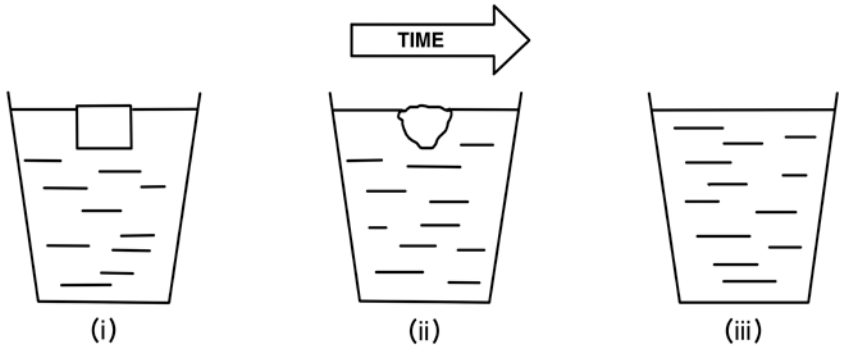
كون يحتضر

في عام 1856، أطلق هيرمان فون هلمهولتس، عالم الفيزياء الألماني، نبوءته التي ربما كانت من أكثر النبوءات مدعاة للحزن في تاريخ العلم. فقد أعلن هلمهولتس أن الكون يحتضر. وقد بنى نبوءته على أساس القانون الثاني المعروف للديناميات الحرارية. وكان هذا القانون (الذي يعرف اليوم اختصاراً باسم "القانون الثاني") قد صيغ أصلاً في مطلع القرن التاسع عشر كشرح تقني إلى حد ما حول فعالية الآلات الحرارية، وسرعان ما اعتُرِف بأهميته الكونية - حرفياً، نتائج كونية في الحقيقة.

والقانون الثاني، في أبسط رواية له، يشرح أن الحرارة تنساب من الحار إلى البارد. ولا شك في أن هذه خاصية مألوفة وواضحة في المنظومات الفيزيائية. ونشاهد ذلك أثناء العمل عندما نطبخ وجبة طعام أو نترك كوباً حاراً من القهوة يبرد: تنساب الحرارة من منطقة الحرارة الأعلى إلى منطقة الحرارة الأدنى. ولا يعتبر هذا سراً. فالحرارة تتظاهر في المادة على شكل هياج جزيئي. وفي غاز، كالهواء، تندفع الجزيئات، بصورة فوضوية، في كل اتجاه وتتصادم. حتى في جسم صلب تتقلقل الذرات بقوة هنا وهناك. فإذا جعلنا جسمين من درجتي حرارة مختلفين يتلامسان، فإن الهياج الجزيئي الأكثر نشاطاً في الجسم الحار سرعان ما ينتشر إلى الجزيئات في الجسم الأكثر برودة.

وبما أن سريان الحرارة وحيد الاتجاه، فإن السيرورة تكون غير متوازنة في الزمن. والشريط السينمائي الذي يظهر سريان الحرارة تلقائياً من البارد إلى الحار يبدو سخيفاً كنهر يجري إلى أعلى التل أو قطرات مطر ترتفع نحو الغيوم. وهكذا يمكن أن نحدد اتجاهية أصلية لسريان الحرارة، تُمَثَّل غالباً بسهم يتجه من الماضي إلى المستقبل. و"سهم الزمن" هذا يشير إلى الطبيعة اللاعكوسة للسيرورات الدينمية الحرارية وبهر علماء الفيزياء على مدى مئة وخمسين سنة. (انظر الصورة 2-1).



الصورة 2-1: سهم الزمن. مكعب من الجليد الذائب يحدد اتجاهية في الزمن: تنساب الحرارة من الماء الحار إلى الجليد البارد. والصورة التي تُظهِر التتابع (iii)، (ii)، (i) سرعان ما يتم تمييزها كخدعة. ويُمَيَّز هذا اللاتناظر عن طريق كمية تدعى الاعتلاج، التي ترتفع عندما يذوب الجليد.

أدى عمل هلمهولتس، ورودولف كلاوسيوس، ولورد كيلفن إلى معرفة أهمية كمية تدعى اعتلاج لتميز التغيير اللاعكوس في الدينميات الحرارية. ففي الحالة البسيطة لجسم حار على تماس مع جسم بارد، يمكن تعريف الاعتلاج بأنه طاقة حرارية موزعة بدرجة حرارة. ولنفكر بكمية بسيطة من الحرارة تنساب من الجسم الحار إلى الجسم البارد. فالجسم الحار سيفقد بعض الاعتلاج وسيكسب الجسم البارد بعضها. وبما أن الكمية نفسها من الطاقة الحرارية مُتَضَمَّنَة عدا أن درجات الحرارة مختلفة، فإن الاعتلاج الذي يكتسبه الجسم البارد سيكون أكبر من ذلك الذي يفقده الجسم الحار. وهكذا، فإن الاعتلاج الكلي يرتفع في كامل المنظومة - الجسم الحار زائداً الجسم البارد. وعندئذٍ يُشرَح القانون الثاني للدينميات الحرارية بأن اعتلاج منظومة كهذه لا يجب أن ينخفض أبداً، ولكي ينخفض، فإن انخفاضه يعني ضمناً أن بعض الحرارة قد ذهبت، بصورة عفوية، من البارد إلى الحار.

إن تحليلاً إضافياً شاملاً يساعد على تعميم هذا القانون على كافة المنظومات المغلقة: الاعتلاج لا ينخفض أبداً. فإذا تضمنت المنظومة براداً، والبراد يمكن أن ينقل الحرارة من البارد إلى الحار، فإن إجمالي اعتلاج كامل المنظومة يجب أن يتضمن

2- كون يحتضر

الطاقة المصروفة في تشغيل البراد. وعملية الصرف ذاتها سوف تزيد الاعتلاج. وتصبح لدينا دائماً قاعدة تقول إن الاعتلاج الذي يكوِّنه تشغيل البراد أكثر من تعويضات النقص في الاعتلاج الذي ينتج من نقل الحرارة من البارد إلى الحار. وفي المنظومات الطبيعية أيضاً، كالمنظومات التي تتضمن متعضيات بيولوجية أو تشكل بلورات، فإن اعتلاج جزء من المنظومة ينخفض دائماً، ولكن هذا الانخفاض يُسَدَّد بارتفاع تعويضي للاعتلاج في جزء آخر من المنظومة. مع ذلك، فالاعتلاج لا يهبط أبداً.

إذا كان يمكن اعتبار الكون كمنظومة مغلقة، على أساس أنه لا يوجد شيء خارجه، عندئذٍ، يشكل القانون الثاني للدينميات الحرارية نبوءة مهمة: إجمالي اعتلاج الكون لا ينقص أبداً. وفي الواقع، إنه يواصل ارتفاعه على نحو لا يلين. ولدينا مثال جيد يقع على عتبة كوننا - الشمس، التي تصب الحرارة باستمرار إلى الأعماق الباردة في الفضاء. وتنطلق الحرارة إلى الكون، لا لتعود أبداً؛ وهذه عملية لاعكوسة إلى حد مثير.

ولنطرح السؤال بوضوح: هل يمكن لاعتلاج الكون أن يواصل ارتفاعه إلى الأبد؟ لنتصور أننا وضعنا جسماً حاراً وجسماً بارداً على تماس داخل حاوية مغلقة حرارياً بإحكام. ستنساب الطاقة الحرارية من الحار إلى البارد ويرتفع الاعتلاج، ولكن، في النهاية، سيتسخن الجسم البارد ويبرد الجسم الحار بحيث يصل الجسمان إلى درجة الحرارة نفسها. وعند بلوغ تلك الحالة، لن يحدث انتقال إضافي للحرارة. وبذلك تصل المنظومة داخل الحاوية إلى درجة حرارة متماثلة - حالة ثابتة لاعتلاج أعظمي يوصف بالتوازن الدينمي الحراري. ولا يُتَوَقَّع حدوث تبدل إضافي، طالما بقيت المنظومة معزولة؛ ولكن إذا ماشُوِّش نظام الجسمين بطريقة ما - لنفترض، بإدخال مزيد من الحرارة من حاوية خارجية - فإن نشاطاً حرارياً إضافياً سوف يحدث، وسيرتفع الاعتلاج إلى درجة أعظمية أعلى.

ماذا تقول لنا هذه الأفكار الأساسية للدينميات الحرارية حول التبدل الفلكي والكوزمولوجي؟ في حالة الشمس ومعظم النجوم الأخرى، يمكن أن يتواصل انصباب الحرارة على مدى بلايين عديدة من السنين، ولكن لا يعني أنه انصباب لا ينضب. فالحرارة الطبيعية في النجوم تولِّدها عمليات نووية داخلها. وكما سنرى، فإن وقود الشمس سوف ينفذ في النهاية، وما لم تقع حوادث مفاجئة، فإنها سوف تبرد حتى تبلغ درجة الحرارة نفسها للفضاء المحيط.

الدقائق الثلاث الأخيرة

ومع أن هيرمان فون هلمهولتس لم يكن يعرف شيئاً عن التفاعلات النووية (كان مصدر الطاقة الهائلة للشمس غامضاً في ذلك الوقت)، فإنه كان يدرك المبدأ العام القائل إن النشاط الفيزيائي كله في الكون يميل نحو حالة نهائية من توازن دينمي حراري، أو اعتلاج أعظمي، لا يحتمل أن تحدث بعده أية قيمة أبداً. وكان الطريق الوحيد الاتجاه الذي ينحدر نحو التوازن معروفاً لدى علماء الدينميات الحرارية المبكرين تحت اسم «الموت الحراري» للكون. وكان من المسلم به أنه يمكن إعادة النشاط إلى المنظومات المستقلة عن طريق تشويشات خارجية، ولكن ليس هناك "خارج" بالتعريف بالنسبة للكون نفسه، وهكذا، لا شيء يمكن أن يمنع موتاً حرارياً شاملاً. ويبدو أنه لا مفر منه.

كان لاكتشاف احتضار العالم كنتيجة قاسية لقوانين الدينميات الحرارية تأثير عميق محزن على أجيال العلماء والفلاسفة. فعلى سبيل المثال، تأثر «برتراند راسل» فكتب التقييم الكئيب التالي في كتابه «لماذا لا أكون مسيحياً»:

> *أعمال العصور كلها، التقوى كلها، الإلهام كله، الألق الناصع للعبقرية الإنسانية كله، كل ذلك محكوم عليه بالانطفاء في موت شامل للنظام الشمسي، و... وكامل هيكل الإنجاز الإنساني لا بد أن يدفن تحت أنقاض كون يباب. كل هذه المسائل، إذا لم تكن فوق مستوى الجدل، فإنها، حتى الآن، مؤكدة جداً تقريباً، حتى أنه ما من فلسفة تنكرها ويمكنها أن تتطلع إلى البقاء. ومن داخل حرم هذه الحقائق فقط، وعلى أساس راسخ لعدم الاستسلام لليأس فقط، يمكن، من الآن فصاعداً، بناء مسكن الروح بأمان.*

واستنتج كثير من الكتاب الآخرين من القانون الثاني للدينميات الحرارية وتضمينه كوناً يحتضر أن الكون لامعنى له، والوجود الإنساني عبث في النهاية. وسأعود إلى هذا التقييم الكئيب في الفصول الأخيرة وأناقش ما إذا كان أسيء فهمه أم لا.

نبوءة الموت الحراري النهائي للكون تقول لنا شيئاً ليس فقط عن مستقبل الكون، ولكنها تتضمن شيئاً ما مهماً عن الماضي. فمن الواضح أنه إذا كان الكون في سبيله إلى الانهيار على نحو لاعكوس بسرعة محدودة، فإنه لن يبقى إلى الأبد.

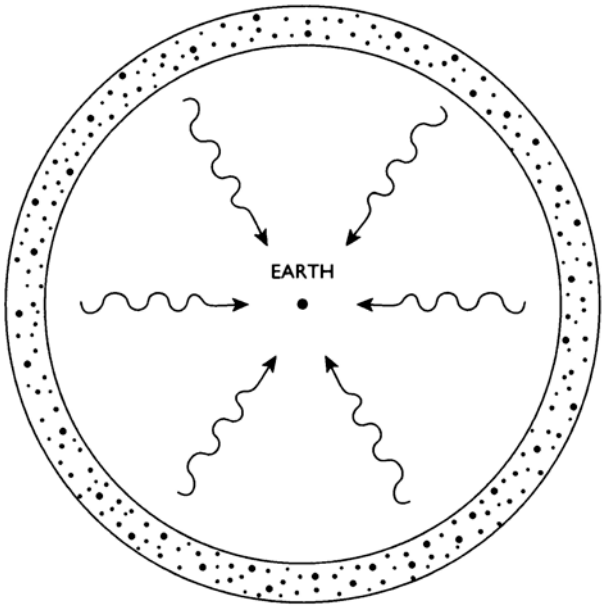
2- كون يحتضر

والسبب بسيط: لو كان الكون قديماً على نحو لامتناه، لكان يجب أن يكون ميتاً الآن. فمن الواضح أن الشيء الذي ينهار بسرعة محدودة، لا يمكن أن يبقى إلى الأبد. وبمعنى آخر، يجب أن يكون العالم ظهر إلى الوجود في وقت محدود في الماضي.

وما يسترعي الاهتمام أن هذا الاستنتاج العميق ما كان يمكن إدراكه من قبل العلماء في القرن التاسع عشر. وكان على فكرة نشوء الكون فجأة في الانفجار الكبير أن تنتظر الرصد الفلكي في عشرينيات القرن التاسع عشر، ولكن نشوءاً متناهياً في لحظة ما في الماضي يبدو أنه مطروح بقوة الآن، على أسس دينمية حرارية صرفة.

ولكن، بما أن هذا الاستنتاج الواضح لم يكن قد تم التوصل إليه، فإن فلكيي القرن التاسع عشر كان قد أربكهم تناقض كوزمولوجي غريب، ذلك هو «تناقض أولبرز»، نسبة إلى الفلكي الألماني الذي تعزى إليه صياغته، ويطرح سؤالاً بسيطاً ولكنه مهم جداً: لماذا تكون السماء مظلمة ليلاً؟

لأول وهلة، تبدو المشكلة تافهة. فسماء الليل مظلمة لأن النجوم تتوضع على مسافة هائلة منا ولهذا تبدو معتمة. (انظر الصورة 2-2). ولكن لنفترض أن المكان لا حد له. في هذه الحالة، يمكن طبعاً أن تكون النجوم بلا حد. وهنا ينضاف عدد غير محدود من النجوم المعتمة إلى مقدار كبير من الضوء. ومن السهل حساب الضوء التراكمي للنجوم من لامحدودية نجوم لا تتغير موزعة على نحو متشابه تقريباً في كل أنحاء الفضاء. فلمعان النجوم يتضاءل مع المسافة، وفقاً لقانون التربيع العكسي. يعني هذا أن النجم يكون مضيئاً بمقدار الربع إذا تضاعفت المسافة مرتين، وبمقدار التسع إذا تضاعفت ثلاث مرات، وهلم جرا. ومن ناحية أخرى، يزداد عدد النجوم كلما نظرنا إلى مسافة أبعد. وفي الواقع، تُظهِر الهندسة البسيطة أن عدد النجوم على بعد مئتي سنة ضوئية هو أربعة أضعافه على بعد سنة ضوئية واحدة، مع أن العدد على بعد مئة سنة ضوئية هو تسعة أضعاف الأخير. وهكذا، يزداد عدد النجوم مع مربع المسافة، بينما يتضاءل اللمعان مع مربع المسافة. يلغي هذان التأثيران كل منهما الآخر، وتكون النتيجة أن إجمالي الضوء القادم من كل النجوم عند مسافة معلومة غير منوط بهذه المسافة. والنور الإجمالي نفسه القادم من نجوم تبعد مئتي سنة ضوئية يساوي النور القادم من نجوم تبعد مئة سنة ضوئية.



الصورة 2-2: مفارقة أولبرز. لنتصور كوناً لا يتغير تعمره نجوم متناثرة عشوائياً بكثافة عادية متماثلة. يمثل المشهد مجموعة مختارة من نجوم تشغل قشرة كروية رقيقة من المكان متركزة على الأرض. (النجوم خارج القشرة أُهمِلَت في الصورة). يسهم الضوء من النجوم في هذه القشرة إلى إجمالي تدفق ضوء النجوم المنصب على الأرض. وستتضاءل شدة الضوء من نجم معلوم مع مربع نصف قطر القشرة. ولكن إجمالي عدد النجوم في القشرة سيزداد بما يتناسب مع مربع نصف قطر القشرة. ولهذا، فإن هذين العاملين يبطل كل منهما العامل الآخر، ويكون إجمالي إشعاع القشرة مستقلاً عن نصف قطرها. وفي كون غير محدود ستكون هناك قشرات غير محدودة - وعلى ما يبدو، تدفقاً لانهائياً من النور الذي يصل إلى الأرض.

تواجهنا المشكلة عندما نضيف الضوء من كل النجوم الواقعة على كل المسافات الممكنة. فإذا لم يكن للكون حد، فإنه يبدو أن ليس هناك حد لإجمالي كمية النور التي تستقبلها الأرض. وبعيداً عن كونها مظلمة، فإن سماء الليل يجب أن تكون لامعة إلى درجة غير محدودة!

2- كون يحتضر

تتحسن المشكلة إلى حد ما عندما يؤخذ بعين الاعتبار الحجم المحدود للنجوم. فكلما كان النجم بعيداً عن الأرض، كان حجمه الظاهري أصغر. والنجم القريب يحجب نجماً أكثر بعداً إذا كان على خط النظر نفسه. وفي كون غير محدود، فإن هذا سوف يحدث كثيراً بشكل غير محدود، وإذا وضعناه في اعتبارنا، فإنه سيبدل نتيجة الحساب السابق. وبدلاً من التدفق اللامحدود للنور الذي يصل إلى الأرض، فإن التدفق يكون فقط كبيراً جداً- يساوي تقريباً قرص الشمس الذي يملأ السماء، كما ينبغي أن تكون عليه الحال لو كانت الأرض تتوضع على بعد حوالي مليون ميل من السطح الشمسي. وفي الواقع، لا بد أن يكون هذا الموضع متعباً جداً؛ لأن الأرض عندئذٍ يجب أن تتبخر بسرعة تحت تأثير شدة الحرارة.

الاستنتاج القائل إن كوناً محدوداً لا بد أن يكون فرناً كونياً هو، في الواقع، عودة إلى عرض المشكلة الدينمية الحرارية التي ناقشناها سابقاً. تصب النجوم حرارة ونوراً إلى المكان، ويتراكم هذا الإشعاع ببطء في الفضاء. فلو كانت النجوم مشتعلة دائماً، فإنه يبدو لأول وهلة أنه يجب أن يكون للإشعاع قوة محدودة. ولكن بعض الإشعاع، أثناء رحلته عبر المكان، سيصطدم بنجوم أخرى ويُمتَص من جديد. (هذا مكافئ لملاحظة أن النجوم القريبة تحجب النور القادم من نجوم بعيدة). ولذلك ترتفع قوة الإشعاع إلى أن يتوطد التوازن بحيث تتوازن تماماً سرعة الإصدار وسرعة الامتصاص. هذه الحالة من التوازن الدينمي الحراري سوف تحدث عندما يبلغ الإشعاع في المكان درجة الحرارة نفسها على سطح النجوم - بضعة آلاف الدرجات. وهكذا، يمتلئ الكون بإشعاع تبلغ حرارته آلاف الدرجات، وعند هذه الدرجة من الحرارة، ستتوهج سماء الليل بدلاً من ظلمتها.

اقترح هاينريش أولبرز حلاً لتناقضه. فعلى ضوء ملاحظته لوجود كميات كبيرة من الغبار في الكون، ارتأى أن هذه المادة تمتص معظم نور النجوم ولهذا تظلم السماء. ومن سوء الحظ أن فكرته كانت معيبة على الرغم من أنها مبدعة: الغبار سيتسخن في النهاية ويبدأ بالتوهج بالشدة نفسها كالإشعاع الذي يمتصه.

هناك حل آخر ممكن يتطلب التخلي عن الافتراض بأن الكون غير محدود في المدى. ولنفترض أن النجوم كثيرة ولكنها محدودة في العدد، بحيث يتألف الكون من

تجمع ضخم من نجوم يحيط بها فراغ مظلم غير محدود؛ وعندئذٍ، سيتدفق نور النجوم، في معظمه، إلى المكان بعيداً حيث يضيع. ولكن هذا الحل أيضاً ينطوي على عيب قاتل - عيب كان، في الواقع، مألوفاً لإسحق نيوتن في القرن السابع عشر. ويتصل هذا العيب بطبيعة الجذب: كل نجم يجذب كل نجم آخر بقوة الجاذبية، ولهذا تميل كل النجوم في التجمع إلى السقوط معاً، متجمعة في مركز قوة الجاذبية. فإذا كان للكون مركز وحد محدودين، فإنه يجب، كما يبدو، أن ينهار على نفسه إلى الداخل. فكون ساكن، محدود، لا سند له، كون غير مستقر، ويخضع لانهيار تجاذبي.

وستعود هذه المشكلة التجاذبية إلى الظهور من جديد في مكان تال من قصتي هذه. ويلزمنا هنا ببساطة أن نولي اهتماماً للطريقة الذكية التي فيها حاول نيوتن أن يتفادى تلك المشكلة. فقد قال إن الكون يمكن أن ينهار إلى مركز جاذبيته، فقط في حال كان له مركز جاذبية. فإذا كان الكون لامتناهياً في المدى، ومعموراً بالنجوم على نحو متماثل، فإنه لن يكون له مركز ولا حد. وعندئذٍ، سوف يُجذَب نجم مفترض في كل اتجاه من قبل العديد من جيرانه، كما في لعبة عملاقة لشد الحبل التي فيها تُشدّ الحبال في كل الاتجاهات. إن عمليات الشد المتعاكسة هذه تلغي كل منها الأخرى، وهكذا، يبقى النجم في مكانه.

فإذا قبلنا حل نيوتن لتناقض انهيار الكون، فإننا نكون عدنا من جديد إلى كون لامتناه، وإلى مشكلة تناقض أولبرز. ويتحتم علينا، كما يبدو، أن نواجه إما ذاك أو هذه. ولكن، مع ما ينطوي عليه الإدراك المؤخر من فائدة، فإنه يمكن أن نجد طريقاً بين نارين. الخطأ ليس بافتراض أن الكون لامتناه في المكان ولكن بالافتراض أنه لامتناه في الزمان. نشأت مفارقة السماء المشتعلة لأن الفلكيين كانوا يفترضون أن الكون غير متغير، وأن النجوم ساكنة وتشتعل بقوة لا تضعف إلى الأبد. ولكن، أصبحنا اليوم نعرف أن كلا الافتراضين خطأ. أولاً، الكون، كما سأشرح بعد قليل، ليس ساكناً ولكنه متوسع. ثانياً، لو كانت النجوم مشتعلة دائماً، لكان وقودها قد نفد منذ زمن طويل. وحقيقة أنها تشتعل الآن يدل ضمناً على أن الكون ظهر إلى الوجود في زمن متناه في الماضي.

إذا كان للكون عمر محدود، فإن تناقض أولبرز سيختفي فوراً. ولمعرفة السبب،

2- كون يحتضر

تعالوا ندرس حالة نجم بعيد جداً. بما أن الضوء ينتقل بسرعة محدودة (300,000 كم/ثا، في الخواء)، فإننا لا نرى النجم كما هو اليوم، بل كما كان عندما تركه الضوء. فعلى سبيل المثال، يبعد النجم اللامع منكب الجوزاء حوالي ستمئة وخمسين سنة ضوئية، وهكذا، فإنه يبدو لنا اليوم كما كان قبل ستمئة وخمسين سنة. ولنفرض أن الكون نشأ قبل عشرة بلايين سنة، عندئذٍ لا يمكننا أن نرى أي نجم يبعد أكثر من عشرة بلايين سنة ضوئية عن الأرض. قد يكون الكون غير محدود في المدى المكاني، ولكن إذا كان محدود العمر، فإنه لا يمكننا، في أية حالة، أن نرى إلى ما بعد مسافة محدودة. وهكذا، فإن نور النجوم التراكمي من عدد غير محدود من نجوم محدودة العمر سيكون محدوداً، وربما ضئلاً إلى درجة لا يعتد بها.

وينسحب الاستنتاج نفسه على الدراسات الدينمية الحرارية. فالنجوم تستغرق زمناً هائلاً لكي تملأ المكان بالإشعاع الحراري وتصل به إلى درجة حرارة عادية، لأن هناك الكثير من الحيز الفارغ في الكون. وببساطة، إن الزمن منذ البدء حتى الآن لم يكن كافياً لكي يصل الكون إلى توازن دينمي حراري.

وإذن، يشير الدليل المتوفر إلى كون مدى حياته محدود. فقد نشأ في زمن ما محدود في الماضي، وهو الآن ينبض بالنشاط، ولكنه يتدهور، بشكل حتمي، نحو موت حراري في مرحلة ما في المستقبل. هنا، تطرح نفسها مجموعة من الأسئلة. متى ستحين النهاية؟ وهل ستكون بطيئة أم مفاجئة؟ وهل يمكن التصديق أن استنتاج الموت الحراري، كما يفهمه العلماء الآن، قد يثبت أنه خطأ في النهاية؟