

天文學界最近の研究

(荒木理學士編)

ジーンズの星辰進化論

近年星辰進化論の問題は星の内部に於ける物理學的狀態や、星の質量及輻射エネルギーに關する理論的研究や、其他觀測の方から發見せられた白色矮星の問題など關連して非常な長足の進歩をした事は前に一寸紹介した事があり、同時に星辰進化論に關する Russell の新しい見界の概要を紹介して置いた（天界一月號天文學界最近の研究參照）。

一昨年(1924)の暮れ、Jeans は、彼一流の考へによつて、星の輻射エネルギーの大部は、星の内部にある物質の消失に歸すべきであり、又同じ假設によつて、星辰の進化論及星のスペクトル型の變化の謎を説明し得る事を發表して居る。其他 Jeans は此の問題に關して色々な研究を Monthly Notices 誌上に發表して居るが最近の Nature 誌上に(1926年一月)この概括的結論とも言ふべき論文を The Evolution of the Stars と言ふ題目のみに發表して居る。以下其の思想の概要を譯出する。

星辰のスペクトルの研究が今日の如く進まなかつた時代に在つては、星のスペクトルは、星の壽命を示すものゝ信ぜられた。種々のスペクトル型が、色々なスペクトル線例へば、水素やカルシウムや、酸化チタニウムと言ふやうな物質のスペクトル線を示すと言ふ事實を説明するに、段々星が年老ひて行くにしたがつて星を構成する物質が元素の推移によつて變つて行くを考へた。即ち水素からカルシウムに、カルシウムから酸化チタニウムに變るを云ふ工合である。然し今日ではもつと判きりした事がわかつて來た。Sahaや其他の學者の研究によれば、星のスペクトルは單に其の表面に於ける温度を示すに過ぎない。太陽のスペクトルにカルシウム線を示すと言ふ事は單に太陽の外側の零圍氣が丁度カルシウムが最も活潑に輻射エネルギーを吸収し又再び輻射するに都合のよいと言ふやうな温度になつて居るからである。若しも此の零圍氣の層に於ける温度が突然何かの原因で二倍になつたとすれば、其のスペクトルは主として水素の吸収線から出來て居ると言ふ事になるだらうし、又逆に其の温度が半分以下つたとするならば、其のスペクトルには酸化チタニウムの帶が著るしく出て來るであらう。かくの如くして、種々のスペクトル型は、若し温度の尺度を正確に定める事に困難がもなわれないならば、唯温度のみを與えるのである。故に、星から星にスペクトル型がかわつて居ると言ふ事の説明の問題は、星から星にその表面温度が如何に變るかと言ふ事になるのである。

扨て、物質の消失によつて星からの輻射を説明せんとするに當つて、先づ當面する觀測上の事實は、星の輻射は決して其の質量に比例すると言ふやうな簡

單なものではないと言ふ事である。例へば、非常に温度の高い星 V Puppis の如きでは其の質量の一瓦に就いて毎秒約1000エルグを輻射し、太陽の場合には一瓦に就き毎秒約2エルグ、地球の場合には確かに一萬分の一エルグ以下である。かくの如く質量が輻射エネルギーに變る割合は種々の天體に依つて非常に異なつて居るのである。

先づ第一に思い付く事は、物質がエネルギーにかわるのは非常に高い温度によるものではなからうか。けれども安定度を考へて見るにかくの如き種類の影響はあまり大したものではない。實際星の内部に於ける或一點を考へて、その點に少しのエネルギーの過剰が出来たを考へるならば、それに依つて温度が高まる。温度が高まれば、爲めにより一層物質はエネルギーに轉換して、更に大なるエネルギーの過剰を生ずる。斯くの如くして、原因は結果となり、結果は又原因となり止まる所がないから、實際不安定なるのである。此の事を數學的に研究して見るに、星の實際觀測の方からの安定と言ふ點から見て、物質からエネルギーにかわる割合は温度には極く少ししか關係して居ない。而も此の事は物理學的見地から見てもそうである。物質は原子から出来て居る。故に物質の消失も亦原子に關係して居なければならない。故に物質消失の最少單位は電子とプロトンであつて、此の兩者の消失によつて 0.0015 エルグのエネルギーを生ずる。此だけのエネルギーが一量子として輻射すれば 1.3×10^{-13} 糎の波長のものとなり、即ち百萬度を單位として7500000だけの温度に相等する。所で星の内部に於ける温度は千萬さか二千萬度と言ふやうな程度のものであるから、前述の温度に比して全く比較にならぬ位小さなものであつて、此の温度が物質のエネルギーへの轉換に影響する事は考へられない。故に物質からエネルギーへの轉換は温度や密度に關係のない、例へば放射能のやうな突發的な方法で起るものを考へねばならない。新しく出来る輻射は 1.3×10^{-13} 糎或はそれ以下の波長のものである。然しながら物質と作用する事に依つて直ちに『軟め』られ、星の内部をあまり長く通過しない前に普通の温度輻射となつてしまふであらう。然し密度の非常に稀薄な天體内に生じた輻射の或部分は波長 10^{-13} 糎と言ふやうな程度の所謂硬輻射として空間に逃げて行くであらう。これが近頃 Millikan に依つて研究された非常に貫通力の大なる輻射の起原を考へられるかも知れない。

前に述べたやうに毎單位質量の輻射は種々の天體に就いて非常に異なつて居るが、これは種々の星の物理學的性質に依るものとは考へる事が出来ぬ。此れを説明するには、吾々は星が色々な速さで輻射エネルギーに變る種々な物質から成り立つて居り、其の割合が星々に依つて違つて居るものを考へねばならぬ。最も猛烈にエネルギーを輻射する物質は言ふ迄もなく最も急速に消失する物質であつて星が段々老ひ行くに従つて、かかる物質は最も早く無くなつて仕舞ふ。

わけである。従つてかゝる物質をより多く含んで居る若い星の方が老人星よりも、其の單位質量毎により強い輻射エネルギーを出すわけである。實際觀測上の事實はそうなつて居る。例へば太陽はV Puppisよりも百萬年の百萬倍だけ壽命が老ひて居ると言ふ事の爲めに、遙かに少ないエネルギーしか輻射しないのである。而もこの時間の間にV Puppisの輻射に最もあづかつて力ある物質は全く太陽から消失して仕舞つたのである。

物質がエネルギーに轉換するは突發的經過に依るものなるが故に、若し星が生れ出でる時に其の星を構成する物質の種類を知り、同時に各種の物質のエネルギーに變る速さを知るならば、吾人は星の全生涯を通じて、如何に其の星内の物質の割合が變つて行くかを知る事が出来るわけである。此の問題は丁度岩の内部に於ける放射能の變化を研究すると同様なものである。星の生涯の或る時代に於ける其の星を構成する物質を知るならば、吾々は勿論直ちに其の輻射の強さを知る事が出来る。

星の内部に於ける平衡狀態に就て Jeans は、1925年の一月、三月及び六月の Monthly Notices に數學的研究を發表して居るが、その結果によれば平衡狀態にある球形の星の質量 M 、其の單位時間の輻射量及其の表面温度には略ぼ次の關係ある事を證明した。即ち

$$2.5 \log E = \Phi(M) + \log T + \text{常數} \dots \dots (1)$$

茲に $\Phi(M)$ は質量の或る函數で、大略 M の對數に比例する。

若し此の方程式が大體に成立すると言ふ事でなく、嚴密に成立するならば、星の進化の問題は非常に簡單であるだらう。實際問題としては、吾々は星が生れ出る時に、其の星を構成して居る物質の割合を色々に假定する事に依つて、星の質量及其の輻射エネルギーが如何に變つて行くかを研究する事が出来る。星の生涯の各時代に於ては、星が平衡の狀態にある限り(1)と言ふ方程式を満足するやうに其の表面温度 T が調節されて行く。かくて(1)の方程式によつて決定される温度 T と其の時に於ける星のスペクトルを決定するわけである。

星の進化論の理論的解決がそんなに簡單なものであるとは信じかねる。けれども事實は實際そうであるやうに思はれる。但し第二次的に色々な複雑なことが這入つて来るので、そのうちの五つに就いて今議論したいと思ふが、これがあるが爲めに問題には色々多種多様な事が生れて来るのである。

Ⅰ. (1)の方程式はJeansが1917年に提出した星の内部に於ける考へに基いたものである。其の考へに依れば、星の内部に於ける原子の大部分は、温度が非常に高い事の爲めに、其の原子を構成する電子と原子核とに分解して居る。此の電子及原子核の各が、星を作る一種の瓦斯の所謂『分子』の役目をして居るのである。若し温度が非常に高く、すべての原子が皆な分解して仕舞つて居るならば、(1)の式は嚴密に正しくて、 C は恐らく2に等しからう。此の値は星

行を數學的に辿つて見るに、其の進化曲線は大體拋物線のやうな形になり、その一例を示せば圖中の點線PQRの如くなる。即ち星の温度は最初に次第に増し極大Qに達しそれから次第に隆下し、即 Lockyer の所謂『上昇しつゝある温度』と『下降しつゝある温度』を示す。時としては星はRに云ふやうな不安定な點に走り込む事もある。斯くの如き事が起るに星の内部に發生するエネルギーは表面から逃げる輻射エネルギーを丁度償ふと言ふわけにはいかないから、星は一般には膨脹するか收縮するかして丁度收支相償ふやうにならうとする。然るに、此の特異な瞬間に於て、星は既に其の輻射に依るエネルギーの損失は極小になつて居るから膨脹するにしても、亦收縮するにしても、其のエネルギーの損失を増すと言ふ事になり平衡状態は最早や成立たなくなる。故にエネルギーの發生を償ふには引力のポテンシャルによらねばならぬ事になり星は茲に於て急速に收縮する事になる。

基礎方程式(1)は星の内部に於ける瓦斯の壓力が Boyle の法則に従ふと言ふ假定のもとに出來た式である。然しながら瓦斯分子は遊離電子なるが故に其の直徑は眞の分子の直徑より遙かに小さい。故に星の内部に於ける瓦斯は普通の瓦斯よりも遙かに密度が大なるまで壓縮せられても尚 Boyle の法則に従ふものと考へ事が出来る。Eddington は此の事によつて、白色矮星の場合に知られて居る驚くべき大なる密度を説明する事が出来るだらうと言つて居る。かくの如き星にありては其の表面温度は非常に高くなり、其の半径は非常に小さくなり其の密度が鉛の數千倍になる。かくの如き星では、一度不安定な状態になるといくらでも收縮し遊離電子の如き小さな分子をもつてしてもなほ Boyle の法則が成立せざる迄に致る。かくの如くして白色矮星は生ずるのである。

かくの如くして此の星長進化論に従へば、白色矮星は必然的に出て来る。そして白色矮星の物理學的状態とその進化に就いて今迄考へられて居たものと違つた見界を暗示するのである。Eddington 及 Russell は白色矮星を以て普通の星長進化の道行の特別な場合と考へたが今日まで知れて居る白色矮星の二三が皆相互に非常に似寄つて居ると言ふ事は、彼等の考へによれば、全く偶然の一致であると考へねばならぬ。然るに Jeans の考へに依れば、白色矮星は寧ろ星長進化の出張とも考ゆべきもので、普通の星長進化の道行に並行した者ではないと考ゆべきである。Eddington や Russell の進化論によれば、白色矮星は最も老人星と考へるが、Jeans の進化論に依れば白色矮星は他の星よりも、老いたものとも又若いものとも考へる事は出来ない。唯だ白色矮星は他の星よりも不幸な星と考へねばならぬ。

III. 第一圖に於て、星長進化の典型的道行PQRはQの附近で、殆んど星がないと言ふやうな場所を通つて居る。Q點に於ける星は實際的其の原子はすべての電子を遊離して居る。然るに實際の星に就て計算して見るに95%以上の電

子を遊離して居るやうな星は非常に稀れである。(圖中、右上から左下に斜めに走つて居る三本の線は原子量を20を假定して、其の電子遊離の割合を示す線である)。故に觀測の事實を説明するには、進化の通行に於て、星の内部の原子が例へば99%も遊離する以前に其の道を轉ずるものと考えねばならぬ。

若し物質の消失が Jeans の考へるやうな量子論的經過に依つて行はれるならば、それは自働的に起るであらう。そして星辰進化の道行は PQR を言ふ曲線でなく、P'Q'R を言ふやうな曲線を通るであらう。

かくの如くにして例へば80%乃至99%位電子を失つて居るやうな状態にある星は進化の圖に於て共通なエンベロープを作る事になる。之れ觀測の事實と一致する、即 Eddington 其他の所謂主系列の星を形成するものである。

IV. Jeans は又一つの星が分裂によつて聯星系になる場合には其の温度は分裂する前の温度よりも高い事を證明した(天界二月號参照)。此温度の上昇は一般に聯星系の兩コンポネントを主系列に入らしめる。そしてそれ以後はエネルギーを成生する力の損失によつて更に温度が高くなると言ふ事がなくなる。此の事は何故に新らしく出來た聯星系の兩友星が一般に主系列の上にあるかを説明する。

かくの如くして Antares のやうな星(第一圖 No. 1)は普通の進化の通行 PQ' を辿つて約百萬年の百萬倍と言ふやうな長い年代の間に主系列に入るであらうし、例へば V Puppis を言ふやうな星(第一圖 No. 7)は分裂と言ふやうな偶發的事件によつて忽ちにして主系列に入るであらう。

V. 第一圖に於て P 近くの場所にある星は赤色巨星で其の大きさは非常に巨大なものであり、其の密度は非常に稀薄である。そして其れらは大抵變光星である。數學的に研究して見るに、かくの如き場所にある星は、特別な種類の不安定な状態にあるであらうと考えられる。従つて激烈な振動的運動を誘發するであらうし、かくの如くして長週期的變光星を説明する事が出来るのではなからうか。短週期變光星及セフエイド變光星は實際的に分裂の過程にあるものであらう。そして此の事は星辰進化圖に於けるセフエイド變光星の位置から考へてもそうらしい。勿論この考へは單に憶測的のもので俄に之れを肯定する事は出來ないけれども、Jeans の説に依れば少くとも此の兩種の變光星の説明が極めて自然的になされるのである。

以上述べ來りたる五つの特種性は Jeans の簡單なる理論の當然の結果であり皆な極めて自然的な必然的な結果で種々の天文學上の觀測上の事實を説明するものである。今まとめて其の結果を書けば、即ち

- I 巨星及矮星
- II 白色矮星
- III 主系列

IV 白色接近聯星

V 變光星(想像的)

他の如何なる星辰進化論によるも此の五つの特性を都合よく説明する事は出来ないやうに思はれる。然るに此の理論によれば此の五つの説明は前に述べたやうに容易に出来るやうに思はれる。

第一圖の星は Russell がまつた星と同じ星である。即ち

1. Antares; 2. δ Cephei; 3. Arcturus; 4,5. Capella; 6. Plaskett 星
7. V Puppis; 8. Y Cygni; 9. β Aurigae; 10. Sirius; 11. Procyon;
- 12, 13. α Centauri; 14. 太陽 15,16. ξ Bootis; 17,18. Krüger 60.

續 星座百首 其の一

某 女

1. 北天星座
北天を 飾る星座は 二十九座
北極星を 中心として
2. カシオペア座
カシオペア 圓るは麒麟さ セフェウス座
アンドロメダや ペルセイの座
3. 駁者座
駁者の座を 取りまく麒麟 山猫座
双子座牛座 ペルセイの座
4. ペルセイ座
ペルセイ座 赤經三時に 位して
アンドロメダの 東にあり
ひんがし
5. アンドロメダ座
アンドロメ 赤經一時に 位して
北にカシオペア 南には魚
6. 三角座
三角を 圍む星座は ペルセウス
アンドロメダさ 魚と牡羊
7. 麒麟座
麒麟座は 北極星座の 一つにて
南山猫 駁者ペルセウス

8. 大熊座
大熊を 回る星座は 麒麟龍
牧夫獵犬 獅子に山猫
9. 山猫座
山猫座 東大熊 西に駁者
麒麟の南 蟹の北なり
10. 小獅子座
小獅子座の 西は山猫 南獅子
東北一帯 大熊の座なり
11. 小熊座
小熊座は 北極星を 頂きに
東西南は 龍にまこまる
12. 龍座
龍を圍く 小熊大熊 ヘルクレス
琴座白鳥 セフェウスの座
13. 北冠座
ヘルクレス 牧夫と蛇の 三つ星座
北冠の座をば圍めり
きたかんむり
14. 牧羊座
牧羊座の 南は乙女 北は龍
東冠 西は臘犬
かんむり