

Sonderdruck aus der

MAX-PLANCK-FESTSCHRIFT 1958

ÜBER DIE STERNASSOZIATION PERSEUS I

von *V. A. Ambarzumjan*

Armenische Akademie der Wissenschaften
Observatorium Bjurakan

ZUSAMMENFASSUNG

Aus der Analyse der Besonderheiten, welche die Sternassoziation Perseus I aufweist, deren Alter etwa $15 \cdot 10^6$ Jahre beträgt, ergibt sich, daß der Prozeß der Sternentstehung in dieser Assoziation auch heute noch vor sich geht. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu der Hypothese, daß die Sterne der Assoziation aus diffuser Materie entstehen. Ferner ergibt sich für die Sterne einiger Spektralklassen dieser Assoziation aus den kinematischen Betrachtungen ein beträchtlich höheres Alter als auf Grund von energetischen Überlegungen. Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, diese Differenz durch das Auftreten eines gewissen latenten Stadiums im Leben eines zukünftigen Überriesen zu erklären, in welchem dessen Leuchtkraft sehr niedrig ist.

Die theoretische Erforschung der Sternassoziationen hat zu dem Ergebnis geführt, daß die Sterne, aus denen jene bestehen, sich mit beträchtlichen Geschwindigkeiten voneinander entfernen [1]. Weitere Untersuchungen über den Aufbau dieser Systeme ließen erkennen, daß nicht in allen Fällen nur eine einfache radiale Expansion von einem einzigen Zentrum aus vor sich geht. In einigen O-Assoziationen – insbesondere in den sternreichen – findet man mehrere Zentren der Sternentstehung. Daher können mehrere Expansionszentren vorhanden sein. Infolgedessen kann sich in den sternreichen Assoziationen das allgemeine Bild der Bewegungen in manchen Fällen als ziemlich kompliziert erweisen.

Bekanntlich hat die Analyse der Eigenbewegungen in den am nächsten gelegenen, verhältnismäßig sternarmen Assoziationen bestätigt, daß in ihnen in erster Näherung eine radiale Expansion stattfindet [2]. Dagegen fand ARTJUCHINA bei der Assoziation Cepheus II Anzeichen für das Vorhandensein von mehr als einem Expansionszentrum [3]. In der sternreichen Orion-Assoziation ist das Gesamtbild der Bewegungen noch bei weitem nicht vollständig aufgeklärt. Es ist jedoch von außerordentlichem Interesse, daß zwei Expansionsprozesse gefunden worden sind. An dem einen sind die Sterne des Sternhaufens um θ Orionis beteiligt. Die Expansion dieses Haufens begann – wie STRAND zeigte – vor $3 \cdot 10^5$ Jahren [4]. Die zweite Expansionserscheinung ist die Fortbewegung der Sterne AE Aurigae und μ Columbae voneinander, die etwa vor $2,5 \cdot 10^6$ Jahren begonnen hat. Zugleich gibt es in der Orion-Assoziation zweifellos gemeinsam entstandene Gruppen, in denen eine Fortbewegung voneinander bisher nicht festgestellt worden ist. Unserer Ansicht nach ist das hervorstechendste Objekt dieser Art die Gesamtheit der drei Gürtelsterne des Orion (δ , ϵ und ζ Orionis). Die relativen Eigenbewegungen dieser drei Sterne sind so klein, daß es schwierig ist, sie mit genügender Genauigkeit zu bestimmen. Andererseits kann der beobachtete Zustand nicht stationär sein. Daher muß man annehmen, daß in der Gruppe eine Expansion mit sehr kleiner linearer Geschwindigkeit von der Größenordnung 3 km/sec oder geringer stattfindet. Schon

aus diesem einen Beispiel ist ersichtlich, daß die Überriesen mit sehr großer Leuchtkraft in der allgemeinen Kinematik der Sternassoziationen eine Sonderstellung besitzen.

Unter den sternreichen O-Assoziationen unserer Galaxis nimmt die Assoziation Perseus I, zu der der Doppelsternhaufen η und χ Persei gehört, einen bedeutenden Platz ein. Schon der Kern dieser Assoziation für sich – der Doppelsternhaufen – ist ein eigentümliches Objekt und besitzt in dem uns bekannten Bereich des Milchstraßensystems kein Analogon. Die diesen Sternhaufen umgebende lockere Gruppe von Sternen besteht nicht nur aus heißen Riesen und Überriesen der Spektralklasse O und frühen Sternen der Klasse B, sondern auch aus einer ganzen Reihe von Überriesen der Klasse A, von späten Sternen der Klasse B und unregelmäßigen Veränderlichen hoher Leuchtkraft der Spektralklasse M. Diese Gruppe wurde zum ersten Mal von BIDE LMAN einer eingehenden Untersuchung unterzogen [5]. In unserer Galaxis kennen wir bisher keine anderen O-Assoziationen, die eine ebenso große Anzahl von A- und M-Überriesen enthalten.

Einige noch wichtigere Besonderheiten der betrachteten Assoziation sind die folgenden: 1. das Fehlen irgendwelcher merklicher Massen von ionisiertem Wasserstoff. Bekanntlich enthalten die anderen untersuchten O-Assoziationen helle Gasnebel. Außerdem sind, wie aus Radiobeobachtungen in der 21-cm-Linie hervorgeht, in diesem Raumbezirk keine merklichen Verdichtungen von neutralem Wasserstoff vorhanden [6], und 2. das Auftreten eines hohen Prozentsatzes von Sternen mit Emissionslinien unter den zur Assoziation gehörigen B-Sternen (Be-Sterne).

Wenn man berücksichtigt, daß bei den Be-Sternen von Zeit zu Zeit die Emissionslinien verschwinden und sie sich für eine gewisse Zeitspanne in normale B-Sterne verwandeln, so muß man die meisten B-Sterne der Assoziation dem Typ von Objekten zuschreiben, in deren Spektren Emissionslinien entstehen können. Dies bedeutet, daß die meisten B-Sterne der Assoziation sporadisch Gashüllen nach außen abstoßen.

Gegenwärtig besteht die am weitesten verbreitete Vorstellung über die Entstehung der zu einer Assoziation gehörigen Sterne in der Hypothese, daß diese sich aus diffuser Materie bilden. Wenn diese Hypothese richtig ist, ist das Fehlen von diffuser Materie in der Assoziation ein Anzeichen dafür, daß in ihr der Prozeß der Sternentstehung zum Abschluß gekommen ist. In diesem Sinne muß die betrachtete Assoziation älter als die übrigen O-Assoziationen sein, in denen Gasnebel vorhanden sind.

In der Assoziation sind jedoch einige O-Sterne vorhanden, deren Alter nach den gegenwärtigen Vorstellungen 10^6 Jahre nicht übersteigen dürfte. Allerdings ist es nicht ausgeschlossen, daß einige von ihnen sich als Mitglieder der benachbarten Assoziation Cassiopeia VI erweisen können, die sich auf das Gebiet der betrachteten Assoziation projizieren. Andererseits jedoch müssen die vorhandenen Überriesen vom Typ B und A, deren bolometrische Helligkeiten manchmal – 8 oder – 9 erreichen, ebenfalls ein Alter haben, das 10^6 Jahre nicht beträchtlich übersteigt, wenn man berücksichtigt, daß die Hauptenergiequelle für die Strahlung die Umwandlung von Wasserstoff in Helium ist.

Wenn diese Abschätzungen richtig sind, muß man annehmen, daß der Prozeß der Sternentstehung in der Assoziation andauert, obgleich das mittlere Alter der meisten Sterne beträchtlich höher sein kann als das Alter der erwähnten Überriesen. Es scheint uns, daß sich hier eine Schwierigkeit für die Hypothese der Sternentstehung aus diffuser Materie ergibt.

Wir weisen auch darauf hin, daß in dem Sternhaufen χ Persei zwei kompakte Ansammlungen heißer Sterne vorhanden sind, die äußerlich den mehrfachen Systemen vom Trapeztyp, wie sie in vielen O-Sternhaufen beobachtet werden, vollkommen ähneln [7]. Diese Ansammlungen unterscheiden sich von den übrigen mehrfachen Systemen vom Trapeztyp durch etwas größere Dimensionen. Sie sind ein Beweis für das äußerst geringe Alter der zu ihnen gehörigen Sterne, wenngleich es auch nicht ausgeschlossen ist, daß in diesem Fall das Alter der Sterne um eine halbe oder sogar um eine ganze Größenordnung das Alter der Trapezsterne des Orion übertrifft.

Die Sternhaufen h und χ Persei, die sich in der Nähe des Zentrums der betrachteten Assoziation befinden, sind anscheinend die einzigen merklichen Zentren der Sternentstehung. Die Tatsache, daß die Assoziation in der Projektion eine Kreisform besitzt, hängt zweifellos damit zusammen, daß der Abstand zwischen den beiden Sternhaufen klein ist im Vergleich zu dem Durchmesser der Assoziation. Unter diesen Bedingungen kann man erwarten, daß das Bewegungsbild der Sterne ziemlich einfach sein wird und in einer Fortbewegung von dem zentralen Teil, in dem der Sternhaufen gelegen ist, besteht.

Leider liegt die Assoziation in einer so großen Entfernung (größenordnungsmäßig 2000 parsec), daß Eigenbewegungen der Sterne nur sehr unsicher bestimmt werden können. Deshalb ist es von Interesse, statistische Daten von Radialgeschwindigkeiten der Sterne zu betrachten. Allerdings kann die Deutung der Daten, die sich auf Radialgeschwindigkeiten beziehen, nicht so eindeutig sein, wie es bei Eigenbewegungen der Fall ist. Wenn wir jedoch annehmen, daß die wegen der Bewegung des Gravitationszentrums der Assoziation korrigierten Radialgeschwindigkeiten im wesentlichen von dem Expansionseffekt herrühren, so können die Daten über die Radialgeschwindigkeiten reiche Information über den Charakter dieser Expansion liefern. Wenn die Sterne der Assoziation zu einem bestimmten Zeitpunkt in einem verhältnismäßig kleinen Volumen entstanden und unmittelbar nach ihrer Entstehung sich von dort mit der einheitlichen Geschwindigkeit V_0 nach allen Richtungen hinbewegt haben, so muß in der Anfangsperiode der Expansion der geometrische Ort dieser Sterne eine sich ausdehnende Kugelfläche sein. Im Laufe der Zeit wird jedoch die Wirkung des differentiellen Effektes der galaktischen Rotation die von der betrachteten Gesamtheit der Sterne gebildete Fläche in die Länge ziehen. Aus Rechnungen geht hervor, daß die Zeit, während der diese Streckung einen bestimmten Betrag erreicht, in erster Näherung nicht von der Anfangsgeschwindigkeit V_0 abhängt. In jedem vorgegebenen Bereich der Galaxis hängt dieser Zeitraum nur von dem Grad der Streckung ab. Nach Ablauf der ersten $15 \cdot 10^6$ Jahre wird die betrachtete Fläche noch nahezu eine Sphäre sein. Danach wird die Streckung merklich und nimmt schnell zu.

Wenn wir demzufolge eine Assoziation beobachten, die in der Projektion nahezu eine Kreisform besitzt, so können wir annehmen, daß ihr Alter $15 \cdot 10^6$ Jahre nicht

überschreitet. Dies gilt insbesondere für die betrachtete Assoziation im Perseus. Folglich ist die obere Grenze für das Alter ihrer Sterne $15 \cdot 10^6$ Jahre.

Andererseits erhalten wir unter der Annahme, daß der Prozeß der Sternentstehung im zentralen Bereich der Assoziation vor sich geht, und durch Abschätzen einer oberen Grenze für die Fortbewegungsgeschwindigkeit der Sterne vom Zentrum eine untere Grenze für das Zeitintervall, das zur Erreichung der gegenwärtigen Dimensionen der Assoziation erforderlich ist.

Wenn die Sterne sich vom Zentrum mit der Geschwindigkeit V_0 fortbewegen, ist die von uns beobachtete Radialgeschwindigkeit eines Sternes wegen der Geschwindigkeit des Gravitationszentrums der Assoziation zu korrigieren und beträgt, unter Berücksichtigung dieser Korrektur, $v_r = V_0 \sin \Theta$, wobei Θ der Winkel zwischen dem Vektor der Sternengeschwindigkeit und dem Sehstrahl ist. Bei gleichmäßiger Verteilung der Fortbewegungsrichtungen der Sterne über alle Raumwinkel ist das Mittel des Absolutwertes dieser Radialgeschwindigkeit

$$|v_r| = V_0 |\overline{\sin \Theta}| = \frac{1}{2} V_0,$$

wobei die Mittelbildung über alle Sterne der Assoziation ausgeführt ist. Wenn die Assoziation dagegen aus Sternen von verschiedenen physischen Typen besteht und die Expansionsgeschwindigkeit V_0 für diese verschieden ist, so ist die angegebene Gleichung nur für jede Gruppe gesondert gültig, und die Mittelbildung muß über die Sterne jeder Gruppe ausgeführt werden. Somit eröffnet sich die Möglichkeit, V_0 für jeden physischen Typ von Sternen aus dem beobachteten Wert $\overline{|v_r|}$ zu bestimmen.

In der folgenden Tabelle sind die auf diese Weise gewonnenen Werte $V_0 = 2 \overline{|v_r|}$ für die einzelnen Sterngruppen der betrachteten Assoziation angegeben.

Physischer Typ	Zahl der Sterne	$2 \overline{ v_r }$ [km/sec]
1. Überriesen der Typen B 0 I–B 3 I	11	8
2. Überriesen der Typen B 8 I–B 9 I	6	8
3. Überriesen der Typen A 0 I–A 5 I	8	17
4. Übrige Sterne vom Typ B	16	15
5. O-Sterne	4	36
6. Überriesen der Typen M 0 I–M 4 I	7	5

Die für die O-Sterne erhaltene Expansionsgeschwindigkeit ist sehr unsicher, da sie sich nur auf vier Radialgeschwindigkeiten stützt. Dennoch ist ersichtlich, daß wir es in diesem Fall mit sehr großen Bewegungen zu tun haben. Dieses Ergebnis kommt im übrigen nicht völlig unerwartet; denn die auf die Gesamtheit der beobachteten Sterne sich beziehenden statistischen Untersuchungen haben stets darauf hingewiesen, daß die Dispersion der räumlichen Geschwindigkeiten der O-Sterne diejenige der B-Sterne übertrifft.

Der Radius der betrachteten Assoziation erreicht 90 parsec. Mit Rücksicht darauf, daß die Überriesen vom Typ M etwas stärker zum Zentrum hin konzentriert

sind als die Sterne der übrigen Klassen, können wir für sie einen etwas kleineren Radius annehmen (größenordnungsmäßig 70 parsec). In diesem Fall erhalten wir für diese Gruppe durch Division des Radius durch die Geschwindigkeit ein Alter von $14 \cdot 10^6$ Jahren, d. h. einen sehr nahe an der oben erhaltenen oberen Grenze liegenden Wert. Für die beiden Gruppen der Überriesen vom Typ B erhalten wir ein Alter von der Größenordnung 10^7 Jahre. Der Umstand, daß die Sterne vom Typ B, die eine niedrige Leuchtkraft besitzen, eine größere Expansionsgeschwindigkeit ergeben als die Überriesen desselben Typs, verdient Beachtung. Man muß jedoch hierbei die Möglichkeit in Betracht ziehen, daß in unserer Tabelle Hintergrundsterne mit enthalten sind, wenn wir auch versucht haben, sie möglichst auszuschließen.

Besonders bemerkenswert ist es, daß die Überriesen vom Typ A eine von den Überriesen des Typs B verschiedene Expansionsgeschwindigkeit zeigen. Dies ist um so interessanter, als die Fehler in der Bestimmung der Radialgeschwindigkeiten, die eine zusätzliche Dispersion hervorrufen, bei den A-Sternen kleiner sein müssen. Daher muß der gefundene Unterschied in den Expansionsgeschwindigkeiten völlig reell sein.

Für die Gesamtheit der Überriesen vom Typ A erhält man ein Alter von der Größenordnung 10^6 Jahre. Dies ist jedoch höher als auf Grund von Abschätzungen, die auf Überlegungen über den Energievorrat beruhen.

Schließlich erhalten wir für die O-Sterne ein Alter von der Größenordnung $2 \cdot 10^6$ Jahren, das offenbar eine obere Grenze darstellt. Daher kommen wir unvermeidlich zu der Schlußfolgerung, daß der Prozeß der Sternentstehung in der Assoziation noch andauert. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu der Hypothese, daß die Sterne der Assoziation aus diffuser Materie entstehen.

Ein Versuch, das Alter der Assoziation im Perseus abzuschätzen, ist kürzlich von S. VON HOERNER unternommen worden [8]. Er ging von der Hypothese der Umwandlung von Wasserstoff in Helium als Energiequelle und vom HERTZSPRUNG-RUSSELL-Diagramm aus. Er kam zu einem Alter von $4 \cdot 10^5$ Jahren für die Sterne der äußeren Assoziation und zu größenordnungsmäßig $4 \cdot 10^6$ Jahren für die Sterne der Sternhaufen η und γ Persei. Die von ihm angewandte Methode muß ihrem Wesen nach das Alter der jüngsten Sterne ergeben. Daher stimmen die von VON HOERNER erhaltenen Werte mit der Schlußfolgerung überein, daß in Assoziationen, die ein Alter von größenordnungsmäßig $15 \cdot 10^6$ Jahren haben, ungeachtet des Fehlens von diffuser Materie, die Sternentstehung andauert.

Somit erlauben die die Assoziation Perseus I betreffenden Daten, folgende Schlußfolgerungen zu ziehen:

1. Das Alter der Assoziation beträgt $15 \cdot 10^6$ Jahre. Die Entstehung von Sternen in ihr dauert aber noch bis zum heutigen Zeitpunkt an.
2. Das „kinematische“ Alter der Sterne einiger Klassen übersteigt beträchtlich das aus „energetischen“ Überlegungen sich ergebende mögliche Zeitintervall. Die Möglichkeit ist nicht ausgeschlossen, daß diese Differenz durch das Auftreten eines gewissen latenten Stadiums im Leben eines zukünftigen Überriesen bedingt sein kann, in dem dessen Leuchtkraft sehr niedrig ist.

LITERATUR

- [1] Ambarzumjan, V. A., *Astronom. Journ.* 26, 3, 1949 (russ.).
- [2] Siehe z. B. Blaauw, A., *Bull. Astron. Inst. Netherl.* 11, 405, 1952.
- [3] Artjuchina, N. M., *Veröffentlichungen des Astronomischen Sternberg-Instituts* 27, 203, 1956.
- [4] Strand, K., *Astron. J.* 62, 247, 1957.
- [5] Bidelman, W., *Astrophys. J.* 98, 61, 1943.
- [6] Matthews, T. A., *The distribution of neutral hydrogen between galactic longitudes 60° and 135°*,
Doctoral thesis, Harvard University, April 1956.
- [7] Markarjan, B. E., *Mitteilungen des Bjurakaner Observatoriums*, Heft 9, 1951.
- [8] Hoerner, S. v., *Zs. f. Astrophysik* 42, 273, 1957.