ستيفن هوكينغ

موجز علمه
(من الثقوب السوداء إلى ما قبل الانفجار الكبير)

فلوريان فريستيتر
ترجمة كرار صباح القره غولي

Prometheus Books

An imprint of The Rowman & Littlefield Publishing Group, Inc.
4501 Forbes Blvd., Ste. 200
Lanham, MD 20706
www.rowman.com

Distributed by NATIONAL BOOK NETWORK

Copyright © 2020 by Florian Freistetter. English language translation © 2020 by Brian Taylor

All art © 2020 Peter Palm

All rights reserved. No part of this book may be reproduced in any form or by any electronic or mechanical means, including information storage and retrieval systems, without written permission from the publisher, except by a reviewer who may quote passages in a review.

British Library Cataloguing in Publication Information available

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data

Names: Freistetter, F. (Florian), author.
Title: Stephen Hawking : his science in a nutshell / by Florian Freistetter ; translated by Brian Taylor.
Other titles: Hawking in der Nussschale. English
Description: 1st US hardcover edition in English. | Amherst, New York : Prometheus Books, [2019] | Originally published in German: Hawking in der Nussschale : der Kosmos des grossen Physikers / Florian Freistetter (München : Carl Hanser Verlag, 2018). | Includes bibliographical references and index. | In English, translated from the German.
Identifiers: LCCN 2019013855 | ISBN 9781633885769 (hardcover) | ISBN 1633885763 (hardcover) | ISBN 9781633885776 (ebook) | ISBN 1633885771 (ebook)
Subjects: LCSH: Hawking, Stephen, 1942-2018. | Physicists—Great Britain—Biography. | Cosmology.
Classification: LCC QC16.H33 F5813 2019 | DDC 530.092 [B] —dc23
LC record available at https://lccn.loc.gov/2019013855

The paper used in this publication meets the minimum requirements of American National Standard for Information Sciences—Permanence of Paper for Printed Library Materials, ANSI/NISO Z39.48-1992.

المحتويات

مقدمة		٣
الفصل الأول	المتفردات : بداية الكون	٩
الفصل الثاني	موجات الجاذبية: عندما تتصادم الثقوب السوداء	٢٧
الفصل الثالث	إشعاع هوكينغ: لماذا الثقوب السوداء ليست سوداء كما كنا نعتقد؟	٤٤
الفصل الرابع	مفارقة المعلومات : كل شيء يستمر خلف أفق الحدث	٧١
الفصل الخامس	في المساحات اللانهائية للزمكان الإقليدي	٨٦

مقدمة

عندما كنت في السادسة عشرة من عمري، وقعت يداي على كتاب "تاريخ موجز للزمان" لستيفن هوكينغ. لم أكن أبحث مُستقصدًا عن الكتاب، ولم أكن حينها مهتمًا بشكل خاص بالعلوم الطبيعية. لكن لا بد أن شيئًا ما في الكتاب لفت انتباهي دون دراية. بدأت قراءة الفصل الأول هناك في المكتبة، فلم يكن لدي من المال ما يكفي لشراء الكتاب بعد. وبعد بضع زيارات أخرى، قرأت خلالها فصلين آخرين، أخذته معي إلى المنزل (بعد دفع ثمنه بالطبع) وقرأته حتى النهاية في جلسة واحدة.

يجب أن أعترف بأنني لم أفهم سوى جزء صغير من الكتاب، وهو شيء يشاركني فيه معظم القراء الآخرين.

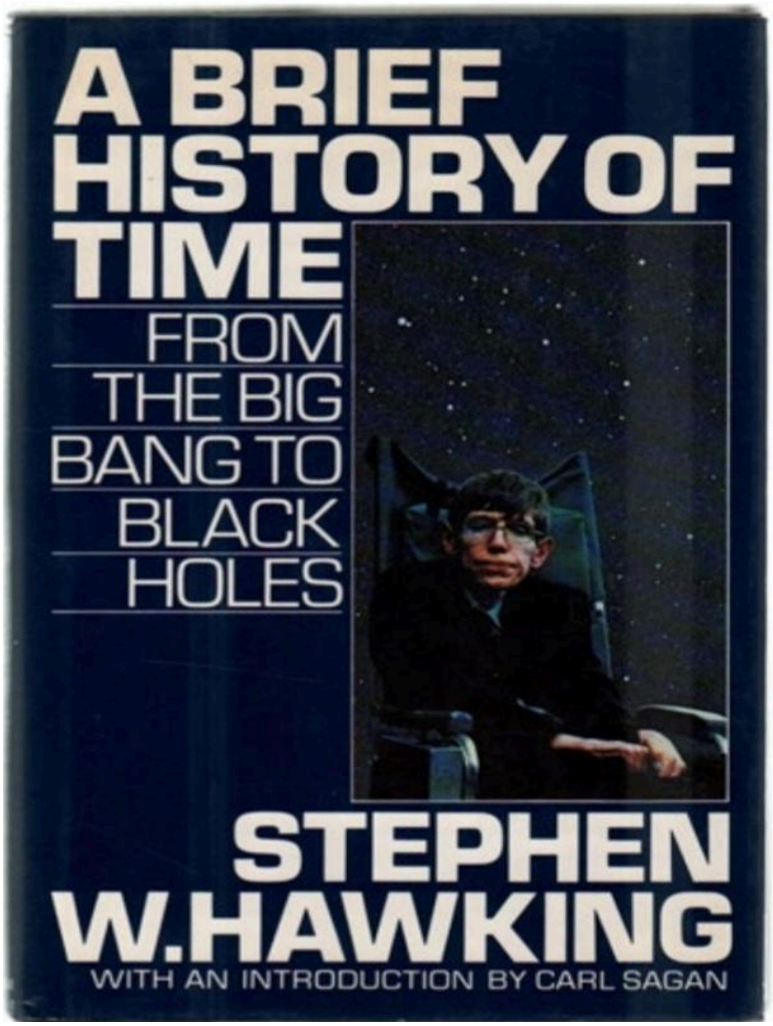
لكن ما أدركته على الفور هو أنه كان هناك عالَم رائع ، مليء بالأشياء التي تتجاوز فهمنا الطبيعي. أشياء من قبيل الثقوب السوداء، والتي لا يمكن لأي شيء الهروب منها ، ومن المحتمل جدًا أن تحمل في ثناياها الإجابات على العديد من الأسئلة الكُبرى. السؤال حول بداية الكون ونهايته، أو السؤال عن طبيعة الزمان. والسؤال النهائي نفسه:

لماذا هناك شيء بدلًا من لا شيء؟

ومع ذلك، فإن الشيء الذي أثار إعجابي أكثر في الكتاب، هو الشيء الذي بدا غير مفهوم تقريبًا في ذلك الوقت، وهو حقيقة أن مثل هذه الأسئلة يمكن الخوض فيها من قبل العلماء.

فقط من خلال قراءة كتاب هوكينغ أدركت أن الكون برمته هو موضوع بحثي للعلوم الطبيعية الحديثة وأن هناك

نظريات فيزيائية ومعادلات رياضية تُعنى بتشكله وخصائصه وتطوره. ورغم أنني لم أفكر في فهم هذه النظريات والمعادلات إلا أن هذه الفكرة استحوذت علي.



إن قراءة تاريخ موجز للزمان هو ما دفعني إلى اتخاذ قرار بدراسة علم الفلك. لم يشكل عدم نجاحي في الرياضيات في المدرسة أي فرق، فقد كنت أعلم أن ما علمني إياه أستاذي

(بطريقة سيئة وغير كافية إلى حد ما، كما أدرك الآن) لم يكن هو ما يهم حقًا. في دروس الرياضيات، تعلمنا فقط كيفية الحساب، وهو أمر ممل. ونتيجة لذلك، لم أبذل الكثير من الجهد. لكن ما تعلمته لاحقًا خلال دراستي لعلم الفلك في الجامعة لم يكن الرياضيات المدرسية، بل كانت اللغة التي تكشف لنا الطبيعة عن نفسها بها؛ اللغة التي من خلالها يمكن فهم أسرار الكون؛ اللغة التي استخدمها ستيفن هوكينغ عندما بدأ البحث عن إجابات لجميع الأسئلة الكبرى.

وجرت الأمور أن انتهى بي الأمر إلى عدم التخصص في علم الكونيات (الدراسة العلمية للكون ككل) وكرست نفسي بدلاً من ذلك لحركة الكويكبات والكواكب والأجرام السماوية الأخرى. لم يكن عملي العلمي أبدًا

متعلقًا بشكل مكثف بالثقوب السوداء، والانفجار الكبير، والقوانين الطبيعية الأساسية مثل أعمال ستيفن هوكينغ. لكنني تعلمت منه كم هو رائع هو الكون - وكم هو رائع مشاركة هذا السحر مع الآخرين.

نجح عدد قليل من العلماء مثل ستيفن هوكينغ في جعل جمال الكون في متناول عامة الناس. طوال مسيرته العلمية، لم يجتهد هوكينغ فقط للعثور على إجابات لأسئلة الإنسانية الكبرى - بل أنه تحدث أيضًا عن عمله بطريقة يمكن لأكبر عدد ممكن من الناس أن يتمتعوا في نتائجه. كان عبقري الفيزياء بكرسيه المتحرك وصوته المحوسب الثاقب يعرف أفضل من أي شخص آخر كيف ينقل الفرح والانبهار والرضا الذي يتأتى من دراسة الكون.

إن الاكتشافات التي قمت بها خلال مسيرتي العلمية لا تقترب من أهمية تلك التي حققها ستيفن هوكينغ. لكنني أيضًا مقتنع تمامًا بأنه من المهم، وقبل كل شيء، من المفيد للغاية مشاركة النتائج العلمية مع أكبر عدد ممكن من الجمهور. عندما أحاول في الصفحات التالية أن أجعل النتائج الأكثر أهمية لعمل هوكينغ مفهومة، فإنني أفعل ذلك على أمل أن تستمر في إلهام أكبر عدد ممكن من الناس ليشغلوا أنفسهم بالأسئلة الكبرى -وبالعلوم الطبيعية.

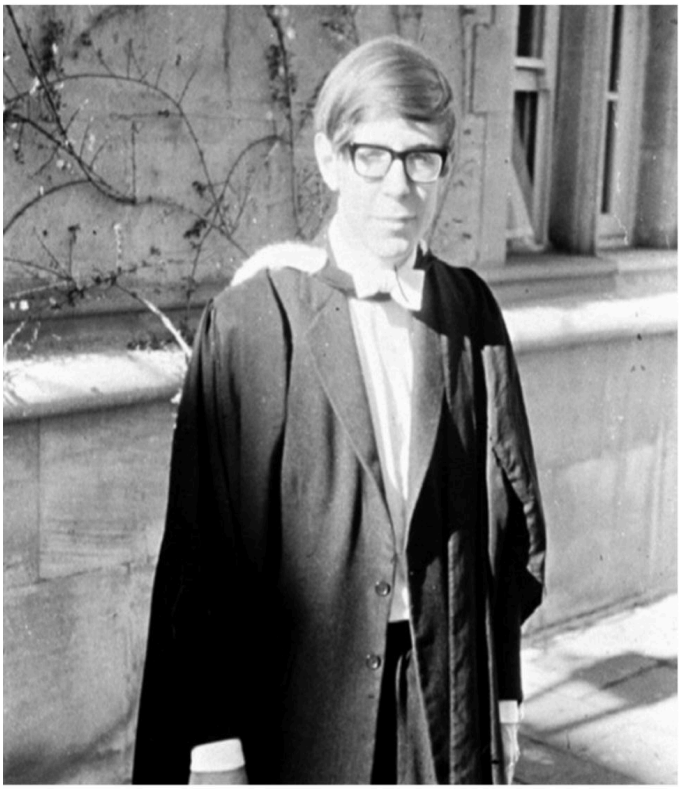
الفصل الأول

المتفردات Singularities

بداية الكون

بدأ ستيفن هوكينغ مسيرته العلمية متقصياً البداية الأولى: وهي **مسألة نشأة الكون.** لقد كانت هذه المسألة محل اهتمام الفلاسفة واللاهوتيون لعدة قرون، ولكن في القرن العشرين، بدأت العلوم الطبيعية أيضًا في تقصي أصل الكون.

قدم ألبرت أينشتاين بنظريته النسبية العامة الأداة التي سمحت بدراسة الكون ككل واحد، والتي استمر عدد لا يحصى من العلماء في استخدامها، بما في ذلك الشاب ستيفن هوكينغ.



الشاب ستيفن هوكينغ

في 18 أكتوبر 1966، وهو العام الذي أنهى فيه هوكينغ دراسة الدكتوراه في جامعة كامبريدج، نشر مقالًا بعنوان **"ظهور المتفردات في علم الكونيات"**، والذي كان يدور حول ماضي الكون ومسألة "المتفردات". ويرتبط مصطلح المتفردات ارتباطًا وثيقًا بالزمكان الاينشتايني، وهو أحد

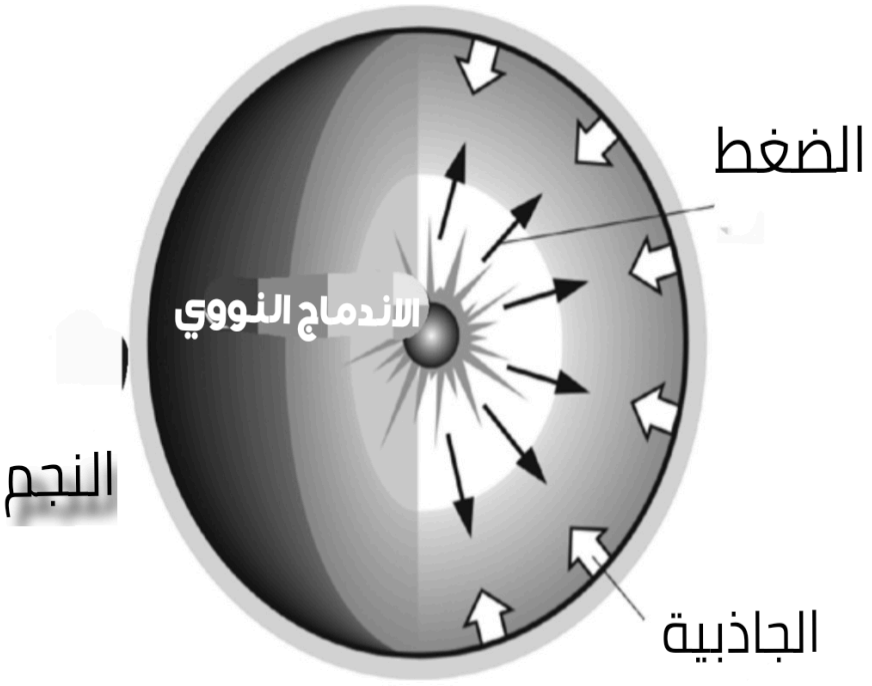
الإنجازات الكبرى العديدة لأينشتاين وهو أمر لا يزال يشغل العلماء حتى يومنا هذا. كان الناس قبل أينشتاين ملتزمين بما قاله إسحاق نيوتن حول هذا الموضوع: حيث المكان هو المكان، والزمان هو الزمان.

كل منهما مستقل عن الآخر ومُطلق وإننا نَخبُر إذ نَخبُر جميع الحوادث في ميدانهما بنفس المعدل. فالزمان والمكان بمثابة المسرح الجامد الذي يُعرض فيه كل حدث في الكون. لكن أينشتاين درء هذه الفكرة تمامًا وأثبت أن **أبعاد المكان الثلاثة والبعد الواحد للزمان مرتبطان ارتباطًا وثيقًا في شكل زمكان رباعي الأبعاد.** منذ أينشتاين، أدركنا أن الكيفية التي يبدو لنا بها المكان، والطريقة التي ندرك بها الزمان، كلاهما **يعتمدان على مدى سرعة حركتنا.** بمعنى آخر، الزمان والمكان **ليسا مفهومين مطلقين متساويين عند الجميع**، بل يبدوان **مختلفين لكل مراقب.** لقد حوّل أينشتاين

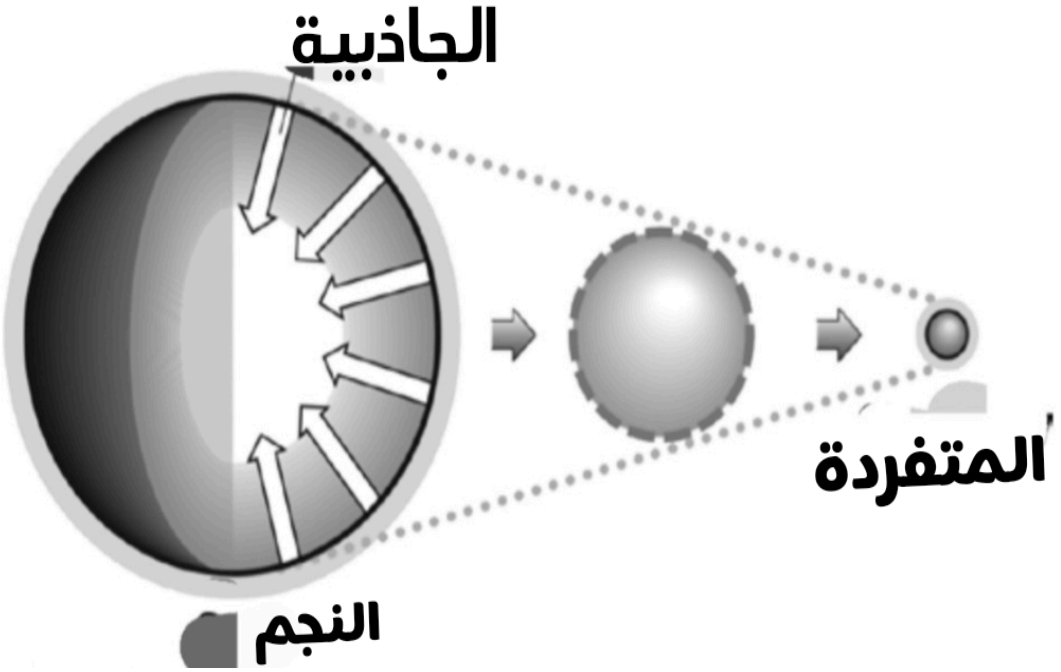
المسرح النيوتني لقوانين الطبيعة إلى موجود فيزيائي: الزمكان بحد ذاته خاضع للفيزياء، كما أن له خصائص ويمكن أن يتغير. وعلاوة على كل ذلك ، يمكن تشكيله: فالكتلة والطاقة تشوهان الزمكان، و تتراءى لنا تلك القوة المتفاوتة لهذا التشوه **كاختلاف في قوة الجاذبية.**

كل هذا محير بما فيه الكفاية. ولكن ما إن زاد تمعن العلماء وخوضهم في معادلات أينشتاين، أصبح الأمر برمته أكثر تعقيدًا، لأنهم **اصطدموا بالمتفردات.** لقد تراءى هذا الأمر للعلماء فقط عندما قاموا بدراسة تطور النجوم. حيث تلك الكرات الضخمة من الغازات الساخنة والتي يحدث بداخلها الاندماج النووي. وبالتالي تنبعث الطاقة المنطلقة إلى الخارج وتضغط على مادة النجوم.

يعمل هذا الضغط الإشعاعي كَند لقوة الجاذبية، حيث يستمر النجم في محاولة الانهيار على نفسه تحت ثقله/وزنه. ولكن عندما لا يتمكن النجم، في نهاية حياته، من إجراء الاندماج النووي بسبب نقص المادة، سوف ينتفي الضغط. وبالتالي تكتسب الجاذبية اليد العليا، وينهار النجم على نفسه ويصبح أصغر حجمًا، مع ضغط المادة التي يتكون منها بشكل أكثر كثافة.



من الممكن أن يتوقف هذا الانهيار عندما تكون الذرات متراصة بشكل وثيق، ولا تعود جاذبية النجم كافية للضغط عليها بشكل أقرب من بعضها البعض. أما إذا كان النجم ذو كتلة عالية بما فيه الكفاية، **فلا توجد قوة معروفة يمكنها إيقاف الانهيار.** وتُظهر معادلات النظرية النسبية أن النجم يغدو أصغر حجما وأكثر كثافة، إلى أن تتراص مادته برمتها في نقطة واحدة صغيرة. فيزداد تشوه الزمكان المحيط بالنجم المحتضر خلال هذا الانهيار، حتى يبلغ النقطة التي يكون فيها هذا التشوه وكثافة النجم عظيمتين بشكل لا نهائي ويصبح النجم نفسه صغيرًا بشكل لا نهائي. **هذه الحالة، التي تصبح فيها الأبعاد الفيزيائية لا نهائية، هي ما تسمى ب "المتفردة".**



إذا كان مصير النجم كما قد وصِف أعلاه، فإننا نشير إليه على أنه "ثقب أسود"، لكن ليس في إمكاننا متابعة تطوره حتى ينتهي به الأمر كمتفردة. ولم لا؟ حسنًا، لأنه لا يسعنا الوصول لمزيد من المعلومات حول هذه النهاية، فعندما يصبح الزمكان مشوهًا بشكل مضطرد أثناء انهيار النجم، يؤدي هذا إلى تزايد قوة جذب النجم باستمرار. وكلما كانت جاذبية الجسم أقوى، زادت الحاجة إلى طاقة أكبر للإفلات عن هذا الجسم.

خذ الأرض، على سبيل المثال، للإفلات من جاذبيتها ، يجب أن تتحرك بسرعة لا تقل عن 11.2 كيلومتر في الثانية. كلما زاد انحناء الزمكان، كلما زادت "سرعة الهروب". **في حالة انهيار النجم وما يتبع ذلك من زيادة في تشوه الزمكان ومن ثم زيادة مهولة في الجاذبية، سنصل إلى نقطة تكون فيها السرعة المطلوبة للإفلات منه مساوية لسرعة الضوء**، مما يعني أنه سيكون من الضروري التحرك بسرعة أكبر من الضوء للهروب من قوة الجاذبية، **وهذا مستحيل**. ويشار إلى هذا الحد باسم "**أفق الحدث event horizon**" والذي يأطر ما يمكن أن نراه من الخارج على أنه ثقب أسود. ومن الممكن الاقتراب من الثقب الأسود إلى حافة أفق الحدث، (وهذا يعني أنك سريع بما فيه الكفاية للهرب مجددًا)، لكن ما أن تتجاوز أفق الحدث فقد فات الأوان. ولهذا السبب فإن كل شيء قابع وراء أفق الحدث يكون غير

مرئي لنا نحن المترصدين في الخارج. لا شيء يمكن أن يهرب صوبنا من هناك، وبالتالي لا نعرف ما الذي يقبع خلفه بالفعل. **تنص النظرية النسبية على أن النجم الموجود خلف أفق الحدث يستمر في الانهيار، حتى ينتهي به الأمر كمتفردة.**

ومع ذلك، فإن أفق الحدث في الواقع ليس غامضًا كما يبدو من الناحية النظرية. فلا يمكنك رؤيته، فهو ليس نقطة حقيقية في الفضاء، وليس حاجزًا ماديًا. إذا اقتربت من ثقب أسود حقيقي، فلن تلاحظ أي شيء مميز عندما تعبر أفق الحدث. ولكن فقط عندما تريد المغادرة مرة أخرى، أو عندما تصادف المتفردة نفسها ستواجه مشكلة.

لقد عرف العلماء بالطبع أن **المتفردات لا تتماشى مع الواقع.** فالأشياء الصغيرة صغرًا لا نهائيًا هي حبيسة عالم الرياضيات ولا يمكن أن توجد خارجه. فإذا ظهرت المتفردات في أي نظرية فهذه علامة على أن النظرية المستخدمة لم تعد صالحة ولذلك نحن ملزمون أن نبحث عن بديل آخر. ولكن في ستينيات القرن العشرين، كان الناس لا يزالون يعتقدون أننا نستطيع ببساطة، إذا لزم الأمر، أن **نتجاهل مثل هذه الحالات.** كان يُعتقد (وكان من المأمول) أن المتفردات الناشئة عن النظرية النسبية كانت **مجرد زيغ رياضي،** تولد عن بعض الافتراضات التي **تم وضعها لأغراض التبسيط** عند استخدام النظرية. يمكن تفسير هذه النقطة باستخدام مثال أقل غموضًا: قانون كولوم هو صيغة رياضية تصف مدى قوة الجذب الكهروستاتيكية بين شحنتين كهربائيتين. إذا كانت المسافة بين الشحنتين

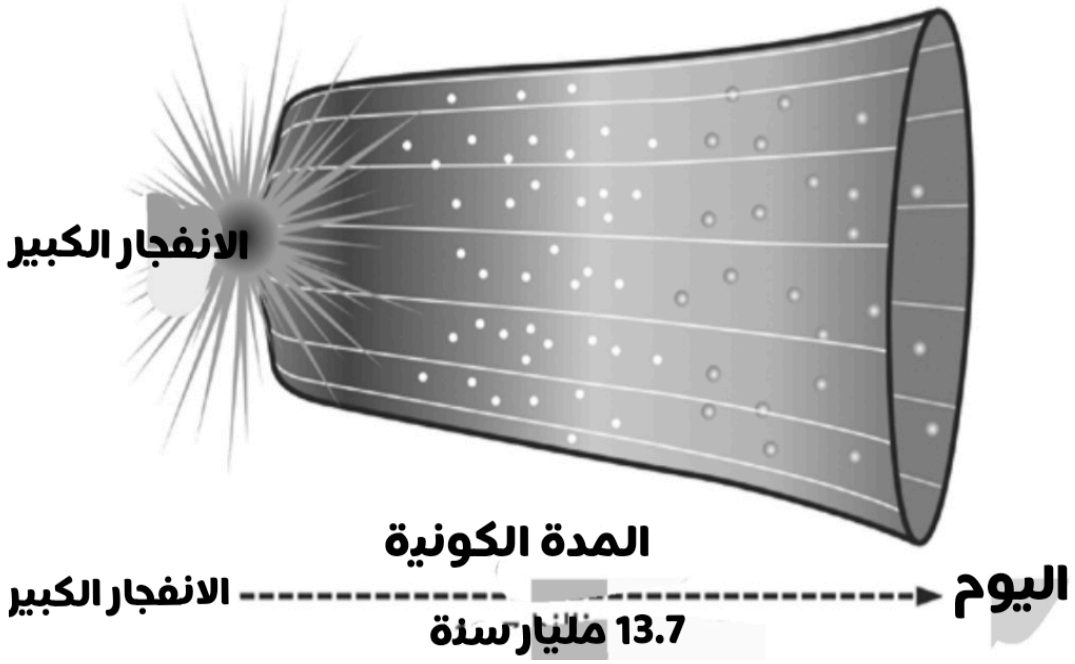
تساوي صفرًا، فإن الصيغة تنص على أن **قوة الجذب كبيرة بلا نهاية.** وهنا مرة أخرى، هناك قيمة كبيرة بلا نهاية، وهناك متفردة موجود في الصيغة. ولكنها تنشأ من المثالية الرياضية : يصف هذا القانون الجسيمات كالذرات على أنها نقاط "كائنات بدون أبعاد". يمكن لنقطتين – من الناحية الرياضية – أن تقتربا من بعضهما البعض لدرجة أن المسافة بينهما تساوي الصفر. ومع ذلك، فإن **الجسيمات الحقيقية ليست نقاطًا أبدًا.** وبدلًا من ذلك، فهي جسيمات ذات أبعاد، رغم أنها قد تكون صغيرة جدًا، إلا أنها موجودة بالفعل. والمسافة بين الجسيمات الحقيقية **لا يمكن أن تصبح صفراً.** إن المتفردة في قانون كولوم هي في الواقع مجرد نتيجة للافتراضات الضمنية التي قُدمت عند استخدام النظرية. وكان من المأمول أن يكون الأمر نفسه

بخصوص المتفردات في النظرية النسبية، ويمكن تفسير موت النجوم بدونها.

لكن بالعودة إلى هوكينغ، فإن جوهر مقالته عن المتفردات لم يكن مُنصَبًا على النجوم المنهارة. لقد كان مهتمًا بالصورة الأكبر بكثير، أي الكون بأكمله، واستخدم النجوم المنهارة لرسم أوجه التشابه مع تطور الكون.

كشف رصد المجرات الذي أجراه عالم الفلك الأمريكي إدوين هابل وزملاؤه في عشرينيات القرن العشرين أن **الكون ديناميكي.** في السابق، كان الناس يظنون أن الكون ساكن، فهو كان وسيظل هناك دائمًا، بلا بداية ولا نهاية. لكن هابل اكتشف أن جميع المجرات كانت تبتعد عن بعضها البعض، وأن الكون كان يتوسع ويزداد حجمه

شيئًا فشيئًا، من لحظة إلى أخرى. ولكن إذا تغاضينا عن المستقبل، وعدنا إلى الماضي، فسوف ينقلب الوضع. كلما **نظرنا إلى الوراء، كلما كان الكون أصغر.** ولكن ماذا يحدث إذا عدنا إلى الماضي السحيق للكون؟



يصبح الزمكان أصغر فأصغر، مع انضغاط المزيد والمزيد من المادة معًا في مساحة أصغر. وبعبارة أخرى، فإن الوضع يشبه انهيار النجم. وكما يمكننا استخدام معادلات أينشتاين لوصف هذه البؤر من الزمكان، يمكننا أيضًا

حساب كيفية تصرف الزمكان في مجمله. كانت هذه هي الخطوة الثورية التي كان هوكينغ أول من اتخذها، وهنا أيضًا، تصادم مع المتفردات.

إذا كان الكون بالفعل أصغر في الماضي مما هو عليه اليوم، فقد أدرك هوكينغ أن هناك احتمالين لحالته الأولية. إما أن الكون كان في يوم من الأيام في حالة وصلت فيها كثافته إلى قيمة قصوى (**كبيرة جدًا، ولكنها ليست لا نهائية**). أو كان هناك في الماضي متفردة كونية، أي حالة تتركز فيها كتلة الكون بأكملها في نقطة واحدة: نقطة ذات كثافة ودرجة حرارة وانحناء في الفضاء "لا نهائيات".

اكتشف العلماء هذا الوضع المقلق في معادلات أينشتاين في عشرينيات القرن العشرين. وبما أن المعادلات كانت

معقدة بشكل كبير، فإنه لا يمكن حلها إلا إذا تم وضع افتراضات محددة للغاية فيما يتعلق بتوزيع المادة في الكون وتناظر الكون، وما إلى ذلك. وبالتالي نوقش وكان مؤملًا أن تختفي المتفردات من النظرية إذا تم وضع افتراضات أقل خصوصية، وبالتالي أكثر واقعية، حول خصائص الكون.

كان هذا هو المكان الذي حقق فيه ستيفن هوكينغ عظمته في أكتوبر 1966. ومع ذلك، **لم يوضح في مقالته طريقة لإزالة المتفردات من النظرية النسبية. بل أظهر استحاله الهروب منها.** لقد بيّن أن مجرد عدد قليل من الافتراضات المعقولة والواقعية حول الكون - وهي أن النظرية النسبية العامة **صحيحة**، وأن الكون يحتوي على الأقل على أكبر قدر

يمكن ملاحظته من **الكتلة** - كانت كافية لتضعنا في نهاية المطاف وجها لوجه أمام المتفردات مرة أخرى.

بمعنى آخر، تمكن ستيفن هوكينغ من إثبات أن المتفردة في بداية الكون **لم تكُن شذوذًا رياضيًا في النظرية النسبية العامة.** وإذا افترضنا أن النظرية صائبة، كما فعل هوكينغ في عمله، فإن المتفردات تنشأ مباشرة من هذا الادعاء.

ببساطة لا يمكن تجنبها في النظرية النسبية العامة، مهما حاولنا. **إنها متأصلة في النظرية،** وليس لنا إلا التصالح مع المتفردات.

إذا طبقنا نظرية أينشتاين على الكون، فسوف ينتهي بنا الأمر إلى حالة في الماضي حيث كان كل شيء متركزًا في **نقطة واحدة ذات كثافة ودرجة حرارة لا نهائيتين،** وهي

نتيجة مُبهرة لأكثر من سبب. أولاً، أكدت نظرية "الانفجار الكبير" - وهي فكرة أن الكون كانت له بداية في وقت ما في الماضي وتطور إلى ما هو عليه اليوم من هذه النقطة الأولية. ثانيًا، قدمت أيضًا دليلًا أكثر وضوحًا على أن التفسير الكلاسيكي لماضي الكون **لا يتماشى دائمًا مع معادلات أينشتاين**، لأنك إذا رجعت بما فيه الكفاية إلى الماضي، فإنك تصل بالضرورة إلى المتفردة (بأبعادها الفيزيائية اللانهائية)، والتي ليست على وئام مع نظرية أينشتاين النسبية عن الكون.

كوننا تهيمن عليه الجاذبية، ولأن هذا هو الحال، كما تمكن هوكينغ من إثباته، فإننا نجد المتفردات في النظرية النسبية، خاصة عندما نصبو إلى الماضي ونرغب في مراقبة بداية الكون. **لقد أظهر هوكينغ أن الكون لا بد أن يكون قد**

بدأ بمتفردة، وأننا لا نستطيع الاعتماد فقط على ألبرت أينشتاين. علينا أن نجد نهجًا آخر لشرح الكون إذا أردنا حقًا أن نفهم كيف بدأ كل شيء. نحن بحاجة إلى نظرية تتجاوز نظرية أينشتاين النسبية التي لا يغدو فيها الانفجار الكبير مجرد متفردة مُبهمة بطبيعتها. وكان هذا البحث هو الذي خصص له هوكينغ جزءًا كبيرًا من بقية حياته المهنية.

الفصل الثاني
موجات الجاذبية

عندما تتصادم الثقوب السوداء

إن أبحاث ستيفن هوكينغ حول متفردة بداية الكون قد أحالته عالمًا مشهورًا في نهاية الستينيات، وقدمت مساهمة كبيرة في فهم أوضح للكون. ومع ذلك، في السنوات التي تلت ذلك، كرس هوكينغ نفسه للأشياء الأكثر صلةً بعمله العلمي اليوم من زحمة المواضيع التي تناولها : **الثقوب السوداء.**

في عام 1970، نشر هوكينغ وغاري جيبونز مقالا عن موجات الجاذبية، "نظرية للكشف عن الانفجارات القصيرة لإشعاع الجاذبية". وهنا مرة أخرى نجد هوكينغ

يعمل في مجال حيث يتجلى الاختلاف بين إسحاق نيوتن وألبرت أينشتاين.

في وصفه الرياضي للجاذبية، أوضح نيوتن أن الجاذبية قوة تنتشر **بسرعة لا نهائية.** في حين خالفه أينشتاين الذي وصفت نظريته الجاذبية بأنها تشوه للزمكان. وقال إن الجاذبية المتمثلة بتشوه الزمكان لا يمكن أن تنتشر بسرعة لا نهائية، لكنها تنتشر "فقط" **بسرعة الضوء.**

يمكن مقارنة موجات الجاذبية بموجات الضوء. إذا كان من الممكن وصف موجات الضوء على أنها تغيرات في المجال الكهرومغناطيسي الممتد في الكون، فيمكن فهم **موجات الجاذبية على أنها تشوهات مثيله من الزمكان الممتد.** ومع ذلك، فإن إثباتها أصعب بكثير من إثبات الإشعاع الكهرومغناطيسي.

في العلوم المبسطة للعامة، غالبًا ما يتم تبيان الجاذبية بمساعدة مُلاءَة/ قطعة مطاطية: حيث توضع كرات ذات أوزان مختلفة، مصممة لتمثيل الكواكب والنجوم، على الملاءة المطاطية، مسببة تشوهها بعد ذلك بدرجات مختلفة، اعتمادًا على ثقل الكرات، **وبالمثل كذلك تسبب الأجسام الحقيقية الموجودة في الكون تشوهًا للزمكان** الذي هو في الواقع ليس بمثل مرونة الملاءة المطاطية.

تنتج موجات الجاذبية بواسطة جميع الكتل المتحركة (المتسارعة)، ولكنها فقط في **الأحداث الأكثر تطرفًا** تكون قوية بما يكفي بحيث تكون لدينا على الأقل فرصة نظرية لقياسها باستخدام أدواتنا.

هناك حاجة إلى **نجوم متفجرة أو ثقوب سوداء متصادمة** لتفعيل أجهزة الكشف عن موجات الجاذبية العملاقة مثل المرصد الأمريكي لموجات الجاذبية بالليزر (LIGO).
وحدث هذا فقط في عام 2016، أي بعد مرور مائة عام تقريبًا على توقع أينشتاين لهذه الظاهرة لأول مرة.

كما ترون، فإن البحث عن موجات الجاذبية لم يكن مهمة سهلة بالنسبة للعلماء. عندما تتحرك موجة الجاذبية عبر الكون، فإنها **تمد الفضاء نفسه.** عندما تلتقي بالأرض في طريقها، تصبح الأرض أيضًا أطول أو أقصر قليلاً للحظة وجيزة، على الرغم من أن "أطول" و"أقصر" مصطلحان نسبيان هنا، نظرًا لأن كل أداة قياس ستتغير أبعاد ها أيضًا بالمثل. ولكن لإثبات وجود هذه الظاهرة، تم استخدام تقنية تسمى **قياس التداخل.** ببساطة، يتضمن ذلك إنشاء

شعاع ليزر يُقسم بواسطة مرآة إلى شعاعين يتباعدان عن بعضهما البعض بزوايا قائمة. وبعد مسافة معينة، ينعكس كل من الشعاعين في المرآة ويعودان إلى نقطة البداية[1]. إذا كانت المسافات التي قطعها الشعاعان متساوية الطول تمامًا، فإن الشعاعين سيعودان إلى هذه النقطة في نفس الوقت تمامًا ويتداخلان مع بعضهما البعض بتداخل هدام يسبب **أن يلغي أحدهما الآخر.** وبالتالي لا تظهر نتيجة على الكاشف الموضوع هناك.

أما إذا صدمت موجة الجاذبية الأرض، فإن المسافات تتغير. فإذا شُدّت الأرض أو ضُغطت في اتجاهات مختلفة، فإن المسافة التي يقطعها شعاع الليزر ستكون أيضًا أطول أو أقصر. ولكن نظرًا لعدم وجود شعاع ليزر واحد فقط، بل شعاعان يتحركان بزوايا قائمة تجاه بعضهما البعض، **فإن التغيير**

---

[1] النقطة التي انقسم بها الشعاع إلى شعاعين

ليس متطابقًا لكليهما. فإذا طالت مسافة أحد الشعاعين، أصبحت الأخرى أقصر، والعكس صحيح. على أية حال، سينتج عن موجة الجاذبية تلك أن شعاعي الليزر لن يعودا إلى الكاشف في نفس اللحظة، وبالتالي لا يمكنهما الغاء بعضهما البعض هناك، بل بدلاً من ذلك **ينتج عنهما إشارة يمكن قياسها على الكاشف الموضوع.**

ومع ذلك، فإن تأثيرات موجة الجاذبية **ضئيلة.** تقطع أشعة ليزر LIGO مسافة أربعة كيلومترات قبل أن تنعكس. ومع ذلك، فإن التغير في طول هذه المسافة **أصغر بآلاف المرات من قطر نواة الذرة،** ويتطلب الأمر تكنولوجيا متطورة للغاية للكشف عن مثل هذا التأثير المتناهي الصغر. قبل كل شيء، علينا أن نكون متأكدين من أننا اكتشفنا بالفعل موجة جاذبية، وليس شيئًا آخر، مثل سيارة تمر

بالقرب منا، أو زلزال في مكان ما في العالم، أو أي مصدر آخر للاضطرابات. **ولهذا السبب لا يتكون مرصد LIGO من منشأة واحدة فحسب**، بل يتكون من كاشفين متطابقين يفصل بينهما مسافة ثلاثة آلاف كيلومتر. **فقط عندما يكتشف كلاهما نفس الإشارة، نعلم أننا نتعامل مع ظاهرة فلكية.**

استغرق تخطيط وبناء واختبار مرصد LIGO عقودا من الزمن، ولكن كل هذا العمل أثبت أخيرا قيمته في 14 سبتمبر 2015. في ذلك اليوم، تم الكشف عن موجات الجاذبية الأولى، وبعد تقييم النتائج بشكل شامل، تم الإعلان عن الاكتشاف رسميا في 11 فبراير2016.

في وقت مبكر من عام 1958، أعلن الفيزيائي جوزيف ويبر اكتشاف موجات الجاذبية باستخدام تجربة أبسط بكثير. وحتى اليوم، لا يزال من غير الواضح تمامًا ما إذا كان ما اعتقد ويبر أنه اكتشفه في ذلك الوقت يرجع إلى خطأ في القياس، سواء كان قد اكتشف بالفعل موجات الجاذبية أم لا (مع ميل رأي الأغلبية نحو فكرة القياس الخاطئة). ومع ذلك، قام الفيزيائيون النظريون بالتحقيق في قياسات ويبر، وتكهن هوكينغ نفسه في مقالة عام 1970 التي سبق ذكرها عن **طرق الكشف التي من شأنها توضيح الأمر.** قام بحساب مدى قوة موجات الجاذبية التي تنشأ أثناء الظواهر الفلكية واقترح كيفية بناء أجهزة الكشف المناسبة. واقترح أيضًا القيام بما فعله مرصد LIGO بعد ذلك، وهو بناء أكثر من كاشف واحد حتى يمكن معرفة المصدر الدقيق للإشارة.

وبعد مرور عام، نُشر مقال آخر لهوكينغ بعنوان "**إشعاع الجاذبية الناتج عن اصطدام الثقوب السوداء**". لقد كان أيضًا مهتمًا بموجات الجاذبية، لكنه ذهب إلى ما هو أبعد من مسألة اكتشافها. في هذه المقالة، نشر هوكينغ ما يعرف اليوم باسم "**مبرهنة المساحة**".

عندما يصطدم ثقبان أسودان، مثل الحدث الذي أدى إلى أول دليل على وجود موجات الجاذبية في عام 2016، **ينشأ ثقب أسود جديد بكتلة أكبر. وكلما زادت كتلة الثقب الأسود ، زاد أفق الحدث خاصته.** وتمكن هوكينغ من إثبات أن **أفق الحدث للثقب الأسود الناتج عن الاندماج يكون دائمًا أكبر من مجموع مساحتي أفقي الحدث للثقبين الأسودين المنفردين.**

أثبت هوكينغ أن الثقوب السوداء يمكنها بالفعل إصدار موجات جاذبية عندما تصطدم. وبذلك تخسر الطاقة، والثقب الأسود الناتج عن الاصطدام له كتلة أقل من كتلة الثقبين الأسودين الأصليين معًا. ومع ذلك، **لا يمكن أن تنقص مساحة السطح التي تشكل أفق الحدث بأكملها.** لقد أوضح اشتقاق هوكينغ الرياضي تمامًا أنه **أيًا كانت العمليات الفيزيائية التي قد تحدث، فإن أفق الحدث للثقب الأسود لا يصبح أصغر أبدًا**، وهو الأمر الذي يحيلنا إلى منظومة فيزيائية مختلفة تمامًا، وهي **الديناميكا الحرارية "الثرموديناميك".**

تحتوي الديناميكا الحرارية على أربعة قوانين أساسية، تسمى قوانين الثرموداينمك. وأهمها هو القانون الثاني، الذي يتناول

الإنتروبيا. ببساطة، **يمكن تعريف إنتروبيا النظام على أنها مقياس لاضطرابه.**

خذ الكتاب على سبيل المثال، هو نظام منظم للغاية؛ لكل صفحة مكان واحد صحيح على وجه التحديد، ويوجد ترتيب واحد محدد يتم فيه ترقيم جميع الصفحات بشكل صحيح واحدة تلو الأخرى. ومن ناحية أخرى، **هناك العديد والعديد من الطرق لترتيب صفحات الكتاب بشكل خاطئ.** إذا قمت برمي كومة من الصفحات المرقمة وغير المرتبة في الهواء، فمن المستبعد جدًا أن تستقر على الأرض بالترتيب الصحيح الوحيد ﴿ انتقال من حالة الإنتروبيا العالية (الصفحات غير المنتظمة) إلى حالة منخفضة (الصفحات المرتبة).﴾ ومن المحتمل جدًا أنك ستحصل بدلاً من ذلك على واحدة من الحالات العديدة الأخرى المضطربة بترتيب غير منتظم للصفحات. إذا أردت تحويل الحالة غير

المضطربة إلى حالة منظمة، فسيتعين عليك **بذل طاقة في النظام** المتمثل هنا بالكتاب حيث سيتعين عليك بذل الطاقة بفرز الصفحات باليد واحدة تلو الأخرى. وإلا فلن يكون لديك أي فرصة لتقليل الإنتروبيا.

ينص القانون الثاني للديناميكا الحرارية على أن إنتروبيا كل نظام فيزيائي "معزول" لا يمكن أن تنخفض أبدًا. ومع ذلك، فإن الأنظمة **المعزولة تمامًا** لا توجد إلا بشكل من الناحية النظرية ليس إلا أو لفترات قصيرة من الزمن. على سبيل المثال، القهوة الساخنة في دورق الترمس، تقترب من كونها نظامًا معزولًا لبعض الوقت، مع عدم انتقال الطاقة بين داخل الدورق وخارجه. ولكن في النهاية، تجري عملية نقل، وستصبح القهوة باردة في النهاية. **النظام الوحيد المعزول حقًا في الفيزياء هو الكون بأكمله.**

تتماثل الإنتروبيا مع مساحة سطح أفق الحدث للثقب الأسود. فكلاهما لا يمكن أن يصبح أصغر من تلقاء نفسه. ولكن المشاكل تتأتى من حقيقة **أن الثقوب السوداء نفسها يجب أن تحتوي على إنتروبيا**، وإلا فإنها ستتعارض مع القانون الثاني للديناميكا الحرارية.

في عام 1972، اكتشف عالم الفيزياء النظرية جاكوب بيكنشتاين طريقة مبتكرة للتغلب على هذه المعضلة. لقد أخذ التطابقات (الشكلية فقط حتى ذلك الحين) بين أفق الحدث للثقب الأسود والإنتروبيا بشكل حرفي، **وعرّف إنتروبيا الثقب الأسود بأنها ببساطة مساحة سطح أفق الحدث** (مضروبة في بعض الثوابت الأساسية). كانت هذه خطوة غير متوقعة، نظرًا لأن حقيقة تشابه الصيغتين مع بعضهما البعض لا تعني بالضرورة أن ثمة توائمًا فيزيائيًا

فعليًا. لكن هذا كان بالضبط اقتراح بيكنشتاين، إذا رميت شيئًا ما في ثقب أسود، فإن كتلة الثقب الأسود، وبالتالي أفق الحدث خاصته، يصبح أكبر. إذا قمت بتعريف مساحة سطح أفق الحدث على أنها إنتروبيا، فإن الانتروبيا تصبح أكبر أيضًا، كبيرة إلى المدى الذي توازن به الإنتروبيا التي اختفت خلف أفق الحدث.[2]

في البداية، لم يكن هوكينغ معجبًا بفكرة بيكنشتاين على الإطلاق، لكنه أعجب بعد ذلك بفائدتها، واستمر في استجلاء التماثل بين خصائص الثقوب السوداء والديناميكا الحرارية إلى أبعد من ذلك. نشر مع جون باردين وبراندون كارتر مقالًا في عام 1973 بعنوان "**القوانين الأربعة لميكانيكا الثقب الأسود**"، حيث صاغوا أربعة قوانين حول

---

[2] يسقط الجسم في الثقب الأسود ⬅️ تزداد كتلة الثقب الأسود ⬅️ تزداد مساحة أفق الحدث ⬅️ **الانتروبيا التي تساوي مساحة أفق الحدث"اقتراح بيكنشتاين"** تعوض الانتروبيا الضائعة مع سقوط الجسم في الثقب الأسود.

الثقوب السوداء يمكن اعتبارها مماثلة للقوانين الأربعة للديناميكا الحرارية.

إلى جانب القانون الخاص بالإنتروبيا، هناك قانون آخر للديناميكا الحرارية يصف حفظ الطاقة، وهو أن الطاقة الداخلية لنظام معزول يجب أن تبقى ثابتة. وصف هوكينغ وزملاؤه علاقة مماثلة للطاقة الداخلية للثقب الأسود، والتي لا يمكن أن تتغير ببساطة . ينص قانون آخر للديناميكا الحرارية على أنه لا يمكن أبدًا تبريد النظام الفيزيائي إلى الصفر المطلق؛ يصف القانون المماثل للثقوب السوداء خاصية مشابهة بشأن قوة تسارع الجاذبية في أفق الحدث، والتي لا يمكن أن تختفي تمامًا أبدًا. وكما أن الاختلافات في درجات الحرارة في النظام الفيزيائي تتلاشى مع مرور الوقت حتى تغدو ذات الدرجة في جميع مواضع النظام ،

فإن هذا ينطبق أيضًا على تسارع الجاذبية عند أفق الحدث للثقب الأسود. فإذا ما اضمحلت جميع الاضطرابات الخارجية، فلا بد أن يكون معدل التسارع هو نفسه في كل مكان.

هذه العلاقة بين الثقوب السوداء والديناميكا الحرارية رائعة، ولكنها مربكة أيضًا. هل هي في الواقع مجرد تشاكهات شكلية بين الصيغ الرياضية التي تعمل بشكل جيد للغاية؟ أم أننا في الواقع نرى هنا روابط أساسية بين ظاهرتين يبدو للوهلة الأولى أنه لا علاقة لهما ببعضهما البعض؟

قبل كل شيء، كانت هناك مشكلة واحدة: إن مساواة بيكنشتاين لمساحة سطح أفق الحدث مع الإنتروبيا، إلى

جانب نظرية هوكينغ للمساحة، أثبتت أن الثقوب السوداء لا تتعارض مع قوانين الديناميكا الحرارية. لكن إذا كانت الثقوب السوداء أجسامًا خاضعة للديناميكا الحرارية، فلا بد أن تكون لها درجة حرارة أيضًا (حيث لا يمكن أن يبرد أي شيء إلى الصفر المطلق). وإذا كان للثقوب السوداء درجة حرارة، فيجب أن تطلق حرارة أو إشعاع. ومع ذلك، فهذا بالضبط ما لا تفعله الثقوب السوداء، بحكم تعريفها!

إنها معضلة كبيرة، لكنها معضلة تمكن هوكينغ من تحرير الفيزياء منها باكتشاف ظل حتى اليوم واحدًا من أهم مساهماته في الفيزياء النظرية.

الفصل الثالث

إشعاع هوكينغ

لماذا الثقوب السوداء ليست سوداء كما كنا نعتقد؟

إذا لم يكن ثمة تعارض بين الثقوب السوداء وقوانين الديناميكا الحرارية، فلابد للثقوب السوداء أن تبعث إشعاعًا شأنها شأن كل موجود. لكن **وسمها بالثقوب السوداء على وجه التحديد هو نتاج حقيقة أن لأي شيء يمكنه الهروب من قوة الجاذبية المُهيمنة خلف أفق الحدث.** إنها مفارقة، مشكلة يبدو أن لا حل لها. لكن ستيفن هوكينغ، في مقال نشره عام 1975 بعنوان "خلق الجسيمات بواسطة الثقوب السوداء"، باء لنا باكتشاف مذهل حقًا.

أثبت هوكينغ أن الثقوب السوداء ليست سوداء كما كان يُعتقد سابقًا. لقد مهدت أعماله السابقة الطريق لهذا الاكتشاف: عندما أثبت أن المتفردات هي نتيجة حتمية للنظرية النسبية العامة، أصبح من الواضح أن **النظرية النسبية لم تكن كل الحكاية.** إذا أردنا الاستعلام عن الحالات المتطرفة للزمكان مثل الانفجار الكبير أو الثقوب السوداء، فإن أفكار أينشتاين وحدها لا يمكنها أن تفي الغرض. ولكن لو توسلنا نظريات أخرى فإن من الممكن حلحلة مشكلة حرارة الثقب الأسود، وهذا بالضبط ما حاول هوكينغ فعله **بالانتقال إلى ميكانيكا الكم.**

ومع ذلك، يمكننا أن نرى هنا مشكلة أخرى مرتبطة بهذا القبيل من البحث وهي **استحالة العثور على تفسيرات بيّنة.** إن عمل هوكينغ رياضي بحت، ولا يمكن فهمه فهمًا كاملًا

إلا إذا تمكنت من الرياضيات التي يستخدمها. من الممكن في كثير من الأحيان العثور على **تقريب وصفي** للصيغ الرياضية. لكن ليس هذا هو الحال في كثير من الأحيان، خاصة عندما تفسر الرياضيات ظواهر لا تلعب أي دور في حياتنا اليومية. نحن البشر ليس لدينا أي علاقة بالزمكان المشوه للغاية في حياتنا اليومية، وليس لدينا إحساس بديهي لكيفية عمل أفق الحدث أو سلوك الجسيمات الأولية.

ولهذا السبب بالتحديد قمنا بتطوير التعريفات الرياضية للعلوم الطبيعية، حتى نتمكن من النظر، بطريقة موضوعية ومفهومة، في الأشياء التي لا يمكننا التفكير فيها بدون الرياضيات.

إن فهم الرياضيات إلى الحد الذي يمكنك من خلاله متابعة الظواهر التي تشرحها لا يقل صعوبة عن إتقان

التحدث بلغة أجنبية بطلاقة تامة. لا يمكننا جميعًا توفير الوقت لمثل هذا الغرض، ومع ذلك، ما زلنا نريد أن نعي ما اكتشفه العلماء مثل ستيفن هوكينغ عن الكون ، بترجمة نتائج الفيزياء النظرية إلى شكل يمكن استيعابه دون معرفة عميقة بالرياضيات. ولا بد من تبسيط الأمور وإيجاد المقارنات، وهذا يعني بالضرورة **التضحية بجزء من المعلومة الفعلية.**

لقد وجد ستيفن هوكينغ طريقة ناجعة لوصف إشعاع الثقوب السوداء في كتابه "تاريخ موجز للزمان". ومنذ ذلك الحين، نُشر هذا التوصيف بشكل مستمر، وبُسط كثيرًا، حتى انتهى بنا الأمر إلى وصف يمكننا فهمه بسهولة، ولكن **ليست تجمعه مع الظاهرة الفعلية المعنية سوى النزر القليل.**

التفسير المعتاد لـ "إشعاع هوكينج" للثقوب السوداء الذي يستخدمه العلم المبسط للعامة اليوم هو شيء من هذا القبيل: الفضاء الفارغ بين النجوم **ليس فارغًا تمامًا.** يمكن أن تنشأ في ثناياه ما يسمى **بالجسيمات الافتراضية.** قد يبدو الأمر غريبًا ولكنه في الحقيقة أمر طبيعي تمامًا ويحدث في كل مكان في الكون. تظهر أزواج من الجسيمات باستمرار، أحدهما من المادة والآخر من المادة المضادة. يعيش الجسيمان فقط لفترة قصيرة جدًا، **قصيرة جدًا لدرجة أن لا يمكن اعتبارهما موجودين في الواقع** ثم يقومان بافناء بعضهما البعض. ولا يمكن ملاحظة هذه الجسيمات الافتراضية بشكل مباشر، ولكن آثار وجودها أُثبتت بالتجارب.

وعندما يحدث أن تتشكل هذه الجسيمات على أفق حدث الثقب الأسود ، يمكن لأحد الجسيمين أن يهوي مجتازًا حدود الأفق بلا عودة. بينما يغدو الجسيم الشريك الموجود

على الجانب الآخر من أفق الحدث وحيدًا ليس لديه الآن من يمكنه الفناء معه بالمقابل، لذا فهو لا يُفنى ويرتحل بدلاً من ذلك جوّالًا في الفضاء السحيق، بينما **يبقى الجسيم الآخر مرهونًا إلى الأبد في ثنايا الثقب الأسود.** يمتلك الجسيم الذي سقط في الثقب الأسود **طاقة سالبة،** الأمر الذي يقلل من كتلة الثقب الأسود. لذلك يغدو الثقب الأسود أخف قليلاً، وفي الوقت نفسه، ينبعث الجسيم المرتحل كجسيم جديد إلى العالم كوليد من أفق الحدث. النتيجة؟ **الثقب الأسود "يشع"**، وكل شيء يتماشى مع الديناميكا الحرارية.

وهذا التفسير مشابه تمامًا للتفسير الذي استخدمه هوكينغ نفسه. وإن كان ليس بنفس الشيء تماما. ومن مميزات هذا التفسير أنه يمكننا بسهولة تخيل كيفية عمل إشعاع

هوكينغ، ولهذا السبب يحب الناس (بما في ذلك العلماء) استخدامه. ولكن له عيبًا كبيرًا، حيث أنه، كوصف للظاهرة الفعلية المعنية، **غير كافي أو حتى خاطئ** : لنتحدث قليلًا عن الطاقة السالبة، على سبيل المثال، لماذا يمتلك الجسيم الذي يسقط في الثقب الأسود طاقة سالبة؟ ما الذي من المفترض أن تعنيه "الطاقة السالبة"؟ **لماذا لا يقع أحيانًا جسيم عادي ذو طاقة موجبة في الثقب الأسود وبالتالي يوازن الطاقة السالبة؟** إذا لم نفهم المقصود هنا، فإن الظاهرة برمتها تظل غير مفهومة. وربما يكون هذا هو السبب وراء قول العديد من الكتب العلمية الشهيرة أيضًا إنه يجب دائمًا أن يكون الجسيم المضاد هو الذي يسقط في الثقب الأسود، ولهذا السبب تنخفض كتلة الثقب (وهذا في الواقع تفسير خاطئ تمامًا).

إن التفسير الذي كتبه ستيفن هوكينغ أكثر دقة إلى حد ما، على الرغم من أنه لم ليس بمثل هذه البساطة، ولكي نكون صادقين، فإنه بالكاد يمكن فهمه دون مزيد من التوضيح. عندما يتعلق الأمر بتفسير إشعاع هوكينغ مع أزواج الجسيمات في أفق الحدث، يبدو وكما لو أن هذا الإشعاع ينشأ **دائمًا** في أفق الحدث. **لكن هذا ليس هو الحال.** الملاحظة الرياضية، وهي الملاحظة الوحيدة الصحيحة لهذه الظاهرة، تبين أن إشعاع هوكينغ **يمكن أن ينشأ أيضًا على مسافة معينة من أفق الحدث.** إن الثقب الأسود محاط بـ"غلاف جوي" من إشعاع هوكينغ، وليس من الممكن تفسير هذه الظاهرة من خلال أزواج الجسيمات الموجودة في أفق الحدث حصرًا.

لهذا السبب، ربما يكون من المفيد العثور على تصور جديدة تمامًا لتفسير اكتشاف هوكينغ. وللقيام بذلك، نحتاج أولاً إلى توضيح سؤالين:

ما هو الجسيم؟

وما هو الفضاء؟

وكما سنرى، فإن وجود إشعاع هوكينغ ينبع من حقيقة عدم وجود إجابات محددة لهذه الأسئلة.

لنبدأ بالسؤال الأول. في ميكانيكا الكم، لم تعد الجسيمات توصف بأنها "كرات صغيرة" تلك التي ما زلنا نتخيلها عادة، بل أن **الجسيمات في ميكانيكا الكم اليوم توصف ك"استثارة للمجالات".** يمكنك أن تتخيل الكون عاجًّا بالمجالات، مثل المجال الكهرومغناطيسي الذي **إذا ما وضعت ما يكفي من الطاقة فيه، فإن هذا الإستثارة يمكن أن تنتج "جسيمًا".**

في حالة المجال الكهرومغناطيسي ستظهر هذه الاستثارة

ك"فوتونًا/جسيمًا ضوئيًا". ولكن هناك أيضًا "مجالات للمادة"، مثل مجال الإلكترون، والذي من شأنه أن ينتج إلكترونًا عند استثارته.

ومع ذلك، نظرًا لأن ما نعتبره في ميكانيكا الكم "جسيمات" ليس جسيمات بل هو في الواقع مجالات، **فمن المستحيل تحديد موضع دقيق للجسيمات المذكورة.** بكل بساطة، بما أن المجال موجود في كل مكان، فإن كل جسيم موجود أيضًا في كل مكان إلى حد ما. فقط عندما نستقصي قياسًا ملموسًا لموضع الجسيم، نعرف مكانه. لكننا إذا أمكن لنا أن نقع على موضع الجسيم بالضبط، فإن هذا القياس يؤدي إلى عدم قدرتنا على تحديد مدى سرعة حركة الجسيم. هذا هو **مبدأ عدم اليقين لهايزنبرغ** الشهير، والذي ينص على أنه **كلما تم تحديد موضع الجسيم بدقة أكبر، كلما كانت معرفة زخمه أقل دقة**، والعكس صحيح. وينطبق

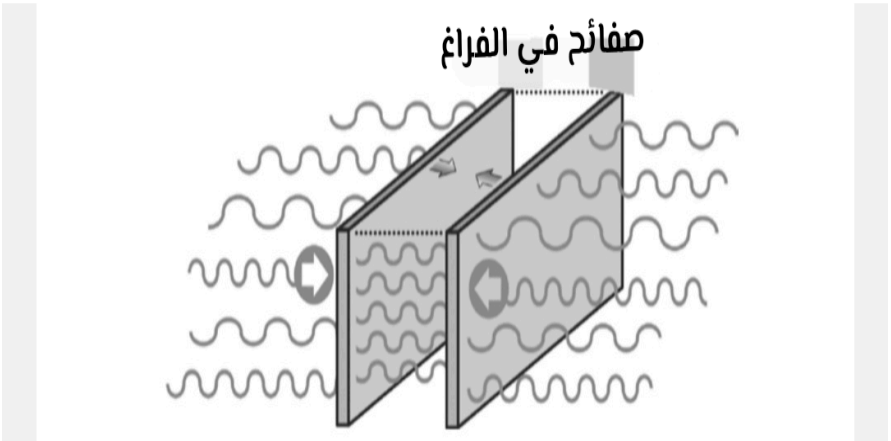
عدم اليقين هذا أيضًا في حالات أخرى. على سبيل المثال، **ليس من الممكن تحديد مقدار الطاقة الموجودة في المجال ومدى سرعة تغير المجال في آن واحد.** أو بعبارة أخرى، لا يمكن أبدًا للمجال أن يُفنى تمامًا (أي أن طاقته = صفر) ولا يتغير مع مرور الوقت (أي أن معدل تغيره= صفر)، لأننا سنعرف عندها كلا القيمتين بالضبط. وبالتالي، يجب أن يكون هناك دائمًا قليلًا من **"عدم الاستقرار"** في كل مجال. كل مجال يتقلب باستمرار قليلًا، وأحيانًا بطاقة أكبر، وأحيانًا بدون طاقة. **عندما تكون الطاقة في هذه التقلبات كبيرة بما فيه الكفاية، يمكن أن تكون كافية لإنتاج الجسيمات** (بما أنه وفقًا لصيغة أينشتاين الشهيرة $E = mc^2$، فإن الطاقة والكتلة هما نفس الشيء عمليًا).

ويشار إلى الجسيمات التي تنشأ في الفضاء على هذا النحو بالجسيمات الافتراضية، وهي تنشأ دائمًا في أزواج - **جسيم وجسيم مضاد**، يفني كل منهما الآخر على الفور تقريبًا بعد ظهورهما تلقائيًا إلى الوجود.

وهو ما يقودنا إلى السؤال الثاني. نظرًا لأن الجسيمات في ميكانيكا الكم توصف كإستثارة للمجالات، فإن الفضاء **ليس ببساطة "عدمًا"** ولكنه بالأحرى مليء بالمجالات التي تحتوي على طاقة أكثر أو أقل والتي تنشأ منها في بعض الأحيان جسيمات افتراضية أكثر وأحيانًا أقل.

وبالمناسبة، لمجرد الإشارة إلى هذه الجسيمات على أنها "افتراضية"، فإن هذا لا يعني أنها نتاج محض للخيال. ونحن نعلم بوجودها، لأن وجودها يمكن أن يؤدي إلى تأثيرات يمكن ملاحظتها، مثل **تأثير كازيمير**، وهي الظاهرة التي تنبأ بها الفيزيائي الهولندي هندريك كازيمير عام 1948. دعونا

نتخيل صفيحتين في الفضاء. في العادة، نتوقع ببساطة أن تظل الصفائح في مكانها. إذا كان الفضاء بالفعل "عَدَمًا"، فلن يكون هناك شيء يمكن أن يدفع الصفيحتين إلى التحرك. لكن **ميكانيكا الكم تنص على أن الجسيمات الافتراضية تنشأ باستمرار في كل مكان في الفضاء.** ونتيجة لذلك، فإن الجسيمات "تضغط" على الصفيحتين من الخارج، وهذا يؤدي إلى قوة تجعل الصفائح تتحرك تجاه بعضها البعض.



وقد لوحظ هذا التأثير بالفعل في تجربة لأول مرة في عام 1956، وفي العديد من تجارب ميكانيكا الكم الأخرى. ومنذ ذلك الحين تأكد وجود الجسيمات الافتراضية. لذلك تخبرنا ميكانيكا الكم أن الفضاء ليس مجرد "فراغ". بل هو مليء بالمجالات الكمومية التي تنشأ منها الجسيمات. والآن دعونا نلقي نظرة على النظرية النسبية. لم يبين ألبرت أينشتاين أن المكان والزمان مرتبطان ببعضهما البعض فقط، بل بين أننا **لا نستطيع تجاهل حالة حركة الراصد.** اعتمادًا على مدى سرعة تحركنا ومقدار التسارع، فإن الزمان يمر بمعدل مختلف. وهذا له تأثير على كيفية رؤيتنا للفضاء. **كلما زادت الطاقة في المجالات الموجودة في الفضاء، زاد عدد الجسيمات التي تنشأ هناك.** ومع ذلك، فإن كمية الطاقة تعتمد على كيفية مرور الزمان، حيث أن مبدأ عدم اليقين بشأن الطاقة والزمان الموصوف سابقًا هو المسؤول عن

تكوين الجسيمات من الفضاء. وبما أننا لا نستطيع أبدًا أن نعرف بالضبط مقدار الطاقة الموجودة في المجال وإلى أي مدى يتغير المجال على مدار فترة زمنية معينة، فيجب أن تكون المجالات الكمومية متقلبة دائمًا.

وفقًا لألبرت أينشتاين، فإن الراصدين الذين يتحركون بالنسبة لبعضهم البعض بمعدلات تسارع مختلفة لديهم تصورات مختلفة للزمان. ولذلك، **يترتب على ذلك أن المراقبين المختلفين ليسوا متفقين على مقدار الطاقة الموجودة في الفضاء**[3]. ما نلاحظه يعتمد على مدى سرعة حركتنا.

ما ينطبق على الحركة المتسارعة للغاية ينطبق أيضًا على الزمكان المشوه، وهذا أيضًا أحد النتائج الرئيسية التي تنتج

[3] اختلاف سرعة حركة الراصدين ⬅️ اختلاف الزمان عند الراصدين ⬅️ اختلاف مقدار الطاقة المرصود لأن الطاقة والزمان يرتبطان بمبدأ عدم اليقين.

عن النظرية النسبية العامة. **إذا تحركنا عبر الزمكان المشوه نحن نخضع لقوى الجاذبية، وهي نفس القوى التي نشعر بها عندما يتم ضغطنا على مقعد السيارة المتسارعة.** الجاذبية ليست أكثر من الطريقة التي نحن ندرك بها انثناء الزمكان. والتسارع والجاذبية متكافئان.

عندما يتعلق الأمر بالقوى والتسارعات اليومية، تكون التأثيرات غير المألوفة محدودة، ولكن بالقرب من الثقب الأسود، تختلف الأمور، لأنه هناك، يتشوه الزمكان إلى درجة قصوى.

لكي نفهم كل ما يتعلق بإشعاع هوكينغ، علينا أن ندرك أن **الثقب الأسود ليس جسمًا ثابتًا.** نحن نحب أن نفكر فيه ك"شيء" موجود أم لا. لكن هذا خطأ. **الثقب الأسود هو عملية ديناميكية تصف الزمكان الذي ينهار على نفسه.** إذا لم يكن هناك ثقب أسود في البداية، وبعد ذلك - ربما

بسبب وصول نجم إلى نهاية حياته - يتشكل ثقب أسود، فإن النتيجة لن تكون زمكانًا مشوهًا للغاية فحسب، بل أيضًا، وقبل كل شيء، فرقًا بين الماضي والمستقبل. من خلال هذا الزمكان الديناميكي، يتحرك راصدان - أحدهما في الماضي والآخر في المستقبل - ولم يعودا في انسجام، بل يتسارعان فيما يتعلق ببعضهما البعض.

لكن هذا يؤدي إلى **رؤية مختلفة للفضاء والطاقة والجزيئات.** الراصد في الماضي، قبل أن يبدأ الثقب الأسود بالتداخل مع الزمكان، يرى مجرد مساحة "طبيعية" مع القليل من الطاقة. لكن الراصد في المستقبل يرى الفضاء مليئًا بالكثير من الجسيمات المملوءة بالطاقة. وبالتالي فإن إشعاع هوكينغ هو في الأساس ذلك الذي حول فيه الثقب الأسود الفضاء الذي كان هناك قبل تشكله.

إن الجسيمات الافتراضية التي تتشكل بالقرب من الزمكان المشوه بسبب النظرية النسبية والتقلبات الكمومية في الفضاء هي المسؤولة عن انبعاث الإشعاع من الثقوب السوداء. **كلما كان انثناء الزمكان أقوى، كان هذا التأثير أكبر.** ومع ذلك، يكون **الانثناء أخف في حالة الثقب الأسود ذي الكتلة الكبيرة، وبالتالي أفق حدث كبير،** مقارنة بالثقب الأسود الصغير. يمكننا توضيح ذلك باستخدام الأرض: حيث أن سطح الأرض منحني، ولكن بما أن كوكبنا كبير جدًا بالمقارنة بنا، فإننا بالكاد نلاحظ الانحناء وتبدو الأرض مسطحة بالنسبة لنا. ومن ناحية أخرى، يمكن بسهولة إدراك انحناء سطح كرة قدم أصغر بكثير. بالمثل **تنتج الثقوب السوداء ذات الكتلة الكبيرة (وأفق الحدث الكبير) إشعاعات هوكينغ أقل من تلك ذات الكتلة الصغيرة.**

وفي النهاية، تم الكشف عن أن الثقوب السوداء متوافقة تمامًا مع الديناميكا الحرارية. إنها تصدر إشعاعًا بدرجة حرارة تعتمد على كتلتها، وحتى إذا تقلص أفق الحدث الخاص بها أثناء القيام بذلك، فإن الإنتروبيا في الإشعاع تضمن عدم انتهاك القانون الثاني للديناميكا الحرارية.

حتى هذا التفسير الأكثر تفصيلاً (والأقل سهولة في الفهم) لا يزال مجرد تقدير تقريبي للوصف الرياضي الكامل. لكن الظاهرة نفسها لم تعد موضع خلاف في العلوم اليوم. بفضل إشعاع هوكينغ، لم تعد الثقوب السوداء سوداء كما كان يُعتقد سابقًا. إنها تشع، على الأقل إلى حد صغير، رغم أن كلمة "تشع" هي في الواقع مبالغة كبيرة في هذه الحالة. إن الإشعاع المنبعث من ثقب أسود نموذجي منخفض للغاية

بحيث لا يمكن اكتشافه بواسطة أي أداة قياس يمكننا ابتكارها.

يضمن الإشعاع أن الثقب الأسود يفقد كتلته باستمرار مع مرور الوقت، **حتى يتبخر تمامًا** (على الأقل نفترض ذلك، لأننا ما زلنا لا نعرف ما الذي يحدث بالفعل عندما يقترب الثقب الأسود من نهايته، انظر الفصل الرابع). ولكن حتى يحدث هذا مع الثقب الأسود النموذجي، يجب أن يمر **وقت طويل لا يمكن تصوره**، لأنه لا يصدر إشعاع هوكينغ فحسب، بل يمتص أيضًا مادة أو طاقة باستمرار. هناك دائمًا عدد قليل من الذرات في مكان ما في الفضاء بين النجوم التي تصادف أفق الحدث في طريقها عبر الكون ويبتلعها. وحتى لو لم يحدث هذا، هناك دائمًا **إشعاع الخلفية الكونية** CMB.

ويمكن اعتبار هذا الأخير بمثابة **الضوء الأول للكون.**

عندما بدأ الكون منذ حوالي 13.8 مليار سنة في متفردة الانفجار الكبير (أو عندما حدث شيء لا يمكننا وصفه حاليًا إلا بـ "المتفردة" بفضل عدم كفاية النظرية النسبية العامة، كما أثبت هوكينغ)، كان الكون لا يزال في حالة ساخنة وكثيفة لا تسمح لأي شيء من قبيل المادة العادية أن تكون قادرة على الوجود. في المراحل الأولية للكون، لم تكن هناك حتى ذرات فردية. وتتكون هذه عادة من نواة محاطة بسحابة من الإلكترونات، ولكن درجة الحرارة كانت لا تزال مرتفعة للغاية في ذلك الوقت لدرجة أن الإلكترونات كانت تتحرك بسرعة كبيرة جدًا بحيث لا يمكنها الارتباط بشكل دائم بالنواة. لقد اندفعت بحرية عبر الكون، **ووجودها منع جسيمات الضوء من الانتشار،** وكانت هذه الجسيمات تبعث وتمتص متبادلة باستمرار

بواسطة الإلكترونات، بحيث كان الكون عبارة عن مزيج معتم من جسيمات الضوء وذرات غير مكتملة. ولم يصبح الطريق واضحًا أمام الضوء إلا بعد حوالي **380 ألف سنة**، عندما برد كل شيء بدرجة كافية لترتبط الإلكترونات بالنوى الذرية. ومنذ ذلك الحين، انتشر هذا الإشعاع الأول في الكون، ولا يزال جزء منه مستمراً حتى اليوم.

وعندما أثبت الفيزيائيان أرنو بنزياس وروبرت ويلسون وجود هذا الإشعاع في عام 1965، كان ذلك **أحد أقوى الأدلة على نظرية الانفجار الكبير**. بردت الإشعاعات بشكل كبير وبلغت درجة حرارتها -270 درجة مئوية فقط، لكنه لا يزال موجودا في كل مكان في الكون، وتبتلع الثقوب السوداء بعضا منه. إن الكمية الصغيرة من

الطاقة التي يتم الحصول عليها من إشعاع الخلفية تكفي بسهولة لموازنة ما تفقده الثقوب السوداء عبر إشعاع هوكينج.

لكي تتضاءل كتلة الثقب الأسود فعلياً عن طريق إنتاج إشعاع هوكينغ، يجب أن يصبح إشعاع الخلفية الكونية أولًا أضعف بكثير مما هو عليه حاليًا. ومع ذلك، فإن هذا سوف يستغرق وقتا طويلا. كلما انتشر الكون أكثر، أصبح إشعاع الخلفية أكثر برودة، وفقط في المستقبل البعيد سيغدو الكون ضعيفًا بدرجة كافية للسماح للثقوب السوداء بالبدء في الاضمحلال. **يستغرق الأمر حوالي 10^{68}سنة (أي 1 متبوعًا بـ 68 صفرًا) حتى يختفي الثقب الأسود النموذجي.** وهذا وقت طويل جدًا لدرجة أننا لا نستطيع حتى أن نتصوره، وهو طويل جدًا بشكل لا يمكن تصوره، وبالمقارنة، فإن عمر الكون حتى الآن والذي يبلغ 13.8

مليار سنة يمكن وصفه بأنه مجرد غمضة عين. ولذلك لا توجد فرصة لرصد تحلل الثقب الأسود بشكل مباشر وبالتالي وجود إشعاع هوكينغ - أو على الأقل الإشعاع الذي ينبعث من الثقوب السوداء التي تتشكل عندما تنهار النجوم.

من الناحية النظرية، من الممكن أيضًا أن يكون هناك **ثقوب سوداء أصغر حجمًا والتي يمكن أن تكون قد تشكلت عندما لم يكن هناك سوى "خليط" من الطاقة والجسيمات الأولية في الكون المبكر جدًا.** إن مواضع الكون آنذاك التي كانت لها كتلة أو كثافة طاقة متزايدتين بسبب التقلبات الكمومية من الممكن أن تنهار لتشكل ثقبًا أسود في ذلك الوقت.

وربما كانت هذه الثقوب السوداء الصغيرة مجهريًا تحتوي على كتلة صغيرة تعادل كتلة جسيم أولي. وقد تكون أثقل،

ولكن ربما بقدر ثقل جبل صغير. مثل هذه الثقوب السوداء سوف **تتحلل بسرعة أكبر** من تلك التي تتشكل من النجوم، وسوف تطلق المزيد من إشعاع هوكينغ. إذا كانت موجودة، فيمكنها إطلاق كميات كبيرة من الإشعاع عالي الطاقة عندما تضمحل أخيرًا، وإذا حدث ذلك في أي مكان في درب التبانة، فيجب أن نكون قادرين نظريًا على رصدها بالتلسكوبات المناسبة. لكن هذا لم يحدث حتى الآن.

يمكن للثقوب السوداء الأصغر حجمًا أن تُنتَج تحت الظروف المناسبة من خلال تجارب معجلات الجسيمات، عندما تتصادم الجسيمات بطاقة كبيرة. ويجب التأكيد على أن هذه الثقوب السوداء الصغيرة ستكون غير خطيرة تمامًا، لأنها **ستختفي في جزء من الثانية بسبب كتلتها الصغيرة وقوة إشعاع هوكينغ.** ومع ذلك، يمكن ملاحظة تحللها بواسطة

كاشفات مسرع الجسيمات. لكن هذا أيضًا لم يحدث بعد، ويبدو أنه ستكون هناك حاجة إلى مسرعات أكبر بكثير للحصول على مثل هذه الأرصاد. في الواقع، ربما يكون **الافتقار إلى دليل تجريبي على إشعاع هوكينغ هو السبب وراء عدم حصول ستيفن هوكينغ على جائزة نوبل أبدًا عن عمله.**

ومع ذلك، فقد أظهر هوكينغ النتائج المذهلة التي يمكن الحصول عليها عندما ندمج ميكانيكا الكم مع النظرية النسبية. في مقالته الأولى عن المتفردات، أظهر أنه لا يمكننا المضي بعيدًا بالنظرية النسبية وحدها، مع الصعوبات التي نواجهها في مواقف مثل الانفجار الكبير، وتفسير الثقوب السوداء. وباستخدام ميكانيكا الكم، تمكن بنفسه من حل بعض هذه المشاكل. إن ميكانيكا الكم "وهي النظرية الرئيسية الثانية"

جنبًا إلى جنب مع النظرية النسبية، في الفيزياء الحديثة، ناجحة للغاية عندما يتعلق الأمر بشرح عالم الذرات والجسيمات. **لكنها نظرية بلا قوة جاذبية؛** ولا تظهر فيها هذه القوة الأساسية للطبيعة. لقد جمع هوكينغ بين تأثيرات ميكانيكا الكم ونتائج النظرية النسبية العامة، وبالتالي توصل إلى الإشعاع الذي يحمل اسمه. ومع ذلك، كان تفسيره النظري بعيدًا كل البعد عن كونه دمجًا كاملاً لميكانيكا الكم والنظرية النسبية، وهذا بالضبط ما نحتاجه إذا أردنا فهم ما يحدث بالفعل في الثقوب السوداء أو ما يمكننا أن نتخيله حقًا عن الانفجار الكبير. ولا يزال هناك الكثير مما يمكن العثور عليه عندما يتعلق الأمر بهذين السؤالين.

الفصل الرابع
مفارقة المعلومات

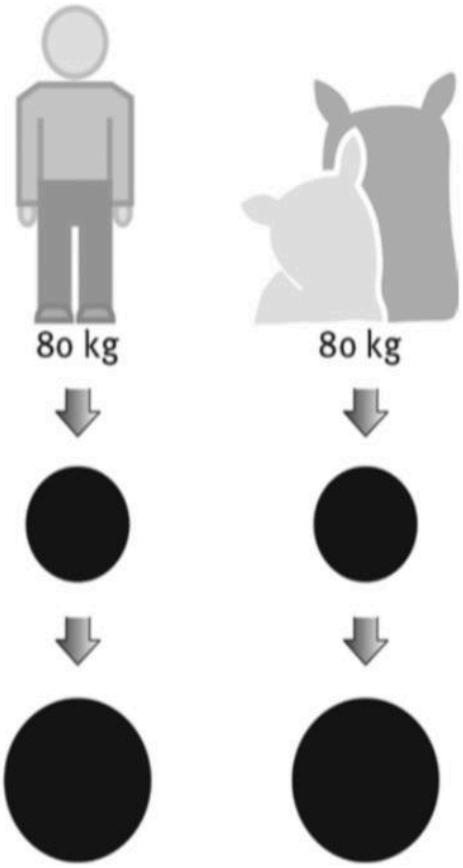
كل شيء يستمر خلف أفق الحدث

باكتشافه لإشعاع هوكينغ، تمكن ستيفن هوكينغ من حل مشكلة كبيرة وقدم مساهمة جلية في فهمنا للثقوب السوداء. ومع ذلك، فإن هذه الأجسام المهيبة لم تكشف بعد عن كل ما في جعبتها من أسرار- وهناك سؤال واحد لا يزال يتعين الإجابة عليه، سؤال معني بما يبدو بأن ليس هناك الكثير مما يجب فهمه حول الثقوب السوداء.

نحن نتحدث عن "مبرهنة اللاشعر no-hair theorem"، التي تنص، بإيجاز وببساطة: الثقوب السوداء ليس لها شعر. نشأت هذه النظرية من عالم الفيزياء الأمريكي جون ويلر،

الذي كان يصبو **لإظهار مدى بساطة الثقوب السوداء.** كما تعرف، فإن الشعر يجب أن يُغسل ويُمشط ويُقص.

وباختيار تسريحة شعرنا، يمكننا نحن البشر أن نميز أنفسنا عن الآخرين (على افتراض أنه لا يزال لدينا ما يكفي من الشعر للقيام بذلك). الثقوب السوداء من جهة أخرى، لا تستطيع أن تفعل هذا. **لا فرق بين المادة التي تشكلت منها، أو مدى تعقيد المادة التي اختفت في داخلها.** إذا رميت شخصًا يبلغ وزنه ثمانين كيلوغراماً في ثقب أسود، فإنه يختفي، وتزداد كتلة الثقب الأسود بمقدار ثمانين كيلوغراماً. إذا رميت كيسًا من الأسمنت يزن ثمانين كيلوغرامًا ، فستكون النتيجة نفسها تمامًا. هناك فرق كبير بين الشخص وكيس الأسمنت، ولكن **بمجرد اختفائهما خلف أفق الحدث للثقب الأسود، لا تغدو لهذا الاختلاف أي قيمة.**



تُظهِر النتائج التي أجراها ستيفن هوكينغ وروجر بنروز عن أنهيار الثقوب السوداء بوضوح **أنه لا يوجد فرق على الإطلاق في الخصائص التي تمتلكها المادة التي تنهار لتشكل ثقبًا أسود.** بمجرد أن ينهار ويتشكل أفق الحدث (ويكون ثابتًا، أي في حالة سكون) فإن كل ما يمكننا إدراكه من الخارج هو **كتلته، وشحنته الكهربائية، وزخمه الزاوي** . تتمتع

الثقوب السوداء بهذه الخصائص الثلاث على وجه التحديد، ولا يسعنا معرفة المزيد عنها. **"ليس لها شعر" - لا توجد طريقة ل"إضفاء الطابع الشخصي" على الثقوب السوداء.**

ويبدو أن هوكينج وبنروز يقدمان دليلاً على "مبرهنة اللاشعر"، على الرغم من أن مصطلح "فرضية اللاشعر" سيكون في الواقع أكثر ملاءمة، نظرًا لأنه لم يتم إثبات المبرهنة رياضيًا إلا في بشرطية ظروف معينة جدًا. لا يتفق المجتمع العلمي على ما إذا كانت الثقوب السوداء بالحقيقة كما تبدو. في بعض الفرضيات المتعلقة بتوحيد ميكانيكا الكم والنظرية النسبية، لم تعد المبرهنة صالحة، على سبيل المثال، يُفترض وجود كون له أكثر من ثلاثة أبعاد مكانية فقط. وبما أنه **لا أحد يعرف في الواقع ما إذا كانت هذه الفرضيات صحيحة** فلا يمكن قول الكثير عن صدقية مبرهنة اللاشعر. ولكن إذا لم يكن للثقوب السوداء شعر بالفعل،

فسنواجه مشكلة مرة أخرى، وهي **اندثار المعلومات في الثقب الأسود، وهو شيء مستحيل حدوثه.**

تخيل أنني كنت سأحرق كتابًا. ومن الناحية العملية، ينتهي بي الأمر بكومة من الرماد وكمية من الدخان، وفقدان لجميع المعلومات الواردة في الكتاب. وهذا صحيح من الناحية العملية **ولكنه ليس دقيقًا تمامًا من الناحية النظرية،** حيث يمكن نظريًا استبصار الكيفية التي تحركت بها كل جسيمات الرماد والدخان على حدة. وعكس العملية، وبالتالي أعيد إنشاء الكتاب الأصلي من الرماد. وبطبيعة الحال، سيكون تنفيذ ذلك معقدًا للغاية في الممارسة العملية، ولكنه قد ينجح من الناحية النظرية، حيث أن **جميع قوانين الفيزياء المعروفة تسمح بذلك، على الأقل من حيث المبدأ، فهي لا تميز اتجاهًا معينًا فيما يتعلق بالزمان.**

بحرق الكتاب، كنت سأقوم بإجراء تغيير كبير على المعلومات الموجودة فيه، لكنني لم أكن أفنيها.

وهذا المبدأ صحيح أيضًا في ميكانيكا الكم. كما هو موضح في الفصل السابق، فإن **ميكانيكا الكم تعج بـ "اللايقين"، لكنها مع ذلك حتمية.** وهذا يعني أنه إذا كان لدينا دالة موجية (الجسم الرياضي المجرد الذي تصف به ميكانيكا الكم الجسيمات)، تتحدد الحالة المستقبلية للدالة الموجية بالحالة الراهنة. ويمكن عكس الإجراء الرياضي الذي نحسب به التطور المستقبلي للدالة الموجية. لذا فلا تفنى المعلومات هنا أيضًا.

ولكن ماذا لو رميت كتابًا في ثقب أسود؟ سيختفي خلف أفق الحدث ولن يعود أبدًا. ولم يعد من الممكن عكس هذا التطور. ومن ثم يبدو أن الثقب الأسود قادر على

تدمير المعلومات، **وهذا يتناقض مع القوانين الأساسية للفيزياء المعروفة.**

يمكننا أن نعزي أنفسنا بفكرة أنه على الرغم من أن الكتاب قد يكون الآن بعيدًا عن متناولنا، إلا أنه على الأقل لا يزال **هناك خلف أفق الحدث، ومعه المعلومات.** لكن أفق الحدث للثقب الأسود **ليس مجرد "ستارة" تخفي ما وراءها.** إنه موجود لأنه يوجد خلفه منطقة مشوهة للغاية من الزمكان (إذا لم يكن الأمر كذلك، فلن يكون هناك أفق الحدث). حيث أن المادة التي يتكون منها الثقب الأسود مضغوطة إلى بكيفية هائلة لدرجة أنها أصبحت الآن مجرد "نقطة" من المادة كثيفة بشكل لا يمكن تصوره. في هذا الزمكان المتطرف، يجب بالضرورة أن يتشتت الكتاب ويصبح جزءًا من هذه الحالة المتطرفة للمادة.

من الخارج، يمكننا فقط ملاحظة مدى ثقل الثقب الأسود، والشحنة الكهربائية التي يمتلكها، ومدى قوة زخمه الزاوي. بهذه الخصائص الثلاث وحدها، ليس لدينا فرصة لاكتشاف المادة القابعة خلف أفق الحدث. والسؤال الذي يطرح نفسه الآن هو: **هل يمكننا ربما في نهاية المطاف إدراك المعلومات التي اختفت في الثقب الأسود؟**

تمكن ستيفن هوكينغ من إثبات أنه حتى الثقوب السوداء **تنبعث منها إشعاعات.** كما أنها تضمحل، حتى ولو ببطء شديد. إذن عندما يتبخر الثقب الأسود بعد فترة طويلة لا يمكن تصورها، هل يظهر الكتاب مرة أخرى؟ كلا، أولا وقبل كل شيء، فإن الكتاب قد دُمر. وثانيًا، **لا تختبئ المادة ببساطة خلف أفق الحدث منتظرة ما سيحدث.** إذا أطلق إشعاع هوكينغ، فإن هذا يجعل كتلة الثقب الأسود

أصغر وأصغر. ليس من المعروف بعد ما إذا كانت هذه الكتلة ستختفي تمامًا في النهاية، أو ما إذا كان هناك شيء ما قد يُترك وراءها، ولكن لم يعد من الممكن إعادة تشكيل الكتاب على أي حال.

ومع ذلك، **يمكن لإشعاع هوكينج أن يلعب هنا الدور الذي يلعبه الدخان والرماد عند حرق الكتاب.** من شأن التحليل الدقيق للبقايا المحروقة، على الأقل من الناحية النظرية، أن يسمح بإعادة بناء الكتاب والمعلومات الواردة فيه. إذا أمكن رصد إشعاع هوكينغ بدقة، فهل يمكننا العثور على اختلافات فيه تعتمد على نوع المادة التي اختفت داخل الثقب الأسود وتشير إليها؟

أمضى ستيفن هوكينغ وقتًا طويلاً في البحث في هذا المسألة، وكانت إجابته الأولية "لا". إذا كانت مبرهنة اللاشعر صحيحة، **فلا يهم كيف تم أنشأت المادة التي يتكون منها الثقب الأسود في الأصل.** ففي النهاية نحن إزاء شيء له ثلاث خصائص على وجه التحديد وليس أكثر. ولهذا السبب **يجب أن يكون إشعاع هوكينغ أيضًا "حراريًا" بحتًا، أي مستقلًا تمامًا عن المادة التي تقع خلف أفق الحدث.** حتى لو كان من الممكن تقنيًا مراقبة إشعاع هوكينغ الصادر عن الثقوب السوداء، فلن نجد أي معلومات مرتبطة بأي حال بالكتاب المفقود. هذا ما اعتقده هوكينغ في البداية.

في البداية، كان هوكينغ مقتنعًا بأن الثقوب السوداء يمكنها بالفعل تدمير المعلومات. رأى علماء الفيزياء الآخرون الأمور بشكل مختلف. لم يكن هذا مفاجئًا، لأنه لم تكن

هناك في ذلك الوقت (ولا تزال غير موجودة حتى اليوم) **نظرية توحد ميكانيكا الكم والنظرية النسبية** وبالتالي إمكانية فهم شامل للثقوب السوداء. كل ما لدينا هو عدد كبير من الفرضيات حول الشكل الذي قد تبدو عليه مثل هذه النظرية الشاملة، واعتمادا على الفرضية التي نؤيدها، يمكننا استخدامها لحل مفارقة المعلومات أو لا.

أحد الحلول المفضلة لمفارقة المعلومات هذه يحمل الاسم AdS/CFT. إن التفسير التفصيلي لها في الواقع سيذهب إلى ما هو أبعد من نطاق هذا الكتاب الصغير، ومع ذلك، وبكل بساطة، فإنها تشير إلى "ازدواجية" - أي نظريتين مختلفتين كلاهما تفسران نفس الظاهرة، ولكن من وجهات نظر مختلفة. يمكنك مقارنتها باستخدام أداتين - إذا لم تتمكن من حل مشكلة باستخدام إحدى الأداتين،

فربما يكون حظك أكبر مع الأخرى. من ناحية، تتعلق ازدواجية AdS/CFT بنظرية المجال الكمي، وهي النظرية التي نستخدمها حاليًا لشرح الجسيمات الأولية والقوى بينها. الأداة الثانية في هذه الثنائية تتكون من عدة نظريات في وقت واحد، كلها ناشئة عن فرضيات توحيد ميكانيكا الكم والنظرية النسبية. يبدو أن هناك أوجه تشابه بين هاتين الطريقتين لتفسير العالم، وإذا كان النهجان متطابقين بالفعل مع بعضهما البعض، فيمكننا أن نستنتج منهما بيانات حول **احتمال فقدان المعلومات في الثقوب السوداء.** يمكننا بعد ذلك أن نستنتج من هذه الازدواجية، على سبيل المثال، أن **إشعاع هوكينغ ليس مجردًا تمامًا** على أية حال، ولكنه **يُظهر في الواقع الحد الأدنى من "التقلبات الكمية" التي يمكننا من خلالها إعادة بناء المعلومات حول المادة المفقودة خلف أفق الحدث.**

كما أمضى هوكينغ وقتًا في العمل على AdS/CFT هذه وغير رأيه بشأن مفارقة المعلومات. وفي يوليو 2004، توصل إلى استنتاج مفاده **أن المعلومات الموجودة في الثقوب السوداء لا تفنى بالكامل**، وفي هذه العملية خسر رهانًا كان قد قام به سابقًا حول هذا الموضوع. في عام 1997، راهن هو وزميله كيب ثورن الفيزيائي جون بريسكيل بأنه لا يمكن حل مفارقة المعلومات إلا عن طريق تصحيح ميكانيكا الكم، كون إشعاع هوكينغ نفسه عاجز عن نقل أي معلومات من داخل الثقب الأسود. من ناحية أخرى، **كان بريسكيل مقتنعًا بأن ميكانيكا الكم تسمح بنقل المعلومات من خلال إشعاع هوكينغ وأن المفارقة يجب حلها بدلاً من ذلك عن طريق تغيير في النظرية النسبية العامة.** وقد أدت النتائج التي توصلت إليها AdS/CFT إلى

اعتراف هوكينغ بأن بريسكيل كان على حق. ، حيث أصبح الأخير المالك لموسوعة البيسبول لفوزه بالرهان. وقال هوكينغ مازحا في وقت لاحق: **"لقد أعطيت جون موسوعة البيسبول، ولكن ربما كان ينبغي علي أن أعطيه الرماد فقط."**

وعلى الرغم من كل هذا، فإن الموضوع أبعد ما يكون عن أن يكون قد تم. تعتبر مفارقة المعلومات واحدة من **أروع القضايا التي لم يتم حلها والتي تركها ستيفن هوكينغ للعالم.** لا توجد حتى الآن نظرية تخبرنا بشكل قاطع عن كيفية عمل الثقوب السوداء وما يحدث للمعلومات التي تختفي خلف أفق الحدث، على الرغم من ثلة من الفرضيات، كما ذكرنا سابقًا. ربما يتم تدمير المعلومات بعد كل شيء. قد يكون من المتناقض مع إحساسنا الجمالي البشري أن نقبل أن

المعلومات يمكن أن تختفي ببساطة، ولكن **الكون ليس ملزمًا بإسعادنا.** ولكن ربما يتبقى شيء بعد أن يضمحل الثقب أسود، كجسم كمومي غريب لا يمكننا تخيله بنظريات اليوم ولكنه حفظ لنا جميع المعلومات حول المادة التي هوت إلى الثقب. أو ربما تنتهي المعلومات ببساطة في عالم موازٍ. لن نفهم مفارقة المعلومات حقًا إلا عندما تكون لدينا نظرية تخبرنا عن المتفردة التي تقبع خلف أفق الحدث. لذلك من المؤكد أن إرث هوكينج سيبقينا مشغولين لفترة طويلة حتى الآن...

الفصل الخامس
قبل الانفجار الكبير

في المساحات اللانهائية للزمكان الإقليدي

في عام 1983، بعد النجاح الذي حققته الموائمة بين النظرية النسبية وميكانيكا الكم فيما يتعلق بالثقوب السوداء، قام ستيفن هوكينغ بتحويل هذا النهج إلى المتفردة الرئيسية التي صادفته في بداية حياته المهنية. **لم يكن لدى أحد أي فهم للحظة الانفجار الكبير.** توفر النظريات العلمية الحالية وصفًا جيدًا جدًا لتطور الكون، ويمكننا استخدامها للنظر بعيدًا إلى الوراء 13.8 مليار سنة مضت، تقريبًا إلى اللحظة التي ظهرت فيها المتفردة، الانفجار الكبير. بعد تلك اللحظة بوقت قصير، يغدو الكون قابل للتفسير، ويمكننا معرفة كيفية تطور الكون منذ حالته الأولية. **إن التنبؤات التي**

نكتسبها من هذه النظريات تتوافق بشكل جيد مع ما يمكننا رصده بالفعل. عندما نلاحظ إشعاع الخلفية المذكور في الفصل الثالث، فإنه يبدو تمامًا كما تتنبأ به النظرية. كميات العناصر الكيميائية في الكون هي أيضًا بالضبط ما ينبغي أن تكون عليه وفقًا للحسابات. وبطبيعة الحال، **لا يزال هناك الكثير من الأسئلة التي لم تتم الإجابة عليها حول تطور الكون.**

خذ على سبيل المثال وجود المادة. لماذا توجد مادة في الكون اليوم أكثر بكثير من المادة المضادة؟ وفقًا للنماذج النظرية، كان من المفترض أن تكون المادة والمادة المضادة قد نشأتا بنفس القدر في بداية الكون، ومن ثم كان من المفترض أن يفني كل منهما الآخر. ولكان الكون حينها مليئًا بالطاقة، لكنه خالٍ من المادة. ومع ذلك، فمن الواضح

أنه لا بد من وجود بعض الاختلاف بين المادة والمادة المضادة ولا بد أن عملية ما أعطت الأفضلية لأحدهما على الآخر، لكننا لم نفهم هذا بعد. ولا تزال مسألة التضخم الكوني أيضًا دون إجابة. **تنص نظرية التضخم الكوني على أن الكون بأكمله، بعد وقت قصير جدًا من تكوينه، توسع إلى درجة كبيرة للغاية خلال فترة زمنية قصيرة جدًا، وبسرعة لا يمكن تصورها أكثر من أي وقت مضى أو بعده.** حتى اليوم، على الرغم من وجود العديد من الأدلة التي تشير إلى أن هذا هو الحال، لا توجد حتى الآن ملاحظات ملموسة لا لبس فيها توفر دليلاً على هذه المرحلة من الكون المبكر قادر على إثبات ذلك باستخدام أجهزة كشف مستقبلية. هناك لغز كبير آخر يتعلق بطبيعة "**المادة المظلمة**". منذ ما يقرب من مائة عام، لاحظ العلماء أن حركة النجوم والمجرات في الكون هي بطريقة لا يمكن

تفسيرها فقط من خلال جاذبية المادة المرئية. يجب أن يكون هناك مصدر إضافي لقوة الجاذبية تلك، ربما يكون نوعًا غير معروف من المادة لم يتم تحديده بعد أو التحقق منه بشكل مباشر في التجارب.

كما جوبهنا أيضًا ب"**الطاقة المظلمة**" في حين أنها "مظلمة" أيضًا، إلا أنها لا علاقة لها بـ "المادة المظلمة". لدهشتهم الكبيرة، لاحظ علماء الفلك في عام 1998 **أن المعدل الذي يتوسع به الكون بأكمله يتزايد باستمرار. ويجب أن يكون هناك سبب لذلك، حتى لو كان لا يزال مجهولاً تماماً.** لذلك، لا يزال أمام الفيزيائيين وعلماء الفلك الكثير ليفعلوه، لكننا على الأقل لم نعد جاهلين تمامًا بشأن تطور الكون.

ومع ذلك، بطبيعة الحال، نحن لا نريد فقط أن نفهم الكون من الوقت الذي أعقب الانفجار الكبير مباشرة، بل

نريد العودة إلى البداية وربما إلى ما قبل تلك البداية. ماذا كان قبل الانفجار الكبير؟

هذا السؤال، الذي يقع في مكان ما بين العلم والدين والفلسفة، شغل الناس قبل وقت طويل من معرفة أي شيء عن الانفجار الكبير. في البداية، كانت هناك أساطير حول الخلق الديني، والتي لم يكن لها أي علاقة بالعلم، ولكنها على الأقل وهبتنا قصة جيدة. ربما تكون النسخة المسيحية، التي فيها تم خلق الكون ببساطة بإرادة الله، هي الأقل إثارة للاهتمام من بين هذه المجموعة. في الأساطير الاسكندنافية، تم خلق العالم عندما قتلت الآلهة الأولى العملاق يمير خلقت الأرض من لحمه، والبحار من دمه، والجبال من عظامه، والشجر من شعره. أصبحت جمجمته السماء وعقله الغيوم. في الشنتوية اليابانية، خُلق العالم على

يد الآلهة إيزاناجي وإيزانامي، وهما يحركان المحيط البدائي الفوضوي برمح سماوي مرصع بالجواهر. وأصبح الملح الذي يقطر من الرمح أول أرض يبنون عليها قصرًا للزواج. في ليلة زفافهما، أنجب إيزاناجي وإزانامي الجزر المختلفة للأرخبيل الياباني. وفي الوقت نفسه، وفقًا لشعب كوبا في أفريقيا الوسطى، فإن العملاق مبومبو هو الذي خلق العالم عن طريق تقيؤ الشمس والقمر والنجوم أولاً ثم أسلاف جميع الحيوانات والبشر. ثم هناك قصة نشأة الكون المصرية القديمة في هليوبوليس، حيث خلق إله النور، أتوم، نفسه أولاً ثم أنتج بالاستمناء الإله والإلهة شو وتفنوت.

عندما تحول الناس من الدين إلى العلم في محاولاتهم لفهم العالم، **تجاهلوا في البدء مسألة البداية.** وحتى النصف الأول من القرن العشرين، افترض أغلب الناس أنه ببساطة لا

توجد بداية، وأن الكون كان موجودًا دائمًا وسيظل موجودًا دائمًا.

حتى ألبرت أينشتاين، الذي أدت نظريته النسبية لاحقًا إلى المفهوم الحديث للانفجار الكبير، **دافع عن فكرة الكون الساكن.** حتى أنه لم يثق في معادلات نظرياته التي أظهرت أن الكون لا يمكن أن يكون ساكن. لقد قام بتعديل الصيغ من أجل "تصحيح" هذا الأمر ولو لم يفعل ذلك، لكان بإمكانه التنبؤ بالملاحظات اللاحقة **لإدوين هابل** (وكان من الممكن أن يصبح أكثر شهرة مما كان عليه بالفعل).

في عشرينيات القرن العشرين، لاحظ هابل (مع زملائه فيستو سليفر وميلتون هوماسون) الشيء نفسه الذي كان أينشتاين مترددًا جدًا في قبوله: **وهو أن جميع المجرات تتحرك**

مبتعدة عن بعضها البعض، وأنه كلما ابتعدت عن بعضها البعض، كلما زادت سرعة ابتعادها عن بعضها البعض. وبعبارة أخرى، **الكون يتوسع.** وإذا كان آخذًا بالتوسع الآن، فمن المؤكد أنه سيكون أكبر في المستقبل مما هو عليه في الحاضر، ومن المنطقي أنه **كان أصغر في الماضي** مما هو عليه اليوم.

وقد ألهمت هذه النتائج وتحليل معادلات أينشتاين الفيزيائي (واللاهوتي) البلجيكي **جورج ليميتر** لافتراض **وجود حالة ساخنة وكثيفة كبداية الكون.** واقترح في البداية أن كل المادة كانت مركزة في ذرة بدائية أو "البيضة الكونية"، والتي انفجر منها الكون آنذاك ثم استمر في التوسع حتى اليوم. بالنسبة لمعظم علماء الفيزياء، بدا هذا المفهوم مشابهًا بشكل مثير للريبة لأسطورة الخلق المسيحية، لكن

أرصاد هابل، وقبل كل شيء، النظرية النسبية لأينشتاين، كانت مما لا لبس فيها. **الكون في الواقع ليس ساكنًا، بل يتوسع.** حتى أينشتاين تنازل عن "تصحيحاته" (التي من المفترض أنه أشار إليها لاحقًا على أنها "**أعظم خطأ في حياتي**"). وفي العقود التي تلت ذلك، كان هناك المزيدمن النظريات والارصاد دقيقة، وبحلول عام 1964، عندما **اكتشف أرنو بنزياس وروبرت ويلسون إشعاع الخلفية الكونية الذي تنبأت به نظرية الانفجار الكبير، كان غالبية العلماء مقتنعين بصحتها.** ومع ذلك، فيما يتعلق بالبداية المطلقة، لم يتغير شيئ فيما يتعلق بالأهمية الأساسية للعثور على إجابة للسؤال "ما الذي حدث قبل الانفجار الكبير؟" واهتمام الناس الكامل بهذا.

الشيء الوحيد، كما أظهر هوكينغ في أول عمل مهم له، هو **أن هناك متفردة تسد الطريق بيننا وتمنع الإجابة المحتملة على هذا السؤال. وفي لحظة الانفجار الكبير نفسها، تنهار جميع النظريات الموجودة.** ومهما حدث في ذلك الوقت، فإنه ببساطة لا يمكن فهمه باستخدام النظرية النسبية العامة.

وكما ذكرنا سابقًا، كان هوكينغ يأمل في إيجاد حل لهذه المعضلة من خلال أخذ ميكانيكا الكم بعين الاعتبار. لو أمكنه بطريقة ما أن يجمع بين النظرية النسبية وميكانيكا الكم، **يمكن لنظرية شاملة جديدة تنطوي على تأثيرات كمومية أن تتخلص من المتفردة.** فبعد كل شيء، يصبح الكون أصغر وأصغر كلما أقاربها عائدين إلى الانفجار الكبير. يجب أن يكون هناك نقطة ما حيث أنها صغيرة

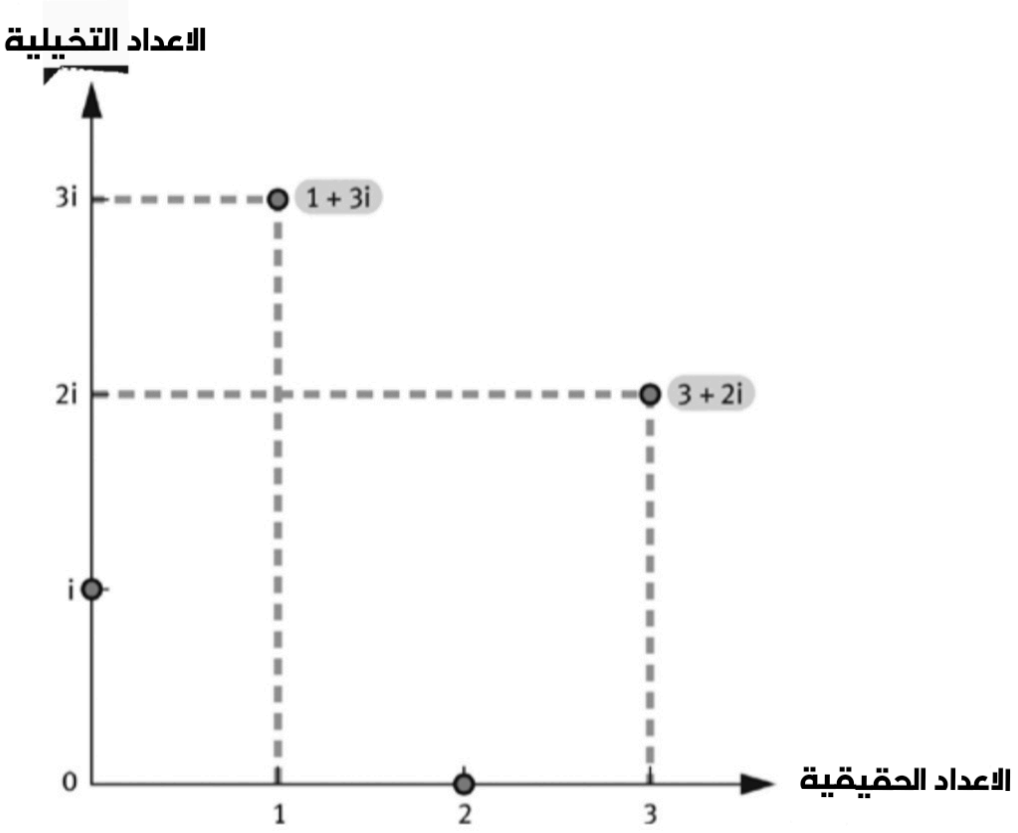
جدًا لدرجة أنه يجب وصفها كشيء كمومي وبالتالي يخضع لقوانين ميكانيك الكم. فإذا كان الأمر كذلك، فالمتفردة **ربما لا تبقى متفردة** على أية حال، بل بالأحرى "ملطخة"، إذا جاز التعبير، بسبب الضبابية الكمومية. ما ينطبق على "الجسيمات" في ميكانيكا الكم ينطبق أيضًا على المتفردة المحتملة. تمامًا كما أن الجسيم ليس له موقع محدد ويمكن بدلاً من ذلك رؤيته كموجة، كذلك **فإن المتفردة لن تعد نقطة واحدة ذات كثافة لا نهائية، بل شيئًا آخر** - الشيء الوحيد هو أنه لا أحد يعرف حقًا ما يمكن أن يكون عليه هذا "الشيء الآخر" لأنه لا توجد حتى الآن "نظرية نسبية كمومية" مناسبة.

اتخذ ستيفن هوكينغ طريقًا آخر لمحاولة حل هذه المشكلة. وبالتعاون مع الفيزيائي الأمريكي جيمس هارتل، عاد إلى

فكرة نشأت أيضًا من ميكانيكا الكم، على الرغم من أنه ذهب إلى أبعد من ذلك. ومع ذلك، فإن تقديم وصف واضح لفكرة هذين الرجلين هو أمر أكثر صعوبة مما هو الحال في حالة الإشعاع المنبعث من الثقوب السوداء، حيث يتعين علينا هنا التعامل مع **"الزمان التخيلي"**.

"الزمان التخيلي" - يبدو الاسم وكأنه شيء حلم به شخص ما. لكن كلمة "خيالي" لا تعني أن هذه المرة شيء غير واقعي أو مخترع. إنها في الواقع تشير إلى **"الأرقام التخيلية" التي كانت موجودة في الرياضيات لفترة طويلة.** وهي أرقام تعمل بشكل أساسي مثل جميع الأرقام الأخرى، باستثناء أنها **لا تتوافق بشكل مباشر مع حياتنا اليومية.** يمكننا بسهولة أن نتخيل "أربعة"، لأن كل ما نحتاجه ببساطه هو التفكير في أربعة أشياء: أربع تفاحات في سلة، على سبيل المثال.

إذا كانت كل تفاحة تكلف دولارًا واحدًا، ولكن لدينا ثلاثة دولارات فقط، وبالتالي ندين للبائع بدولار بعد شرائها، فيمكننا أيضًا أن نتخيل بسهولة رقمًا سالبًا مثل -1. ومن ناحية أخرى، فإن هذا لا يعمل بشكل جيد مع الأرقام التخيلية. يتم تعريفها من خلال الوحدة التخيلية i، التي تمثل الجذر التربيعي للرقم -1. الرقم i هو الرقم الذي يعطيك -1 عند ضربه في نفسه.



أي شخص لم يصادف مثل هذه الأرقام من قبل من المرجح أن يكون في حيرة من أمره بشأن هذا المفهوم. نتعلم في المدرسة أن كل رقم، سواء كان موجبًا أو سالبًا، **ينتج دائمًا رقمًا موجبًا عند ضربه في نفسه**، لكن لا شيء يمنعنا من حيث المبدأ من تعريف رقم مثل i . ويمكننا بعد ذلك الحساب باستخدامه وإنشاء حدود مثل 4×i ، أو 5 + i أو 7 مقسومًا على 3i، على سبيل المثال. هناك أيضًا قواعد حسابية عادية تمامًا وسهلة الفهم تتضمن أرقامًا تخيلية، وهي تتلاءم بسلاسة مع بنية الأرقام "العادية". ومع ذلك، فمن المستحيل أن نتصور تمثيلا واضحا لها، **وعلينا ببساطة أن نقبل وجودها.**

يمكننا ضرب أي رقم في الوحدة التخيلية، وستكون النتيجة رقمًا تخيليًا. إذا كان الرقم الذي نعمل عليه هو الذي يصف الزمان، فإن نتيجة هذا الحساب ستكون زمانًا تخيليًا.

قد يبدو ذلك غريبا، ولكنها عملية طبيعية تماما في العلوم الطبيعية والرياضيات. هناك العديد من المجالات في العلوم الطبيعية التي نقوم فيها بالحساب باستخدام أرقام تخيلية، وقد **تبين أنها عملية للغاية في تفسير مجموعة كاملة من الظواهر الحقيقية.**

هناك حاجة للأعداد التخيلية والزمن التخيلي قبل كل شيء لإجراء العديد من الحسابات في ميكانيكا الكم، وبعضها ممكن بالفعل **فقط إذا تم استخدام الزمان التخيلي.** قرر هوكينج وهارتل التحقق من تأثير الزمان التخيلي على متفردة الانفجار الكبير. كما ناقشنا في الفصل الأول، وصف الكون باستخدام الزمكان رباعي الأبعاد منذ ألبرت أينشتاين، الزمكان الذي يتكون من ثلاثة أبعاد مكانية وبُعد زمني واحد. **إذا استخدمنا الزمان التخيلي بدلًا من الزمان**

العادي -كما فعل هوكينغ وهارتل- فإن الزمكان يصبح ما نسميه "**الزمكان الإقليدي**".

ببساطة، ضرب الزمان في الوحدة التخيلية يجعل الزمان يتوقف عن التصرف كالزمان ويصبح أشبه باتجاه في البعد المكاني. تمامًا كما يمكننا العودة إلى الوراء وإلى الأمام في البعد المكاني، يمكننا العودة إلى الوراء وإلى الأمام في الزمان التخيلي. وباستخدام الأعداد التخيلية يختفي الفرق بين المكان والزمان، وهذا له عواقب على المتفردة.

في الزمكان الإقليدي، لا يوجد ماض ينهار فيه كل شيء إلى نقطة واحدة. **لقد اختفت المتفردة.** بدلًا من ذلك، يصف الزمكان التخيلي شيئًا **يمكن مقارنته بسطح الأرض، حيث يعتبر القطبان الشمالي والجنوبي مجرد نقاط عادية**

تمامًا. وكما وصف هوكينغ وهارتل، فإن الكون يعمل بنفس الطريقة تمامًا. مثل سطح الأرض، فهو **ليس كبيرًا إلى ما لا نهاية، ولكن ليس له أي حدود.** الكون ليس له "أصل" في الزمان. هناك ببساطة نقطة معينة لا يوجد زمان قبلها. وحتى لو كنا بالكاد نستطيع أن نتخيل هذا، **فليس هناك أيضًا منطقية في السؤال حول "قبل"** .كما أنه من غير المنطقي أن نتساءل عما يقع شمال القطب الشمالي، فمن المستحيل أيضًا طرح سؤال معقول حول ما حدث قبل الزمكان الإقليدي.

وبالتالي فإن الكون في حالة راحة داخل نفسه. إنه محدد تمامًا بنفسه، **لا يوجد "خارج" أو "قبل"؛ لا حاجة لأي شيء كان موجودًا "قبل" حدوث الانفجار الكبير لبدء كل شيء، لأنه لا يوجد "قبل" للانفجار الكبير.** يشكل المكان

والزمان سطحًا منتظمًا ليس له حدود (ولهذا السبب أطلق هوكينغ وهارتل على فكرتهم اسم "فرضية اللاحدود").

وفقا لهوكينغ، كان الكون ببساطة، دون الزمان كما نعرفه. لقد كان موجودا في "الزمان التخيلي"، حيث **لا وجود للمتفردة.** لكن إذا قمنا (رياضيًا) بتحويل هذا الكون مرة أخرى إلى **الزمان الحقيقي، فستكون هناك بداية للزمن،** وهي النقطة التي نسميها **الانفجار الكبير** والتي تبدو، وفقًا لنظرياتنا الحالية، وكأنها متفردة.

لقد ابتكر هوكينغ وهارتل عالمًا خالدًا، ومع ذلك كان له بداية. كم هو رائع! إذا نظرنا بعيدًا بما فيه الكفاية إلى الماضي واقتربنا أكثر من أي وقت مضى حتى وقت الانفجار الكبير، **هناك نقطة يختفي عندها الزمان ببساطة ويصبح مكان. في هذا الزمكان التخيلي، ليس للكون**

حدود، وليس هنالك زمان. كانت بداية زماننا الحقيقي قبل 13.8 مليار سنة، وكانت هذه أيضًا بداية ما لاحظناه منذ ذلك الحين: بداية الكون المتوسع، الذي أصبح أكبر فأكبر ويتصرف تمامًا كما نلاحظه ونفهمه.

ومع ذلك، يجب ألا نسمح لأنفسنا بالانجراف وراء مثل هذه الادعاءات. من الممكن فقط أن نفهم عمل هوكينج وهارتل فهمًا حقيقيًا على المستوى الرياضي، وليس على المستوى الموضوعي. **إن فكرة الزمان التخيلي هي قبل كل شيء "حسابات خادعة"** (والتي لا ينبغي أن تبدو، وليس المقصود منها، الاستخفاف) وليست تفسيرًا لعملية فيزيائية ملموسة. لم يكن الكون يعمل حقًا في زمان تخيلي في الماضي. طور هوكينج وهارتل طريقة رياضية من شأنها أن تزيل مشكلة المتفردة الناجمة عن النظرية النسبيةالعامة. ومع

ذلك، **فهي مجرد فرضية لا يمكن اختبارها بشكل نهائي إلا بصعوبة كبيرة.** ما يمكننا قراءته في حالة الكون الحقيقي باستخدام فرضية اللاحدود يرتبط بملاحظاتنا. ولذلك لم يتم دحض الفرضية بعد، على الأقل، وهذا بالتأكيد علامة جيدة. ولكن **هذا لا يعني تلقائيا أن هذه النظرية تصف الكون بدقة بالفعل.**

لا أحد يعرف لماذا من المفترض أن تكون الأشياء قد حدثت كما وصفها هوكينغ وهارتل. كما قال هوكينغ نفسه، أن هذه الفكرة لا يمكن استخلاصها من أي مبادئ فيزيائية أخرى. ولا تتأتى بالضرورة من تصريحات أخرى مؤكدة بالفعل حول الكون. **إنه اقتراح يترك العديد من الأسئلة دون إجابة.** لماذا يجب أن يكون هناك أولاً مكان فقط، أو مكان ذو زمان تخيلي، ثم فجأة زمان حقيقي؟ ما الذي يجعل الكون يتصرف بهذه الطريقة؟

لم يتمكن ستيفن هوكينغ من الإجابة على هذه الأسئلة خلال حياته. لكنه أظهر لنا أننا لسنا بحاجة إلى أن نكون جاهلين تمامًا عندما يتعلق الأمر بالأسئلة الكبيرة حقًا. إن مسألة بداية الخليقة هي مسألة ضخمة وشاملة للغاية لدرجة أننا نكاد نعاملها بقدر كبير من التبجيل ولا نجرؤ على البحث عن إجابات. أثبت هوكينغ أننا لا نحتاج إلى تقييد تفكيرنا. يمكننا، بل ينبغي علينا، أن نفكر في الأسئلة التي كانت تقليديًا لاهوتًا. ربما لا نجد أي إجابات محددة (وهو أمر لم يتمكن الدين من فعله أيضًا)، لكن العلم على الأقل في وضع يسمح له باستخدام طرق للبدء في البحث عن مثل هذه الإجابات. وإذا تمكنا من العثور عليها، فسيكون ذلك، كما يقول ستيفن هوكينغ في نهاية كتابه "موجز لتاريخ الزمن"، **"الانتصار النهائي للعقل البشري، إذ ينبغي لنا أن نعرف عقل الله".**

النهاية