الجزء الثالث من المجلد الخامس والعشرين

١ اغسطس سنة ١٩٣٩ — ٥ جمادى الثانية سنة ١٣٥٨

السر في اشراق النجوم

قد تكون الاجابة عن اسهل الاسئلة في بعض الاحيان من اشق الامور . فعلماء الفلك والطبيعة الفلكية في العصر الحديث يعرفون حقائق كثيرة عن طبائع النجوم : أبعادها وأفلاكها ومقاديرها واشراقها ، ويعرفون في غير نجم واحد اقطارها الصحيحة . ولكنهم تعثروا زمناً قبل ان تمكنوا من الاجابة ، ولو بعض إجابة عن السؤال التالي : ما سبب اشراقها ؟

والاجابة عن هذا السؤال تبدو سهلة عند ما نقول ان سبب اشراق النجوم هو حرارتها . والواقع ان النجوم اجسام مرتفعة الحرارة حتى في طبقاتها الخارجية . ذلك انه اذا لم تكن حرارة الطبقات الخارجية في النجوم اعلى من نفس حرارة تستضيء توليدها في فرن صناعي كان من المتعذر علينا ان نشرق اشراقاً نستضيء بنوره على هذه المسافات الشاسعة التي تفصلها عنا . والعلماء يستعينون بقياس حرارة النجوم كما يقيسون حرارة فرن صناعي من حيث المبدإ أي بقوة الضوء المنبعث ولونه . وعلى ذلك وجدوا ان نجماً احمر (وهو نجم بارد بالقياس الى النجوم الاخرى) تتفاوت حرارة سطحه من الفي درجة مئوية الى ثلاثة آلاف درجة مئوية . اما حرارة سطح الشمس فتبلغ ٥٧٠٠ درجة مئوية ثم تزداد الحرارة في النجوم البيض الى ١٠ آلاف درجة مئوية وتفوقها الى عشرين الف درجة مئوية في نجوم منطقة الجبار وقد تبلغ ٥٠ الف درجة مئوية في نجم النجوم

وفي استطاعتهم كذلك ان يحسبوا حساباً لما يجب ان يكون عليه اشراق نجم ما اذا عرفوا حجمهُ وحرارتهُ وبعده . ولكن ذلك لا يجديهم كثيراً في الاجابة عن السؤال المتقدم : ما سبب اشراقه او اشراق النجوم جميعاً

وقد يحاول بعضهم ان يقول ان سطح النجوم حارٌّ لأن باطنها اشد حرارة من السطح فيردُّ عليهم السائل : ولكن كيف تستطيعون النفوذ الى باطن النجوم لتعرفوا انهُ شديد الحرارة؟ والرد على هذا السؤال أن داخل النجوم يجب ان يكون شديد الحرارة ، اذا كانت مادة النجوم من نوع المواد التي تناولها في مسائل علم الطبيعة . ان النواميس الطبيعية تقتضي ذلك . واما الادلة على ان مادة النجوم من نوع هذه المواد فمتوافرة

تعرف كتلة الشمس من مقدار جذبها للسيارات ثم تحسب كثافتها فاذا هي تبلغ ١٫٤ كثافة الماء . ثم إن جذبها لطبقاتها الخارجية ، يحدث ضغطاً عظيماً على باطنها . واذا فرضنا أن كثافة الارض موزعة توزيعاً متساوياً في جميع جهاتها فالضغط على مركزها يبلغ ٩٨ مليون طن على البوصة المربعة . ومن المسائل السادية في علم الطبيعة استخراج حرارة كتلة غازية ، اذا ضغطت حتى بلغت كثافتها كثافة الارض بضغط من رتبة الضغط على مركز كرة الارض ، وإنما يشترط في ذلك ان تكون قواعد تصرُّف الغازات في معمل البحث منطبقة عليها عند تعرُّضها لمثل هذا الضغط العظيم . واذا كان الغاز ذرات ايدروجين فالحرارة تبلغ ١١٫٥ مليون درجة مئوية

ولكن من المرجح الذي في حكم اليقين أن الضغط ليس موزَّعاً بالتساوي وأنهُ في الباطن أعظم كثيراً منهُ على السطح ومتفاوت تدرجاً بين المركز والسطح . ولمعرفة درجات الضغط وتفاوتها بين المركز والسطح يجب أن يصنع مثالٌ لتبين ذلك . ولكن زيادة الضغط في المركز يعني تجمع معظم الكتلة فيه وحواليه ، وهذا يزيد جذب الكتلة المركزية للطبقات الخارجية فيزيد الضغط في المركز . ولكن الحسابات المستخرجة من أمثلة مختلفة صنعها العلماء لدراسة هذه الظاهرة تدل على أن الزيادة في الضغط والحرارة متكافئتان على العموم . ففي المثال الذي صنعهُ ادنتون جعل الكثافة المركزية ٥٤ ضعف المعدل فزاد الضغط ٩٣ ضغطاً أي بنسبة ١ الى ٢ تقريباً فكانت زيادة الحرارة — الناشئة عن زيادة الضغط — ١٫٧٠ . ثم هناك عالم آخر يدعى ساندراسيخار صنع مثالاً جعل فيه الكثافة المركزية ٨٨ ضعف المعدَّل فزاد الضغط ١٧١ ضغطاً أي بنسبة واحد الى ٢ تقريباً وزادت الحرارة ١٫٩٥

واذا اخذنا بهذين المثالين ظهر لنا أن حرارة مركز الشمس تبلغ ١٩٫٦٠٠٫٠٠٠ درجة مئوية للمثال الاول و ٢٢٫٤٠٠٫٠٠٠ درجة للثاني فارضين أن غاز الشمس هو ذرات الايدروجين وهناك ما يحمل العلماء على الظن ان هذين المثالين يمثلان بناء النجوم الداخلي بوجهٍ عام

ولكن الحرارة يجب ان تتناسب مع الوزن الذري للمادة . فاذا كانت مادة الكتلة من الحديد وجب ان تكون الحرارة ٥٦ ضعف الحرارة المقدرة لكتلة من غاز الايدروجين، اي تبلغ الف مليون درجة . واذن فبحثنا عن طريقة لتعيين حرارة باطن الشمس يتوقف على المادة التي نظن ان كتلة الشمس مؤلفة منها اكثر مما يتوقف على نموذج ضغطها الداخلي

هذا الرأي كان قبل خمس عشرة سنة يبث القلق في اذهان العلماء فلا يجرؤون على المضيّ فيه الى نهايته المنطقية . لأن الرأي كان ان الذرات تحتك معاً بفعل الضغط حتى يتعذر من المستحيل ان يكون للضغط مهما يعظم ، تأثير في زيادة حشكها وتصغير حجم مجموعها . ولو كانت الذرات اجساماً دقيقة صلبة الكيان لكان لهذا الرأي وجهٌ من الصحة . ولكن عند ما تقدم العلماء في دراسة الذرات تبيّنوا ان كهربائها تنفصل عنها بفعل الحرارة العالية فلا يبقى من الذرّات الا النوى وهي صغيرة الحجم بحيث يمكن حشك كمية عظيمة منها في مدًى يسير . اي ان المادة مهما تكن تتصرف في باطن النجم كأنها غاز

ولا يخفى ان درجة حرارة الغاز التي تمكنهُ من تحمُّل ضغط عالٍ معيَّن ، تتوقف على عدد الجسيمات المتحركة التي فيه — لأنهُ من المفروض ان لكل منها شيئاً من طاقة الحركة . فاذا كانت الذرات جميعاً ذرات عنصر الحديد — ووزنها الذري ٥٦ ضعف وزن ذرة الايدروجين — فالحرارة يجب ان تكون ٥٦ ضعف حرارة كتلة من الايدروجين. وهذا يخيّب ظننا بالحسابات المستخرجة من مثالي ادنغتون وشاندراسيخار . ولكن لذرة الحديد ٢٦ كهيرباً خارج النواة فاذا انفصلت جميعاً عن النواة بفعل الحرارة كان عندنا ٢٧ جسيماً (اي ٢٦ كهيرباً والنواة) تتوزع فيما بينها طاقة الذرة . اي ان الحرارة تكون اضعف بعد انفصال الكهيربات عن النواة بنسبة ٥٦ الى ٢٧ اي ٢٠٨ر٢ ومن عجيب الاتفاق — او من عجيب النظام الكوني — انهُ مهما تكن المادة التي تتكون منها الكتلة فالنتيجة واحدة تقريباً . وزن الصوديوم الذري ٢٣ ولكن لذرته ١١ كهيرباً فالنتيجة نسبة ٢٣ الى ١٢ (١١ كهيرباً والنواة) أي ٩٢ر١ والاكسجين وزنهُ الذري ١٦ ولهُ ثمانية كهيربات فالنتيجة نسبة ١٦ الى ٩ (ثمانية كهيربات ونواة) اي ٧٨ ر ١

وإذن فتقدير درجة الحرارة في باطن الشمس لا يتوقف كثيراً على تركيبها الكيميائي ، ما عدا حالتين . أما الحالة الاولى فعندما تكون الشمس — فرضاً — مؤلفة من غاز الهليوم وعندئذٍ تكون النسبة ٣٣ر١ وهي أقل كثيراً من النسبة الناشئة من مثالي ادنغتن وشاندراسيخار ومن النسب التي تنطبق على سائر العناصر وهي قريبة كما تقدم من نسبتي أدنغتن وصاحبيه . وذلك لان ذرة الهليوم وزنها ٤ ولها كهيربان خارجيان فالنسبة تكون ٤ الى ٣ اي ٣٣ر١ . وأما الحالة

الثانية فقط تكون الشمس مؤلفة من نحو الايدروجين لان النسبة المستخرجة على النمط المتقدم تكون ٣٥ و ٠ اذن ذرة الايدروجين فرامها براد (برونون) تركيب وزنها واحد فالنسبة ١ الى ٢ اي ٥٠ ٪

فاذا أخذنا مقدار أدنغتن فرضنا ان الشمس ايدروجين فقط ، استخرجنا حرارتها المركزية معرفة من كتلتها وحجمها فاذا هي نحو ١٠ ملايين درجة مئوية . واذا كانت عليوماً كانت حرارتها المركزية ٢٦ مليون درجة مئوية واذا كانت مؤلفة من ذرات العناصر الأخرى عدا هذين العنصرين كانت حرارتها المركزية ٤٠ مليون درجة . واذا أخذنا مثال ثاندراسيخار وجب اضافة ١٥ في المائة الى جميع هذه الارقام

واذا قابلنا بين نجم وآخر ، مصنوعين على نفس المثال ، من نفس المادة ، ظهر لنا ان حرارتها المركزية او حرارتها في اية نقطة متقابلتين تختلف باختلاف الكتلة مقسومة على نصف القطر . فكتلة الشعرى مثلاً ٣ر٣ (بالقياس الى كتلة الشمس) ونصف القطر ٨ر١ (بالقياس الى نصف قطر الشمس) واذن فحرارتها المركزية يجب ان تزيد على حرارة الشمس المركزية ٣٠ في المائة . وأكبر النجوم المعروفة نجم يعرف باسم (٢٩ الكلب الاكبر) وهو نجم مزدوج اي نجمان يكمل احدهما الآخر ان كتلة كبيرها تفوق كتلة الشمس ٤٦ ضعفاً ونصف قطره يفوق نصف قطرها ٢٠ ضعفاً . واذن فحرارته المركزية يجب ان تكون اكثر قليلاً من ضعف حرارة الشمس المركزية . وفي الناحية المقابلة هناك النجم المعروف باسم الذراع المبسوطة وهو مزدوج كذلك كتلة أحدهما ٦٣ في المائة من كتلة الشمس وقطره ٥٧ في المائة من قطرها ، فحرارته ٩٥ في المائة من حرارتها ، وكتلة الآخر — وهما متساويان تقريباً — ٩٦ في المائة من كتلتها وقطره ٦٠ في المائة من قطرها فحرارته نحو ٩٥ في المائة من حرارتها

ونجم الذراع المبسوطة بمثل فائقة من النجوم حرارتها المركزية قريبة جداً من حرارة الشمس المركزية . ولكن نجم العيوق ولا كتلة تبلغ ٢ر٢ كتلة الشمس وقطره ١٦ ضعف قطرها ، فحرارته الداخلية — اذا تساوت العناصر الاخرى في القضية — يجب ان تكون ربع حرارة الشمس . أما النجم الجبار الاحمر المعروف باسم زيتا او ريجا (مسك الاعنة) او نجم المرفق كتلته ١٥ ضعف كتلة الشمس وقطره ٣٠٠ ضعف قطرها فحرارته المركزية ٧ في المائة من حرارتها

ولكي يكون البحث عن حرارة باطن النجوم ، أقرب الى الصواب ، يتعين على الفلكي الطبيعي أن يتوسل بما يمكنه من معرفة مقدار الايدروجين والهليوم في باطن النجوم ، لأن حرارة باطن النجوم تزيد أو تنقص بالقياس الى قلة مقدارها أو زيادته

وهذه مسألة تبدو مستعصية ولكن العلم لا يدع وسيلة الى معالجتها ، والفلكي في بحثه هذا

اشبهُ ما يكون بالشرطي الذي ، عليه ان يستخرج النتائج بأعمال الفكر ... باستعمال قوة المنطق الدقيق، من بضع حقائق او مشاهدات تجمعت لديه . ومن هذه الحقائق ، أن حرارة التي تنساب من باطن النجم الى سطحه ، تعمل بوجه عام الحرارة التي تنطلق من سطحه في الفضاء

وبدراسة الغازات التي تألفها في الشمس ، والذرات وجسيماتها وما الى ذلك مما تأثر في هذه الحرارة، تبيَّن ادنتون اولاً ان معدل انسياب الحرارة من باطن النجم الى سطحه يتوقف بالاكثر على كتلة النجم — فمعدل انسياب الحرارة يزداد بازدياد مقدار الكتلة — وقليلاً يتوقف على قطر النجم او بنائه الداخلي من حيث توزيع الكثافة فيه . ويعتبر استخراج هذه العلاقة بين الاشراق والكتلة من أهم القواعد في نظرية بناء النجوم الحديثة

ولكن النظرية نفسها تقتضي ان اشراق النجم يتأثر كثيراً بالمواد التي يتألف منها باطن النجم فاذا كان الباطن كلهُ من عناصر ثقيلة (اي من عناصر عدا الايدروجين والهليوم) كانت حرارة الباطن عالية جداً وكان معدل ما ينساب منها الى سطح النجم كبيراً وعلى ذلك فيكون اشراق النجم عظيماً . فاذا كان هناك ايدروجين كانت حرارة الباطن أقل ، ومن ثمة تقلُّ الحرارة بزيادة مقدار الايدروجين ، وكذلك يقل اشراق النجم بازدياد مقدار الايدروجين في بنائه الداخلي

فاذا بنى الفلكي الطبيعي حساباته على هاتين القاعدتين وعلى ما يعرفهُ من طبائع الغازات وطبقها على مثال نجم كالمثال الذي ضمهُ أدنتون للشمس، استطاع ان يعرف مقدار الايدروجين الذي في باطنها . فاذا جعلت الشمس على هذا المثال بغير إيدروجين اطلاقاً كان اشراقها اعظم كثيراً من الحقيقة ، واذا جعل مقدار الايدروجين فيها كبيراً كان اشراقها أقل من الحقيقة . ونتيجة البحث على هذا الاساس في ما يتعلق بالشمس ان ٣٦ في المائة من باطنها وزناً ، إيدروجين، والباقي عناصر ثقيلة وعلى ذلك تكون حرارة باطنها ٢٠ مليون درجة مئوية

***

ولا عبرة على ما يقول ادنتون بما تكون العناصر التي يتألف منها الـ ٦٤ في المائة الباقية من كتلة الشمس . فقد اختلف هو والباحث ستومغرن Stromgren في تقدير ما لمزيج العناصر الاخرى ولكنهما وصلا الى نفس النتيجة تقريباً في ما يخص مقدار الايدروجين والنجوم متقاربة على العموم في ما يخص نسبة الايدروجين في بنائها. فالنسبة في النجم الشرق المعروف بالشعرى تبلغ ٣٦ في المائة وفي السيوق ٣٩ في المائة اذا لم يكن هناك هليوم . ولكن هناك بضعة نجوم تشذُّ عن هذه القاعدة ، منها « زيتا هرقل » فاشراقها يفوق اشراق الشمس اربعة اضعاف مع انها تماثلها في كتلتها وحرارة سطحها . ولذلك فنسبة الايدروجين المقدرة لها ١١ في المائة ، لانهُ اذا قلَّ الايدروجين — كما تقدم — زادت الحرارة

هذه بعض الحقائق التي اسفر عنها البحث الحديث في دراسة النجوم . ولكنها لا تفسّر بوجهٍ من الوجوه سرَّ استمرار اشراق النجوم

كان اللغز في اواخر القرن التاسع عشر ان العلم أماط اللثام عن هذا السرّ . فالملائمة علمياً وكلفن من قبله ، بيّنا انهُ اذا تقلصت الشمس — او اي نجم آخر — تقلصاً بطيئاً ، تحوّلت طاقتها الجاذبة رويداً رويداً الى حرارة ، فيستمد نصف هذه الحرارة او اكثر قليلاً لرفع حرارة الباقي ويكون الباقي مدداً للاشعاع في الفضاء في شكل اشعاع ضوء وحرارة . وفرض ان الشمس تلائم بين مقدار تقلصها اللازم لتوليد الحرارة الكافية لحاجتها في الداخل والاشعاع الخارجي . فتبقى على ذلك مشعةً مدى طويلاً . وعند ما طبقت هذه النظرية على الشمس فسّرت اشعاعها بالمعدل الحالي مدى ١٥ مليون سنة قبل أن تبلغ حجمها الحالي . وخمسة عشر مليوناً من السنين كانت في اواخر القرن الماضي زمناً طويلاً جداً . ولكن الاستناد الى الادلة المستخرجة من وجود العناصر المشعة وتركيبها في الصخور ، بيّن ان الزمن الجيولوجي يستغرق ١٥٠٠ مليون سنة على الأقل ، وهو زمن كانت الشمس في خلاله ترسل اشعتها وحرارتها في الفضاء فتأخذ الارض نصيبها منهُ فكيف استطاعت الشمس خلال هذا الزمن الطويل أن تبقى مشعةً ، ومن أي مصدر كانت — وما زالت — تستمد هذه الطاقة الخطيرة التي تكلما في الفضاء ؟

اقترحت آراء مختلفة لتفسير هذا اللغز ؟ ولكنها عند الامتحان وجدت ناقصة . فقيل اولاً ان مادة الشمس تحتوي على عناصر مشعة . ولكن قام الاعتراض على هذا القول من ناحية ان العناصر المشعة تمضي في اشعاعها على وتيرة واحدة ومعدل واحد غير متأثرة بحرارة او ضغط او غيرهما . والنجوم تختلف اشعاعاً واشراقاً ، فالقول بان مصدر طاقة الاشعاع هو المواد المشعة التي في النجوم ، يقتضي منا القول بان مقادير هذه المواد وزعت قصداً في النجوم توزيعاً مختلفاً جعل النجوم متباينة في الاشراق والاشعاع . والاّ فاذا كان التوزيع غير قصد ، فقد يصيب نجم معين قدراً من الاشعاع يزيد على حاجته فيضطر ان يكمش آية علمياً وكلفن ، فيتمدد بدل ان يتقلص — لان مقدار الاشعاع لا يتغير — والذي يصيب اقل من حاجته يتقلص ، وقد يمضي الاول في تمدده حتى يصبح سديماً والثاني في تقلصه حتى يفور ، فلا يبقى في الفضاء الاّ النجوم المتوازنة التي اتفق لها ان كان نصيبها من المواد المشعة على قدر حاجتها اليها . وهذا نظام يصعب الأخذ به

***

عند ذلك تطلع علماء الفلك الطبيعي الى علم الطبيعة الحديث لعلهم يجدون في نظرياته الجديدة ما يمدهم على حل المشكلة

وما لبثوا حتى وجدوا معولهم الاول في نظرية النسبية العامة . فبحسب هذه النظرية الكتلة

والطاقة يتحولان ، احدهما الى الآخر . وكان الرأي السابق المشهور المأخوذ به ان المادة تتحول الى مادة ولكنها لا تتلاشى . وان الطاقة تتحول الى طاقة ولكنها لا تتلاشى . فجاء اينشتين وقال ان المادة تتحول الى طاقة والطاقة تتحول الى مادة

فاذا أخذنا هذه النظرية ، فكتلة الجسم تزداد — من الناحية النظرية — برفع حرارته اي باضافة طاقة اليه . والسبب الذي يحول دون قياس زيادة الكتلة بزيادة الحرارة ان الزيادة يسيرة جداً في الاحوال العادية . خذ طناً من الحديد المصهور واتركهُ حتى يبرد الى درجة الحرارة العادية فانهُ يطلق في خلال ذلك ١٥٠ كيلو وط ساعة من الطاقة ولكن كتلتهُ لا تنقص بفقد هذه الطاقة — الا جزءاً من ١٦٠ جزءاً من المليغرام

ولكن عندما تطبق هذه القاعدة على الاجرام السموية نجد ان الشمس تطلق في الثانية ٣٣١٠ × ٣ر٧٨ من وحدات الطاقة المعروفة باسم « ارج erg » وهذا المقدار من الطاقة يعدل ٤ر٢٠٠٠٠٠ طن أي ان الشمس تطلق من ذات نفسها اكثر من أربعة ملايين طن في شكل اشعاع في الثانية ، او ١٣٠٠ مليون مليون طن في السنة . وهذا أمرٌ يبدو لأول وهلة — اذا صح — باعثاً على القلق . لانهُ اذا مضت الشمس على هذا فما يكون مدى عمرها ؟ والرد ١٥ الف مليون سنة

وإذن يقتضي منا بحثنا عن مصدر طاقة النجوم ، ان نبحث عن الاسلوب الذي يتحوَّل بمقتضاهُ بعض كتلة ذراتها الى طاقة

أدركت هذه الحقيقة من عشر سنوات او اكثر قليلاً ، فذهب العلماء — قبل ان تتوافر لديهم الحقائق الناشئة عن التجريب — مذهبين . احدهما يقول ان الذرات تتلاشى ، لتحوّل كتلتها الى طاقة وهذه الطاقة تشعُّ الى الخارج . والثاني ان ذرات عنصر ما تتحول الى ذرات عنصر آخر ، وان كتلة الذرَّات تنقص في خلال فعل التحوُّل ، أي ان قدراً من الكتلة يتحول طاقة تشع . ولكنهم أهملوا المذهب الاول الآن إذ لم يقم دليل تجريبي عليه

أما المذهب الثاني ، فقد ارتقى من مقام فرض في علم الطبيعة الى مقام حقيقة مجرَّبة . وما على قارىء المقتطف الا الرجوع الى ما كتبناه في خلال السنوات الاخيرة عن تحويل العناصر ، واطلاق بعض طاقتها في أثناء التحول ، لتحقق صدق هذا القول [1] . وهذه التجارب التي يواليها العلماء في شتى المعامل الطبيعية بمختلف البلدان تقيم الدليل على ان تحول المادة الى طاقة حقيقة اثبتتها التجارب

والرأي الحديث ان مصدر حرارة الشمس هو في المقام الاول فعل تولد الهليوم من الايدروجين

(١) راجع محاضرتنا « الاشعاع قديماً وحديثاً » مقتطف فبراير ١٩٣٨ في آخر المقال وصف للجهاز الرصدي الذي استنبط لورنس الاميركي وكيف يستعمل الآن لصنع عناصر مشعة من عناصر غير مشعة الخ

في قلب الشمس تولد العناصر الاخرى بفعل الضغط والحرارة المظيمين. ولكن تحول الايدروجين الى هليوم هو اسهل. ذلك بأن كتلة اربع ذرات من الايدروجين تبلغ ٤٫٠٣٢٥٦ فهي تفوق كتلة ذرة من الهليوم بمقدار ٠٫٠٢٨٦٦. اي انهُ عندما تندمج اربع ذرات من الايدروجين لتوليد ذرة من الهليوم تتحول مقدار ٠٫٠٢٨٦٦ من الكتلة الى طاقة. وهذا المقدار هو جزء من من ١٤١ جزءاً من كتلة ذرة الهليوم. وهو مقدار يبدو صغيراً. ولكن اذا كانت الشمس ايدروجيناً اصلاً وتحول الايدروجين الى هليوم، فالطاقة المتولدة من هذا التحول كافية لابقاء الشمس متقدة بضيائها الحالي ١٠٦ بلايين من السنين وهذا مصدر وافر لطاقة اشعاع النجوم

اما التحولات الاخرى — اي تحول العناصر بعضها الى بعض — فتنشأ عن توليد قدر اقل من الطاقة. فاذا تحولت اربع ذرات من الهليوم الى اكسجين (اذا كان ذلك مستطاعاً) كان مقدار المادة او الكتلة المتحول طاقة جزءاً من ١٠٤٠ جزءاً، حالة انهُ في تحول الايدروجين الى هليوم جزءاً من ١٤١ جزءاً.

وقد افرغ الدكتور بيث Hans Albrecht Bethe استاذ الطبيعة في جامعة كورنيل هذه الحقائق في قالب نظرية رياضية طبيعية يعدها الدكتور رسل رئيس قسم الفلك في جامعة برنستن وأحد أعلام البحث الفلكي الطبيعي[1] «اهم تقدم في علم الفلك الطبيعي في السنوات الخمس عشرة الاخيرة». والدكتور بيث لم يكتف بدراسة تحول الايدروجين الى هليوم بل تتبع تولد العناصر الاخرى ومقدار ما يتولد من الطاقة في اثناء تولدها

بنقص مقدار الايدروجين يزداد النجم تألقاً ويزداد حجمهُ قليلاً ثم بعد زمن طويل (يقدره بيث باثني عشر بليوناً من السنين للشمس) ينفد الايدروجين فيبدأ النجم في التقلص فيصبح كثيفاً ويشتد اشراقهُ. والنجوم الصغيرة الحجم الكثيفة المادة الضعيفة الاشراق معروفة لعلماء الفلك الحديث وهم يطلقون عليها اسم «الاقزام البيض» وهي تتصف عادة بصغر الحجم وارتفاع حرارة السطح وقلة الضياء واول نجم كشف من هذا القبيل هو النجم المعروف باسم رفيق الشعرى. فكثافة مادته تزيد مائتي الف ضعف على كثافة الماء. وهناك نجم آخر من هذا القبيل تزيد كثافة مادته على كثافة الماء سبعة ملايين ضعف ولا تزال الاقزام البيض تشعُّ اشعاعاً ضعيفاً وبهِ تراها. ولولاه ما رؤيت فهي في المراحل الاخيرة من حياتها الاشعاعية قبل ان تتحول أجساماً مظلمة. والشمس على ما يظهر فيها ٣٦ في المائة ايدروجين فهي — بحسب هذه النظرية — سائرة في هذا السبيل

(١) راجع السينتفك اميركان أعداد مايو ويونيو ويوليو ١٩٣٩