich

¹ Wir danken Herrn Dr. Hernegger vom Institut für Ra-Forschung für eingehende Diskussionen über diese Fragen.

80 cm) berechnet. In Fig. 6 sind als Abszisse die mittleren Reichweiten, als Ordinaten die Zahl der Sterne aufgetragen, \bigcirc bedeutet die V-Sterne, \bullet die Höhenstrahlsterne. Es wurde tatsächlich ein Höhenstrahlstern gefunden, dessen mittlere Reichweite von der Größe der mittleren Reichweite der V-Sternbahnen ist. Eine seiner Bahnspuren ist länger als die von ThC' α -Bahnen, daher muß es sich um einen Höhenstrahleffekt handeln. Doch hat man nach Fig. 6 wohl nicht den Eindruck, daß die Häufigkeit der mittleren Reichweiten bei Höhenstrahlsternen gegen den Wert der V-Sterne zu stetig zunimmt. Der höchste Wert der mittleren



Reichweite bei den beobachteten 8 V-Sternen liegt bei 5,96 cm. Bei den 10 hier in Frage kommenden 2er-Höhenstrahlsternen betrug die kleinste mittlere Reichweite 12 cm; bei einem zweiten 2er-Stern wurde allerdings die mittlere Reichweite zu 7 cm bestimmt, doch lag in diesem Fall das Sternzentrum so nahe am Glas, daß der Stern nicht sicher als vollständig angesehen werden kann. (Mittlere Reichweite der 2er-Höhenstrahlsterne: 7?, 12, 16, 18, 27, 28, 30, 33, 42, 49, 76 cm.) Diese Statistik spricht also eigentlich nicht dafür, daß sich unter den beobachteten V-Sternen eine merkliche Zahl Höhenstrahlsterne befindet.

Es wurde nun auf folgende Weise versucht, die wahre Zahl der Höhenstrahl-2er-Sterne zu ermitteln. Da die 2er-Höhenstrahlsterne schwer angegeben werden können, weil sie bei stumpfem Winkel mit gekrümmten (Schichtverziehung) und geknickten (Streuung) Bahnspuren verwechselt werden können, wurden zunächst die 2er-Sterne mit Winkeln kleiner gleich 90° und Bahnspuren einer Länge größer als die Länge von ThC'- α-Bahnspuren berücksichtigt. (Übrigens zeigt eine Statistik, in welcher die Winkel von geknickten Sternbahnspuren registriert sind, daß für solche von Streuprozessen herrührende Knicke im allgemeinen nur Winkel von höchstens 30° in Frage kommen. Es wurden an 940 Sternbahnspuren nur 18 Knicke gefunden.) Es wurde angenommen, daß die Winkelverteilung zwischen den Bahnen annähernd gleichmäßig ist und man daher diese Sternzahl nur zu verdoppeln



braucht, um im Mittel die wahre Zahl der 2er-Sterne zu bekommen. In Fig. 7 sind die beobachteten Sterne der Pb-Platte in Abhängigkeit von ihrer Teilchenzahl eingetragen. Die ausgezogene Linie gibt die Zahl der beobachteten sicheren 2er-Sterne mit Winkeln kleiner als 90°, die gestrichelte Linie bedeutet die auf die beschriebene Weise ermittelte wahrscheinliche Zahl der 2er-Sterne.

Anhang.

Nach einer von Heimstedt vorgeschlagenen Methode zur Messung des Tiefganges, welche bei geringem Tiefgang sehr genaue Werte liefert, wird an Stelle der Objektivverschiebung die Verschiebung des Okulars bei gleichbleibendem Objektivabstand zur Tiefenmessung benützt. Das Okular ist hiezu mittels eines Triebes verschiebbar. Die Scharfeinstellung auf einzelne Körner der Punktfolge wurde durch Berücksichtigung der Parallaxe verbessert. Eine rechteckige Blende, die am Kondensor angebracht wurde, gestattet ein wechselseitiges Abblenden der Kondensatorhälften, wobei die Halbierungslinie stets parallel zur Punktfolge eingestellt wird. Dabei wird ein Schwanken der Teile der Punktfolge, die nicht in der Objektivebene, also nicht scharf abgebildet werden, nach entgegengesetzten Seiten bewirkt. Die in der Objektivebene liegenden Körner bleiben scharf und unbewegt. Das Schwanken wird um so deutlicher, je steiler die Punktfolge in der Schicht verläuft und je größer die Apertur des verwendeten Objektivs ist.

Wie aus der Beziehung $\frac{\delta}{\delta/n} = -v_1 v_2$

- δ: wahrer Abstand zweier Objektivebenen;
- δ/n : scheinbarer Abstand zweier Objektivebenen;
- n: Brechungsindex (für die photographische Schicht n = 1,6);
- δ': Abstand der zu konjugierten Bildebenen;

 $v_1 v_2$: Objektivvergrößerungen zu den beiden Tubuslängen hervorgeht, sind zu gleichen Axialdistanzen im Objektraum die Okularverschiebungen nicht linear. Aus der Bestimmung des Tiefenmeßbereiches folgte, daß diese Methode allerdings nur für eine Tiefe von wenigen μ in Frage kommt, da sonst eine zu starke Vergrößerung der Tubuslänge notwendig ist. In ihrem Anwendungsbereich liefert sie außerordentlich genaue Werte, da das Auge für das Schwanken der Kornfolge sehr empfindlich ist.

Zusammenfassung.

Da die energieärmeren Höhenstrahlzertrümmerungssterne in der photographischen Emulsion schwer von Sternen zu unterscheiden sind, die durch radioaktive Verseuchung hervorgerufen werden, wurden alle energieärmeren Sterne näher untersucht und ihre Lage in der Schicht, ihre Bahnzahl und die Reichweite der Bahnspuren festgestellt. Ebenso wurden die Einzelbahnspuren geringerer Reichweite registriert.

Es ergab sich:

1. Die Ausbeute an derartigen Sternen und Einzelbahnspuren pro Tag und Quadratzentimeter schwankt sehr stark auf verschiedenen Platten; sie ist von der Seehöhe des Expositionsortes unabhängig; es ist möglich, aber aus den vorliegenden Statistiken wegen der starken Schwankungen nicht sicher festzustellen, daß die Ausbeute mit zunehmendem Alter der Platten abnimmt. Als Erklärung dafür könnte der Rückgang des latenten Bildes mit der Lagerungszeit in Frage kommen.

2. Die Teilchenzahl der Sterne beträgt 2-5. Die Zahl der mit Sicherheit festgestellten 2er-Sterne ist sehr gering; im allgemeinen sind die 3er-Sterne am häufigsten, in einigen Fällen die 4er- und 5er-Sterne.

3. Die Längen der Bahnspuren scheinen uns die Zuordnung bei den 3er-Sternen zu RaEm-, bei den 5er-Sternen zu Th-Verseuchung zuzulassen. Die Zahl der 2er-Sterne ist zu gering, um aus der Bahnlänge Schlüsse ziehen zu können. Die 4er-Sterne können von RaEm, RaA, RaC und dazu Ra oder Po herrühren; es wurden auch zahlreiche 3er-Sterne beobachtet, bei welchen sich eine vierte Bahnspur in der Nähe befand, so daß es sich um Diffusionserscheinungen zu handeln scheint. Zur Aufklärung dieser Erscheinungen sind Diffusionsversuche mit radioaktiven Substanzen im Gange.

4. Die hauptsächlichsten Längen der Einzelbahnspuren scheinen von U, Ra und vielleicht Th und Jo zu stammen.

5. Die Größenordnung der Sternzahl innerhalb der Schicht zeigt, daß die Verseuchung der Schicht von dem Gehalt des Ag-Erzes an radioaktiven Substanzen herrühren kann. Die Sterne und Einzelbahnspuren an der Schichtoberfläche kommen offenbar von einem radioaktiven Niederschlag aus der Luft. Die radioaktiven Substanzen im Glas der Emulsionsunterlage liefern keinen merklichen Beitrag.

6. Eine Abschätzung aus der mittleren Reichweite der Bahnspuren von Verseuchungssternen und von energieärmeren Höhenstrahlsternen spricht dagegen, daß sich eine merkliche Zahl von Höhenstrahlsternen unter den hier untersuchten Sternen befindet. Die wahrscheinliche Zahl der Höhenstrahl-2er-Sterne scheint gering zu sein.

7. Im Anhang wird ein nach einem Vorschlag von Heimstedt ausgearbeitetes Verfahren zur genauen Messung des Tiefganges von Bahnspuren beschrieben, welches die Parallaxenempfindlichkeit bei Beobachtung tiefer in der Schicht gelegener Bahnenden benützt.

Wir danken Herrn Prof. Stetter für die Anregung zu dieser Arbeit und sein dauerndes Interesse daran. Tabelle a zu Fig. 3.

5er-Sterne.

\geq = abgeschnittene Bahnspuren.

Zentrum 6 µ. Zentrum 6 µ. unter der Oberfl.		Zentrum 12 p.	Zentrum 27 p.		
≥1,6 cm 6,8 5,5 ≥3,3 5,7	$ \ge 1,8 \ cm \\ 5,5 \\ \ge 5,3 \\ 4,8 \ (6,2) \\ 5,8 $	$4,8 cm2,5 (3,3)7,24,6\ge 2,7$	≥8,8 cm 4,7 5,3 4 5,7		
Zentrum 30 μ .	Zentrum 9 μ .	Zentrum 27 μ .	Zentrum 39 p.		
4,2 cm	7,8 cm	8,9 cm	8,8 cm		
4,6	$\geq 2,3$	4,9	4,75		
\geq 2,8	$\geq 2,3$	$\geq 0,2$	5,4		
\geq 3,7	4	$\geq 4,2$	3,2		
\geq 4,6	≥ 2	$\geq 4,9$	7,6		
Zentrum 21 μ	Zentrum 27 μ .	Zentrum 27 µ.	Zentrum 9 μ		
5,1 cm	$\geq 4,5 \ cm$	≥9,2 cm	7,6 cm		
3,7	6,5	4,9	$\geq 2,2$		
\geq 4,2	4,9	3,9	$\geq 2,3$		
\geq 6,2	5,2	3,8	5,5		
\geq 3,7	5	4,9	2,5 (3,7)		
Zentrum 18 μ	Zentrum 18 μ .	Zentrum 6 µ.	Zentrum 24 µ.		
\geq 3,3 cm	5,7 cm	≥2,2 cm	5,1 cm		
\geq 5,3	3,3	4,8	4,3		
5,8	4,3	4	1,6?		
\geq 4	4,9	3,2	≥6,5		
4,2	\geq 4,1	5,8	5,2		
Zentrum 15 μ . $\geq 4,4 \ cm$ $\geq 3,8$ 4,6 3,7 4,9	Zentrum 25 p. 5,5 cm 5,7 (4,35) 4,1 3,8 (2,8) 8,17	Zentrum 21 p. 4 cm 5 5,4 6	Zentrum 27 μ \geq 8,8 cm 4,3 4,1 3,8 3,8 (4,5)		
Zentrum 36 μ	Zentrum 39 μ .	Zentrum 9 μ.	Zentrum 15 μ .		
\geq 2,4 cm	\geq 4,1 cm	7,8 cm	7,1 cm		
\geq 2,8	\geq 5	4,2	3,4		
\geq 3,8	5,4	4,5	\geq 4,7		
7,1	5,8	3,6	\geq 3,4		
5,5	4,6	2,9? 4,9?	3,2		
Zentrum 21 μ	Zentrum 39 μ	Zentrum 21 μ	Zentrum 24 p.		
4,6 cm	$\geq 2,5 \ cm$	6,6 cm	8,8 cm		
4,3	$\geq 5,7$	$\geq 4,7$	5		
4,3	4,1	$\geq 4,5$	5,9		
5,56	3,8	4.2	5		
$\geq 8,8$	4,3	2,8	3,4		

3er-Sterne.

() = in der Nähe befindliche vierte Bahnspur.

Zentrum 30 µ	Zentrum 33 µ	Zentrum 27 µ	Zentrum 3 μ
4,8 cm 6,2?	4,2 cm	3,4 cm	6,7 cm
2,1	4,5	≥4,2	4,3
4,8	≥3,2	3,1	2,8
(≥2)	(≥2,1)	(~2,9)	(≥2)
Zentrum 27 µ	Zentrum 24 y	Zentrum 18 μ	Zentrum 30 y.
7.3 cm	63 <i>cm</i>	4.7 cm	≥4.2 cm
2.8	3.7	4.7	3,6
4,35	~1.7	≥3,9	7,8
(4,9)	(3,1)	(2,5)	
Zentrum 24 u	Zentrum 18 u	Zentrum 39 µ	Zentrum 36 µ.
≥4.4 cm	3.4 cm	≥1.4 cm	5.8 cm 5?
≥5.9	4.9	4.3	6
~3,7	6,4	8,9	5,8
(≥2,4)	(≥2,8)	(3,7)	(∼3,4)
Zentrum 39 µ	Zentrum 21 u	Zentrum 15 µ	Zentrum
6.4 cm	4.3 cm	7.5 cm 6.2?	≥2.9 cm
≥2.3	7.4	4.2	3,5
3,1	6.2	4,1	3,2
•	(5.5)	•	(4,8)
	(-,-)		

Tabelle 2.

Emulsion	Teilchenzahl pro Stern	Gesamte Sternzahl	Zahl der Sterne, bei welchen sich eine weitere Bahnspur in der Nähe befand	
K-Platte	2	2	0	
	3	28	8	(29 ⁰ / ₀)
	4 und 5	15	2	(13%)
K-Haut	2	5	2	(40%)
	3	19	10	(53º/ ₀)
	4 und 5	28	4	(14%)
Ilf-N-Halbton	2	2	0	
	3	14	11	(79º/ ₀)
	4 und 5	23	1	(4%)
			l	

Tab. b zu Fig. 3. Reichweiten der radioaktiven Substanzen.

Element	Halbwertszeit	Reichweite in Luft extr., 0° C. () .mittl. Reichweite		
Ra	1 5 90 ^d	3,123 cm		
Em		3,849		
RaA	3,05 min	4,45		
RaC		3,871		
RaC'	$\sim 10-6$ sec	6,6		
Po .	190 <i>d</i>	3,65		
Th	1,389.10 ¹⁰ d	2,58		
RdTh	1,9 ^d	3,81		
ThX	3,64 ^d	4,12		
ThEm	54,5 sec	4,78		
ThA	0,14 sec	5,4		
ThC		(4,5)		
ThC'	$\sim 10^{-9sec}$	8,17		
RdAc	18,9 ^d	(4,37)		
AcX	11,4 ^d	(4,34)		
AcEm	3,92 sec	5,45		
AcA	2.10-3 sec	6,2		
AcC		5,2		
AcC'	5.10-3 sec	6,23		
ΨT.	4.56.109 <i>d</i>	2.59		
	2.7.105d	3.11		
То		3.02		
<u> </u>				

Sitzungsberichte d. mathem.-naturw. Kl., Abt. II a, 152. Bd., 6. bis 10. Heft.

1	2	3	4	5	6	7
Emulsion Nr. Versuchs-	Schicht- dicke	AnkunftWien (bez. Guß)	Expositions- dauer uort	Ausgezählte Fläche <i>cm</i> ²	Zahl d. Einzel-V-Bsp. Ges. O SS Gl	Zahl d. Einzel-V-Bsp. pro Tag u. <i>cm</i> ²
6381	75	12. 2. 43	1,37 d	1,06	70 36 29 12 (82?)	48 (56?) 44 (51? SS : 20 18
6381		12. 2. 43	27 d	0.132		45 39
27 <i>d</i> 6252		Guß 11. 2. 7. 11. 42	Wien	1.06		SS: 9,8 8,5 4,17
15 d 6252	65 	$\frac{\text{Guß 21.10.42}}{7.11.42}$	Wien, Wolfen 129 d Wien Wolfen	V-Einzelbsp.: 0,264	$\frac{141}{240} \frac{43}{102} \frac{81}{86} \frac{51}{51}$	SS: 1,78 8,1 SS: 2.9
6138 α. Th é	—57	25.7.42 Guß 2.7.42	$\frac{114 d}{\text{Wien, Wolfen}}$	0,53	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
5534 РЬ	60—66	17. 7. 41 Guß 9. 6. 41	211 ^d , da von 38 Wolfen 20 Wien 153 Hafelekar	2,6		
5534 Seefeld	60—70	17. 7. 41 Guß 9. 6. 41	263 ^d , davon 38 Wolfen 60 Wien 165 Seefeld	0,53		
5534 Wien	60—70	17. 7. 41 Guß 9. 6. 41	258 d Wien, Wolfen	V-Einzelbsp.: 0,066 V-Sterne: 0.198	145	8,6
5534 Wien Schleier	60	?	∩∩ 488 d Wien, Wolfen	1,06		
5736 457 d	66	20. 11. 41 Guß 8. 11.	∼ 469 ^d Wien, Wolfen	0,132	261 146	4,3 SS:2,4
Haut 6390 Wien	∼ 37	11. 2. 43	27 ^d Wien	2,55	126	1,84 2,9
Haut 6140 p.	∼ 54	26. 7. 42	203 ^d , davon 38 Wien 165 Hafelekar	V-Einzelbsp.: 0,265 V-Sterne: 0,4	122	2,27 3,6
Ilf. Hafelekar	54	1937	∼ 150 ^d Hafelekar	1,06		1,55 1,86
Ilf. Wien	100	1938	\sim 257 d Wien	0,132		
Ilf. Glockner	100	1938	∼ 100 ^d Glockner			5,5 3,3
Ilf. Wien 2	100	1938	100 <i>d</i> Wien			4,5 2,4

auf Schichtdicke 65 µ bezogene Werte.

Zahl d. V-Sterne ro Tag u. <i>cm</i> ²	Zahl d.	Zahl d. Höbenstr -	Zahl d	Zahl d		i
	S-V-Sterne pro Tag u. cm ²	Einzelbsp. (teilweise Pro- tonenverseu- chung)	Höhenstr Einzelbsp. pro Tag u. cm ²	Höhenstr Sterne pro Tag u. <i>cm</i> ²	Be- merkungen	
		2	(1,38)			1
	(1,4) 1,22	1	(0,28)			2
0,88	0,4	3	(0,089)			3
1,2	0,5	3	(0,87)			4
0,48 0,54	∼0,16 0,18					5
0,68	0,3		1,87	0,0183		6
0,51	0,197					7
0,9	0,55	6—7	∼0,128			8
	0,018				Schleier Rückgang?	9
0,6	0,25	(14)	(0,23)		Protonen- verseuchung?	10
0,55 0,9						11
0,4 0,75	(0,15 0,28)		0,68 ~1,3			12
0,83	0,23 -0,28		3 3,6	0,019 ~0,023		13
0,76 0,5	0,293 0,19					14
			∼8,02			15
			∼0,125			16
	$\begin{array}{c} 2,88\\ 1,2\\ 2,48 \\ 0,54\\ 0,54\\ 0,51\\ 0,9\\ 0,55\\ 0,9\\ 0,4\\ 0,75\\ 0,83\\ 0,76\\ 0,5\\ 0,5\\ 0,5\\ 0,5\\ 0,5\\ 0,5\\ 0,7\\ 0,5\\ 0,5\\ 0,5\\ 0,5\\ 0,5\\ 0,5\\ 0,7\\ 0,5\\ 0,5\\ 0,5\\ 0,5\\ 0,5\\ 0,5\\ 0,5\\ 0,5$	(1,4) 1,22 $0,88 0,4 0,5$ $0,48 0,54 0,0,16 0,18$ $0,68 0,3 0,55 0,9 0,55 0,9 0,55 0,9 0,018 0,25 0,55 0,9 0,4 0,75 (0,15 0,28) 0,23 -0,28 0,76 0,5 0,293 0,19 0,1$	$(1,4)$ $1,22$ 1 $0,88$ $0,4$ 3 $1,2$ $0,5$ 3 $0,48$ $0,54$ $\sim 0,16$ $0,18$ $0,68$ $0,3$ $0,55$ $6-7$ $0,51$ $-0,197$ $0,018$ $0,018$ $0,6$ $0,25$ (14) $0,55$ $0,4$ $\sim 0,75$ $(0,15$ $0,28$ $0,76$ $0,293$ $0,19$ $0,197$	$(1,4)$ $1,22$ 1 $(0,28)$ $0,88$ $0,4$ 3 $(0,089)$ $1,2$ $0,5$ 3 $(0,87)$ $0,48$ $0,54$ $\sim 0,16$ $0,18$ $-0,197$ $0,51$ $-0,197$ $-0,197$ $-0,128$ $0,018$ $-0,018$ $-0,0128$ $0,018$ $-0,25$ (14) $(0,23)$ $0,55$ $0,-7$ $-0,68$ $-0,137$ $0,4$ $0,025$ (14) $(0,23)$ $0,55$ $0,9$ $-0,28$ 3 $0,76$ $0,23$ $-0,28$ 3 $3,6$ $0,76$ $0,55$ $0,293$ $0,19$ $-0,0,125$	$(1,4)$ $1,22$ 1 $(0,28)$ $0,88$ $0,4$ 3 $(0,089)$ $1,2$ $0,5$ 3 $(0,87)$ $0,48$ $0,54$ $\sim 0,16$ $0,18$ $0,68$ $0,3$ $1,87$ $0,0183$ $0,51$ $-0,197$ $-0,197$ $-0,0128$ $0,018$ $-0,018$ $-0,0128$ $-0,0197$ $0,6$ $0,25$ (14) $(0,23)$ $0,66$ $0,25$ (14) $(0,23)$ $0,4$ $-0,28$ 3 $3,6$ $0,019$ $0,83$ $0,23$ $-0,28$ 3 $3,6$ $0,019$ $0,76$ $0,5$ $0,293$ $0,19$ $-0,023$ $0,76$ $0,5$ $0,293$ $0,19$ $-0,023$	$(1,4)$ $1,22$ 1 $(0,28)$ $(0,089)$ $0,88$ $0,4$ 3 $(0,089)$ $(0,089)$ $1,2$ $0,5$ 3 $(0,87)$ $(0,87)$ $0,48$ $0,54$ $\sim 0,16$ $0,18$ $(0,87)$ $(0,0183)$ $0,68$ $0,3$ $1,87$ $0,0183$ $(0,0183)$ $0,51$ $-0,197$ $(0,23)$ 8^{Schleier} $0,018$ $(0,23)$ 8^{Schleier} 8^{Schleier} $0,66$ $0,25$ (14) $(0,23)$ $9^{\text{reseuchung}}$ $0,66$ $0,25$ (14) $0,68$ $9^{-1},3$ $9^{-1},9^{-1},9^{-1},3$ $0,4$ $0,0.75$ $(0,15$ $0,28$ 3 $3,6$ $0,0.19$ $9^{-1},0.22$ $0,76$ $0,5$ $0,293$ $0,19$ $-0,0.125$ $-0,0.125$ $-0,0.125$

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: <u>Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften</u> mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Jahr/Year: 1943

Band/Volume: 152_2a

Autor(en)/Author(s): Wambacher Hertha, Widhalm Anton

Artikel/Article: Über die kurzen Bahnspuren in photographischen Schichten. Mit einem Anhang: Tiefenmessung in der photographischen Schicht nach einem Vorschlag von Otto Heimstedt. 173-191