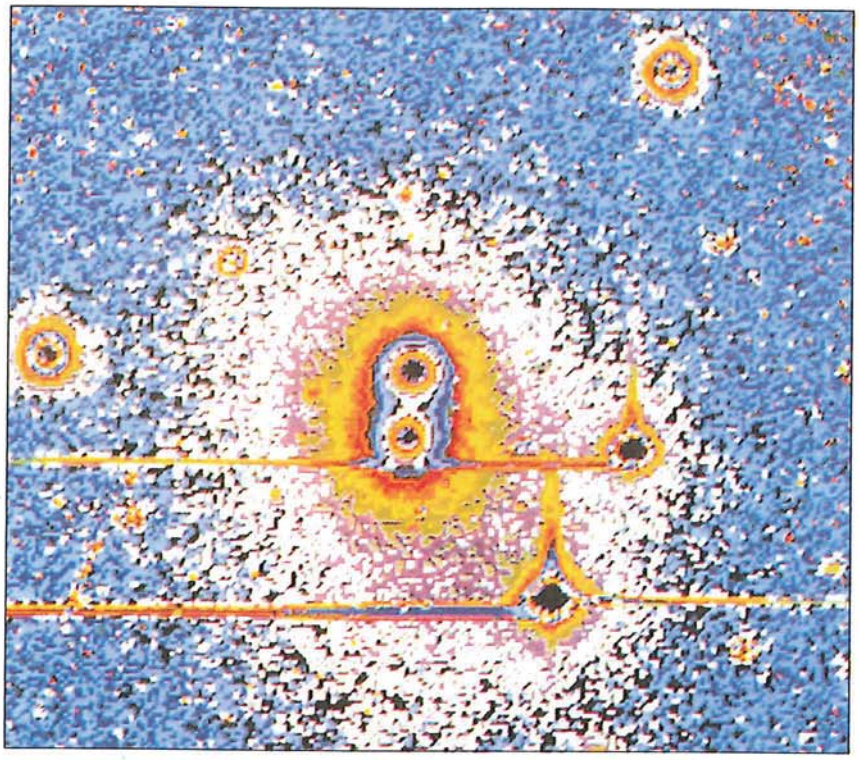
الثقوب السوداء

د. محجوب عبيد طه



كان معلوماً منذ أواخر القرن الثامن عشر الميلادي أن إحدى الإستنتاجات المترتبة على نظرية نيوتن للجاذبية هي أن الأشعة الضوئية لا تستطيع ان تنطلق من الجسم الكروي الذي يصدرها إذا كانت نسبة كتلته لنصف قطره أكبر من قدر معين . والواقع أن هذا الإستنتاج ليس صعباً متى علمنا أن للضوء سرعة محددة ولاينتقل إنتقالاً فورياً ، ذلك أن هذه النسبة ـ نسبة الكتلة لنصف القطر ـ هي التي تحدد السرعة الحرجة للإنطلاق من الجسم ، أي السرعة الفاصلة بين المسار الطليق والمسار الأسير : إذا انطلقت من سطح الجسم قذيفة بسرعة تزيد عن السرعة الحرجة فإنها تتخذ مساراً طليقاً وتبتعد عن المصدر ولا تعود إليه أبداً . أما إذا انطلقت القذيفة بسرعة تقل عن السرعة الحرجة فإنها تتخذ مساراً أسيراً يجعلها ترجع مرة أخرى للمصدر وتسقط على سطحه . في نظرية نيوتن للجاذبية مربع السرعة الحرجة يساوي ثابتاً كونياً مضروباً في نسبة كتلة المصدر الكروي لنصف قطره .

طبيعي أن يسأل المرء : ماذا لو زادت قيمة هذه النسبة حتى يصبح مقدار السرعة الحرجة أكبر من سرعة الضوء في الفراغ ؟ في هذه الحالة لن تستطيع أية قذيفة منطلقة من المصدر ، ولا حتى الأشعة الضوئية ، أن تنفلت تماماً عنه ويصبح المسار الأسير هو الوحيد الممكن ، إذ لا توجد أجسام مادية يمكن أن تنتقل بسرعة تفوق سرعة الضوء في الفراغ .

إذن في نظرية نيوتن للجاذبية توجد قيمة معينة لنسبة الكتلة لنصف القطر في الجسم الكروي يمكن أن نسميها بالقيمة الحرجة لهذه النسبة ، متى ما زادت عنها أصبحت الأشعة الضوئية الصادرة عن الجسم أسيرة له . هذه القيمة هي نصف نسبة مربع سرعة الضوء لثابت الجاذبية الكوني ، وتساوي $٦,٧٥ \times ١٠^{٢٦}$ كجم/م. وبما أن كتلة الأرض تساوي ٦×١٠^{٢٤} كجم فإن هذا يعني أننا لو ضغطنا على سطح الأرض من كل جانب حتى أصبحت الأرض كرة نصف قطرها متر واحد فإن نسبة الكتلة لنصف القطر ستظل دون القيمة الحرجة ، ويلزم أن نضغطها أكثر حتى يصبح نصف قطرها ٠,٩ سم (أي $٦ \times ١٠^{٢٤} \div ٦,٧٥ \times ١٠^{٢٦}$) لتبلغ القيمة الحرجة نسبة الكتلة لنصف القطر .

متى ما حدث هذا فإن الأرض لن تعكس أشعة الضوء الساقطة عليها من الشمس وبسبب ذلك ستختفي من المراصد التي ترصدها من مواقع بعيدة ، ولن تغادرها أية إشارات كهرومغناطيسية تنبىء الحضارات البعيدة عن وجودها ! تصبح ثقباً أسود .. موضعاً في السماء لايُرى ولا تصدر عنه معلومات ولا يُعرف وجوده إلا بأثره على ما جاوره .

الثقب الأسود في النظرية النسبية

يتضح من هذه المقدمة أن الثقب الأسود مفهوم فرضته النظرية ولم تفرضه التجربة أو المشاهدة . والنظرية المعتمدة اليوم للجاذبية هي نظرية

آينشتاين ، النسبية العامة ، التي تتجاوز نظرية نيوتن وتختلف عنها كثيراً في الحالات التي تكون فيها قوة الجاذبية كبيرة جداً ، مثل حالة حقل الجاذبية على مقربة من نجم ذي كتلة هائلة . والنظرية النسبية العامة تحوي النظرية النيوتونية على أنها تقريب يصح تطبيقه عندما يكون حقل الجاذبية ضعيفاً وتكون السرعات ضئيلة مقارنة بسرعة الضوء . ويمكن أن نستنتج من هذا أن تصور الثقوب السوداء الذي بنيناه في المقدمة على أساس من نظرية الجاذبية النيوتونية لا أساس له ، إذ اعتمدنا فيه على حساب الشرط اللازم لتكون سرعة الإنفلات مساوية لسرعة الضوء . بل إننا نجد بناءاً على النظرية النيوتونية أن قوة الجاذبية على كتلة كيلوجرام واحد يبعد سنتمراً واحداً من مركز ثقب أسود له كتلة الأرض ، تبلغ ٤×١٠^{١٨} نيوتن ، وهي قوة هائلة على كتلة كيلوجرام واحد ، لا يصح معها تطبيق نظرية نيوتن .

غير أن الحسابات أوضحت أن النسبية العامة أيضاً تتنبأ بإمكان وجود الثقوب السوداء بذات المفهوم الذي بني على نظرية نيوتن بأنها مكان لا تصدر عنه المعلومات للعالم الخارجي . والمدهش أن الشرط اللازم لوجود الثقب الأسود هو ذات الشرط المستنتج من نظرية نيوتن وهو أن تزيد نسبة الكتلة لنصف القطر في حالة الجسم الكروي عن القيمة الحرجة ، وهي ذات القيمة المستنتجة من قبل . بل إن هذه الحقيقة اتضحت بعد أول حل مضبوط لمعادلات النسبية العامة ، الحل الذي إكتشفه كارل تشفارتزشيلد في ديسمبر ١٩١٥م بعد شهر واحد من نشر بحوث آينشتاين الأربعة عن النسبية العامة.

يصف حل تشفارتزشيلد حقل الجاذبية حول كتلة منفردة في الفراغ بأنه ظاهرة غريبة تنشأ عندما تكون الكتلة محصورة في حيز ضيق جداً ينقسم الفراغ حول النقطة إلى منطقتين ، منطقة داخلية هي كرة حول الكتلة يساوي نصف قطرها مضروب ثابت الجاذبية والكتلة مقسوماً على نصف مربع سرعة الضوء ، ومنطقة خارجية هي الفراغ خارج هذه الكرة . يسمى نصف قطر المنطقة الداخلية الكروية « المسافة الحرجة » . وعليه نحصل على ثقب أسود إذا كانت الكتلة تقع داخل المنطقة الداخلية ، وهو الشرط الذي يعطى الثقب الأسود بناءاً على نظرية نيوتن . ولكن المقارنة بين النظريتين ، فيما يخص الثقب الأسود ، تنتهي عند هذه الملاحظة .

في النسبية العامة لابد للمشاهد الذي يراقب الثقب الأسود أن يكون في المنطقة الخارجية . يلاحظ المشاهد أنه لايتلقى أية رسالات إشعاعية من موقع الثقب الأسود . فلنفترض أنه يضع أجهزة إرسال كهرومغناطيسي على مركبة فضائية يطلقها نحو مركز الثقب الأسود . تنطلق المركبة في إتجاه مركز الثقب الأسود وترسل طوال الطريق معلومات توضح سرعتها والمسافة التي قطعتها . بمرور الزمن يلاحظ المشاهد أن سرعة المركبة تقل وإشاراتها تخفت وتضعف وهي تقترب من حافة المنطقة الداخلية ، أي من المسافة الحرجة للثقب الأسود . غير أن المشاهد لا يرصد أن المركبة تبلغ هذه الحافة أبداً مهما طال الزمن ، وبعد إنقضاء فترة كافية تضعف الإشارات الكهرومغناطيسية الواردة من المركبة بحيث لا يمكن تسجيلها على أدق أجهزة المتابعة وتكون الصلة بينها وبين المشاهد قد انقطعت دون أن يعلم شيئاً يتعلق بالمنطقة الداخلية للثقب الأسود .

لنفترض الآن أن المشاهد ، بعد تأكده من فشل المركبات الخالية من بني الإنسان، قرر أن يرسل أحد مساعديه على متن إحداها ، مزوداً بعدد كاف من الطاقة الإحتياطية تستخدم عندما تضعف أجهزة الإرسال . يرصد المشاهد هذه المركبة ويستطيع أن يتصل بمساعده ويوجهه خلال الرحلة نحو مركز الثقب الأسود . بعد ملاحظة أن السرعة بدأت تقل والإشارات تضعف ، يطلب المشاهد إستخدام إحتياطي الطاقة . لكن هذا يفيد بصفة مؤقته فقط وسرعان ما يرجع الأمر إلى الحالة السابقة حتى ينفد إحتياطي الطاقة كله . وبمرور السنوات يلاحظ المشاهد أن رسائله تستغرق فترات طويلة لتبلغ مساعده ، وأن ردود المساعد تستغرق فترات أطول ، وأنها على خفوتها المتزايد في كل مرة لا تعطي معلومات سوى أنه ما يزال يقترب من الثقب الأسود وكل شيء على ما يرام . وبعد أن تضعف الرسائل بحيث لا يمكن تسجيلها تنقطع الصلة وُيحسب المساعد في عداد الهالكين .

ونسأل كيف يبدو الأمر من وجهة نظر المساعد ؟ من داخل المركبة تكون الرؤية مختلفة تماماً . يقدر المساعد أن سرعته جيدة وأن أجهزة الإرسال والإستقبال تعمل بكيفية طبيعية ، ويعجب عندما يُبلَّغ أن سرعته تنخفض وأن إرساله يضعف فيُطلب منه الإستعانة بمخزون الطاقة الإضافية . ولكنه يلاحظ أنه لا يستلم رداً على رسائله بعد فترة معينة ويستنتج أن الإتصال مع قاعدته أصبح من جانب واحد فقط : رسائلهم تبلغه ولكن ردوده لا تبلغهم . ثم هو لا يحس بوجود الخط الوهمي على حافة المنطقة الداخلية ، الحافة التي يعلم أن المركبات السابقة اختفت من المراصد دون بلوغها ، يمر عليها بعد مضي فترة زمنية عادية دون أن يلاحظ أنه يخترق منطقة جديدة . غير أن هناك حقيقة تجريبية مرعبة يمكن أن يتبين بها إختراقه للمنطقة الداخلية

يستطيع قبل إختراق المنطقة أن يوقف مركبته ويظل في حالة سكون لبعض الوقت ثم يقفل راجعاً أدراجه إن شاء . أما بعد إختراق الحاجز الوهمي فلن يستطيع مهما فعل أن يوقف مسيرته ، لأية فترة مهما قصرت ، وتظل المركبة منطلقة نحو مركز الثقب الأسود بإرادة قائدها أو بدونها ، ويدرك أن مصيره محتوم ، إذ هو الآن داخل الثقب الأسود ويندفع بسرعة عالية نحو مركزه ليبتلعه بعد بضع ثوان ! هذا بالطبع إذا إفترضنا أن بنيانه العضوي ما يزال متماسكا تحت القوة الهائلة لحقل الجاذبية الذي يتحرك خلاله ، وأغلب الظن أنه ومركبته سيقطعان الجزء الأخير من رحلتهما المصيرية وهما مجموعة من الجسيمات الأولية التي لا إنشغال لها ببعضها من هول ما تحسه من شدة قوة الجاذبية عليها . وعندما يختفي كل شيء يكون الأثر الوحيد المتبقي هو زيادة طفيفة في قوة حقل الجاذبية المحيط بموقع المركز، وهي زيادة في مقدرة الثقب الأسود على ابتلاع كل ما يقترب منه يصحبها اتساع في منطقته الداخلية .

إذن فالثقب الأسود ، وفق التصور المبني على النسبية العامة ، موقع في الفضاء ، وليس جسماً مادياً ، يحيط به مجال لقوة الجاذبية تبلغ شدته حداً لا يسمح بالتعايش السلمي مع أي شكل من أشكال المادة الكتلية . ولأن الأجسام التي يبتلعها الثقب الأسود تخضع لقوانين الحفظ الفيزيائية مثل قوانين حفظ الطاقة والاندفاع والاندفاع الزاوي والشحنة الكهربائية ، فإن موقع الثقب الأسود يكتسب هذه الخصائص الجسيمية . وإذن فموقع الثقب الأسود لا يحوي مادة ، ولكنه نقطة في الفراغ لها صفات المادة المقيسة : الكتلة والاندفاع والاندفاع الزاوي والشحنة . والمشاهد الذي يراقب الثقب الأسود من مسافة آمنة يستطيع أن يحدد قيماً لهذه المقادير وفق طرق القياس الفيزيائي العادية ، أما ما يحدث لمن يتجاوز حرم الثقب الأسود فهو جزء من عقيدة المؤمنين بصحة النظرية النسبية العامة لا يُتيقن منه إلا بخوض التجربة ، ولن يعود أحد أو يتصل من الداخل لنعلم إن كان قد وجد ما وُعد حقاً .

الثقوب السوداء في الفيزياء الفلكية

الأقزام البيض نجوم في نحو كتلة الشمس ، بنصف قطر لا يزيد عن بضع آلاف من الكيلومترات ، مما يجعل كثافتها نحو ألف كيلوجرام للسنتمتر المكعب أو تزيد ، وهي نجوم قد استنفذت وقودها النووي ، وتمر بمرحلة تشع خلالها المتبقي من طاقتها الحرارية ، وتبرد ببطء مع مرور الزمن . وللفلكيين رصيد جيد من المعلومات عن الأقزام البيض ، كما أن دراستها النظرية متطورة ومتفقة مع المشاهدات . ومن أهم النتائج النظرية المتعلقة بالأقزام البيض ما توصل إليه الفيزيائي الفلكي تشاندراسيخر في عام ١٩٣٠م من أن إستقرار هذه النجوم لايتحقق إذا زادت كتلتها عن حد أقصى يساوي مقدار كتلة الشمس مرة أو مرتين، يعرف اليوم بحد تشاندراسيخر . وقد بُني هذا الاستنتاج الهام على معادلات الاستقرار التي توازن قوة الجاذبية الذاتية للنجم بالضغط الداخلي الناتج عن الكيفية التي تشغل بها الإلكترونات الحالات الكمية (أي مستويات الطاقة المتاحة) ملتزمة بمبدأ عدم التعددية الذي لا يسمح بوجود أكثر من إلكترون في الحالة الواحدة .

وقد تبين أن نتيجة تشاندراسيخر عامة وتتعلق بتحديد الحالات التي يمكن أن يستقر عليها أي نجم بعد نهاية احتراقه النووي . فهي تعتمد أساساً على ملاحظة أن قوة الجاذبية الذاتية تتناسب طردياً مع عدد الجسيمات الأولية في النجم بينما يتناسب الضغط الإلكتروني مع الجذر التربيعي لعدد الجسيمات . لذا فإن طغيان الجاذبية الذاتية على الضغط الداخلي أمر محتوم إذا زادت الكتلة عن حد معين . وأوضحت الدراسات الفيزيائية الفلكية المبنية على المباديء العامة والنماذج الخاصة بالتركيب المادي للنجم أن حالة الإستقرار النهائي للنجم تعتمد على كتلته عند إكتمال احتراقه النووي ؛ فهو يستقر على هيئة قزم أبيض إذا قلّت كتلته النهائية عن نحو ثلاث كتل شمسية ، وعلى هيئة نجم نيوتروني ـ كل مادته تقريباً من النيوترونات ـ إذا تراوحت الكتلة بين ثلاث وأربع كتل شمسية . أما إذا زادت الكتلة النهائية عن هذا فقد جافاه الإستقرار وليس أمامه سوى الإنهيار التام تحت جاذبيته الذاتية ليصبح ثقباً أسوداً .

تتفق قيم الكتل المرصودة من المشاهدات الفلكية للأقزام البيض والنجوم النيوترونية مع هذا التحليل ، إذ لم تشاهد أي منها بكتل خارج النطاق المتوقع لها وفق هذا التصور . وفي هذا إشارة قوية لتوقع وجود الثقوب السوداء . بل إن المرء ليدهش حقاً إن لم تكن موجودة ، ولعلها توجد بأعداد كبيرة، فالظن أن شرط الكتلة النهائية للنجم الذابل ميسور التحقيق في هذا الكون الشاسع . .

ولكن كيف نتأكد من وجود الثقوب السوداء فعلياً في فضاء الكون ؟ لاشك أن اكتشاف المراصد لموقع ضيق ، ربما بسعة مئات الأمتار ، يسبح معزولاً في الفضاء البعيد عن المجموعة الشمسية أمر لايحدث إلا بمصادفة يقارب احتمالها الإستحالة . وهو قطعاً لم يحدث حتى الآن . غير أن الفيزيائيين الفلكيين أوضحوا أن أفضل فرصة لاكتشاف الثقب الأسود تتاح عندما يُتحري في نظام نجمي ثنائي يتكون من

ثقب أسود ونجم عادي ساطع . يسحب الثقب الأسود الغاز من سطح النجم بعنف مما يجعل درجة حرارته على مقربة من حافة الثقب الأسود ترتفع لعشرات الملايين من الدرجات الحرارية ، فيشع أشعة سينية بطاقة عالية من مصدر نقطي يمكن رصدها بمنظار الأشعة السينية . ولقد كان معلوماً منذ بداية الستينيات أن في مجرتنا عدداً هائلاً من مراكز إصدار الأشعة السينية . ولكن الحدث الذي سبب طفرة ثورية في المعلومات الخاصة بمصادر الأشعة السينية وأدى إلى ربطها بالنظم النجمية الثنائية وفتح إمكان إكتشاف الأجرام الكتلية غير المرئية وغير المشعة ذاتياً هو إرسال المركبة الفضائية الفلكية « أورو » من الساحل الكيني في نهاية عام ١٩٧٠م . إكتشفت هذه المركبة ، بنهاية نشاطها في مارس ١٩٧٣م، أكثر من ثلاثمائة مصدر إشعاع سيني وربطت العديد منها بنظم نجمية ثنائية . والاعتقاد الآن أن عدداً كبيراً من المراكز المشعة سينياً هي أجرام خامدة وغير مرئية ، ضخمة الكتلة تجذب الغاز من النجم العادي المرافق لها في نظام ثنائي . وللأشعة الواردة من هذه المصادر خصائص تمكن الباحثين من التمييز بين هذه الأجرام ، وبالطبع فإن أغلب المصادر صُنفت أقزاماً بيضاً أو نجوماً نيوترونية .

المصدر الأول الذي يُشَك في كونه ثقباً أسود ، والذي مايزال أهم مرشح لهذا ، هو المصدر المعروف بإسم "الدجاجة ١-×" . توضح خصائص الأشعة السينية والضوئية الواردة من هذا المصدر أن نصف قطره لا يزيد عن ثلاثمائة كيلومتر وأن كتلته لا تقل عن ثلاث كتل شمسية وقد تزيد عن عشر كتل شمسية ، كما أن الطيف السيني المحسوب على فرضية أن هذا المصدر ثقب أسود يتفق مع الطيف المشاهد . لذلك فإن الظن الغالب الآن أن هذا المصدر يمثل أول ثقب أسود مكتشف. إذا إستمرت المعلومات المرصودة عن هذا المصدر مؤيدة للإعتقاد بكونه ثقباً أسود حتى يصبح الأمر يقيناً مؤكداً ، فإن هذا سيعد واحداً من أروع الإكتشافات في تاريخ العلم البشري .

وهنالك عدد قليل من المصادر السينية الأخرى قيد الدراسة يحتمل أن يكون بعضها ثقوباً سوداء . وقبل بضع سنوات أعلن فريق الفيزيائيين الفلكيين في جامعة كاليفورنيا أن سلوك الغازات التي تدور في مركز المجرة يوضح أنها تدور حول ثقب أسود هائل الكتلة . ذلك أن الحافة الداخلية لحلقتها تدور بسرعة أكثر بكثير من الحافة الخارجية ، وأن الحسابات تشير إلى كتلة غير مرئية في نواة المجرة لا تقل عن أربعة ملايين كتلة شمسية ، وأن فجوة ضخمة تحيط بحلقات الغاز مما يدل على أن هذا الثقب الأسود ظل يجذب المادة من حوله منذ أكثر من مليون عام حتى أصبح بمثل هذه الكتلة الضخمة ، وتوالت المعلومات المرصودة عن هذه المنطقة مؤيدة هذا التصور الذي يجري في قلب المجرة .

والظن الآن أن مثل هذا الثقب الهائل يقبع في مركز كل مجرة وأن هذه الثقوب المركزية سترث ــ بعد آماد طويلة إن شاء الله ـ المجرات التي تقع بداخلها ، بما فيها من ثقوب سوداء عادية نتجت عن خمود النجوم أو انهيارها أو تفجرها .

وخلاصة القول أن مفهوم الثقب الأسود أصبح اليوم مهما في تصور الفيزيائي الفلكي للظواهر الكونية ، لا تكتمل بدونه الصورة النظرية ويؤخذ في الحسبان عند تحليل الوقائع المشاهدة . وبمرور السنوات ظهرت نماذج للثقوب السوداء ، مبنية على النسبية العامة ومستفيدة من المشاهدات الفلكية ، فيها تفاصيل كثيرة يمكن أن تقارن مباشرة بالمعلومات المرصودة بحيث أن الموضوع دخل في صلب الفيزياء الفلكية العملية ولم يعد شكلية رياضية لاصلة لها بالواقع .

أختم بتعليق مختصر حول ما قد يهم عقيدة المسلم من هذا الأمر . ولنتذكر في البداية أن اكتشاف أنماط جديدة وهيئات غريبة لتكوين الأجرام السماوية فيه بيان لسعة خلق الله سبحانه وتعالى وتوضيح لعظمة هذا الخلق واختلاف أنواعه . ثم إن الوقوف على الخصائص الدقيقة للمخلوقات قد يفيد في تفسير بعض الآيات القرآنية الكونية . وقد خطر لي أن يكون في القسم الرباني : ﴿ فلا أقسم بالخنس . الجواري الكنس ﴾ سورة التكوير آية ١٥ ــ ١٦ إشارة للثقوب السوداء . إذ في التفاسير المعلومة أن الآيتين تتعلقان بالنجوم ، وجاء في القاموس المحيط للفيروز آبادي : « خَنَسَ الإبهام ، قبضها . وخنس بفلان ، غاب به » و «كَنَس الظبي ، دخل في كناسه وهو مستتره » . فلعل النجوم المقصودة هي الثقوب السوداء ، فهي خُنس إذ تقبض المادة من حولها وتغيبها وهي كُنس إذ تستتر فلا تُرى .

كما أن تصور وجود الثقوب المجرّية المركزية واحتمال أنها بعد الآماد تبتلع مجراتها يعني أن العالم المشاهد يمكن أن يزول وفق القوانين الطبيعية . غير أن إرادة الله شاءت ألا يحدث هذا في الحياة الدنيا ، فالله يحفظه ويحفظ الأرض والإنسان حتى قيام الساعة . ولعل إشارة إلى هذا وردت في الآية الكريمة: ﴿ إن الله يمسك السموات والأرض أن تزولا ، ولئن زالتا إن أمسكهما من أحد من بعده ، إنه كان حليما غفورا ﴾ سورة فاطر آية ٤١ .