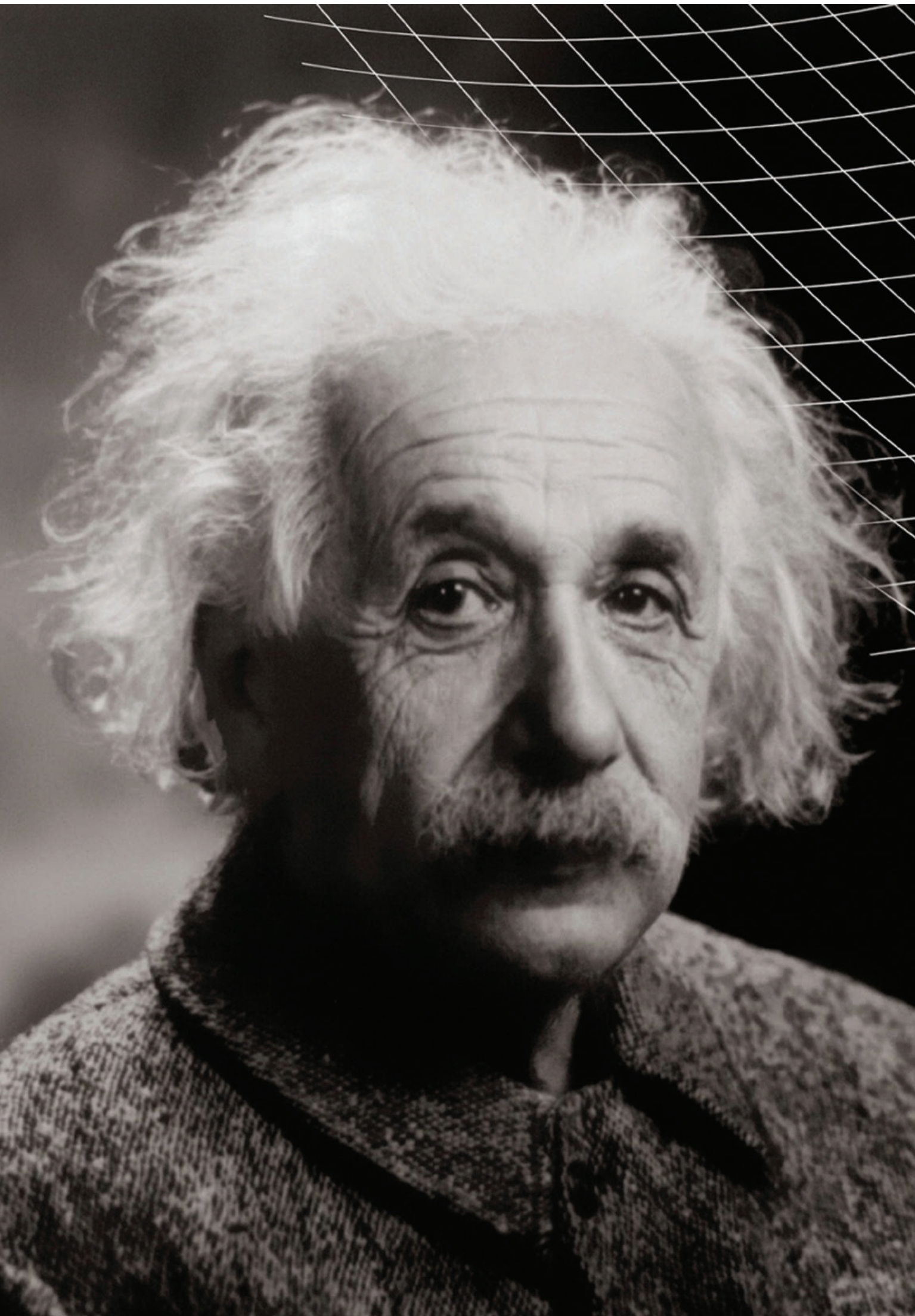
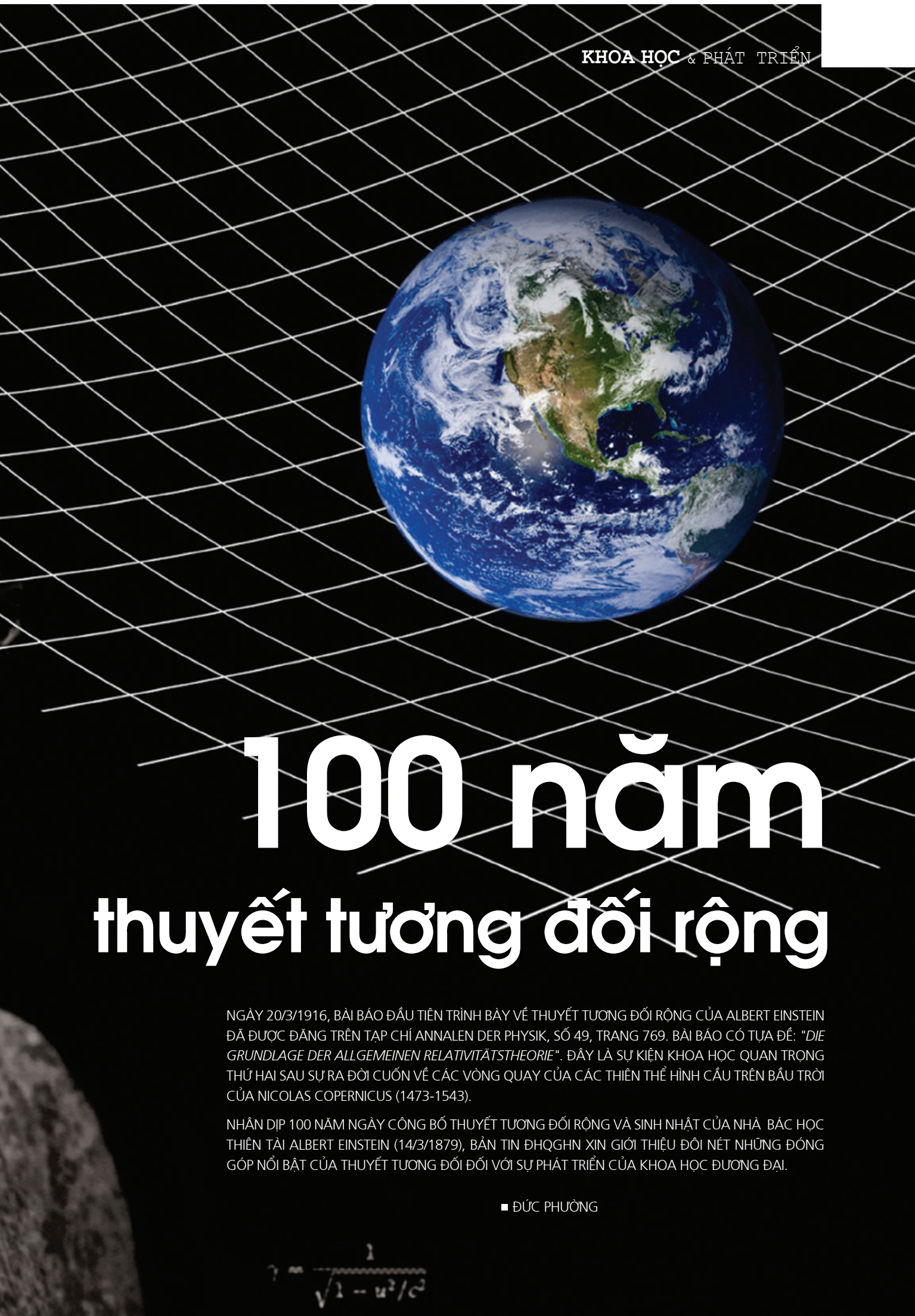


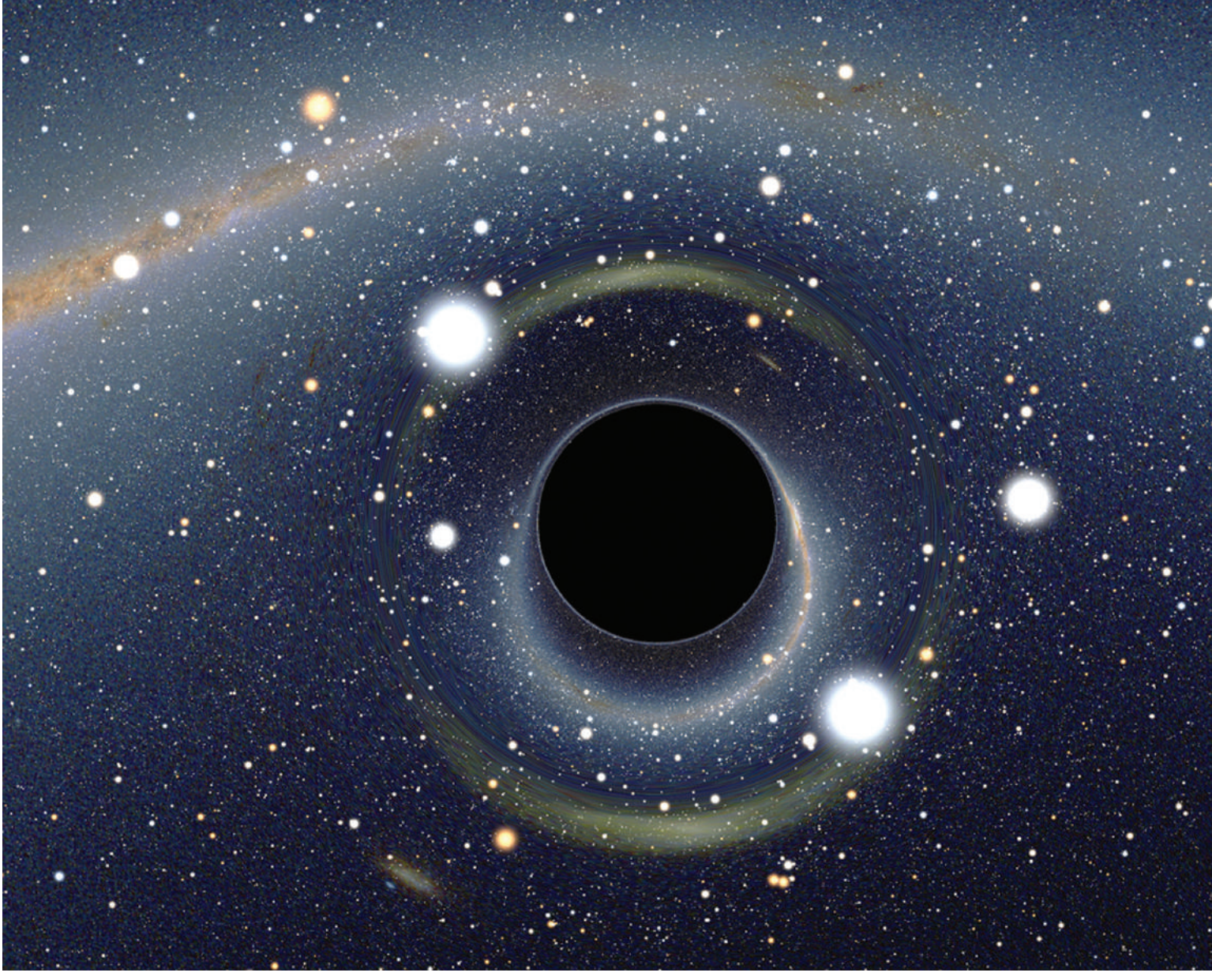


100 năm thuyết tương đối rộng

NGÀY 20/3/1916, BÀI BÁO ĐẦU TIÊN TRÌNH BÀY VỀ THUYẾT TƯƠNG ĐỐI RỘNG CỦA ALBERT EINSTEIN ĐÃ ĐƯỢC ĐĂNG TRÊN TẠP CHÍ ANNALEN DER PHYSIK, SỐ 49, TRANG 769. BÀI BÁO CÓ TỰA ĐỀ: "*DIE GRUNDLAGE DER ALLGEMEINEN RELATIVITÄTSTHEORIE*". ĐÂY LÀ SỰ KIỆN KHOA HỌC QUAN TRỌNG THỨ HAI SAU SỰ RA ĐỜI CUỐN VỀ CÁC VÒNG QUAY CỦA CÁC THIÊN THỂ HÌNH CẦU TRÊN BẦU TRỜI CỦA NICOLAS COPERNICUS (1473-1543).

NHÂN DỊP 100 NĂM NGÀY CÔNG BỐ THUYẾT TƯƠNG ĐỐI RỘNG VÀ SINH NHẬT CỦA NHÀ BÁC HỌC THIÊN TÀI ALBERT EINSTEIN (14/3/1879), BẢN TIN ĐHQGHN XIN GIỚI THIỆU ĐÔI NÉT NHỮNG ĐÓNG GÓP NỔI BẬT CỦA THUYẾT TƯƠNG ĐỐI ĐỐI VỚI SỰ PHÁT TRIỂN CỦA KHOA HỌC ĐƯƠNG ĐẠI.

■ ĐỨC PHƯỜNG

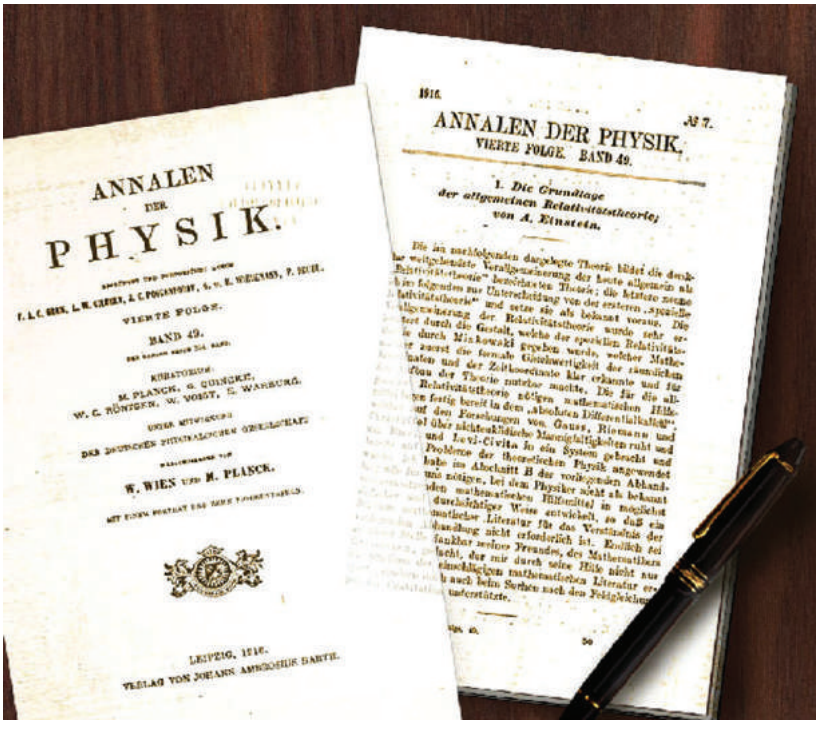


Năm 1905, là năm đánh dấu bước đột phá của vật lý học và tạo nền móng cho vật lý học hiện đại. Trên một bài báo được công bố của chàng trai 26 tuổi đang làm việc tại phòng đăng ký phát minh ở Thụy Sỹ mà tên tuổi chưa ai biết đến, Albert Einstein đã vứt bỏ toàn bộ ý tưởng về ê-te. Ông cho rằng, sở dĩ thí nghiệm của Michelson và Morley không đo được gió ê-te là bởi vì chẳng có ê-te nào cả. Bằng việc làm này, Einstein đã đề ra một lý thuyết mới gọi là thuyết tương đối đặc biệt.

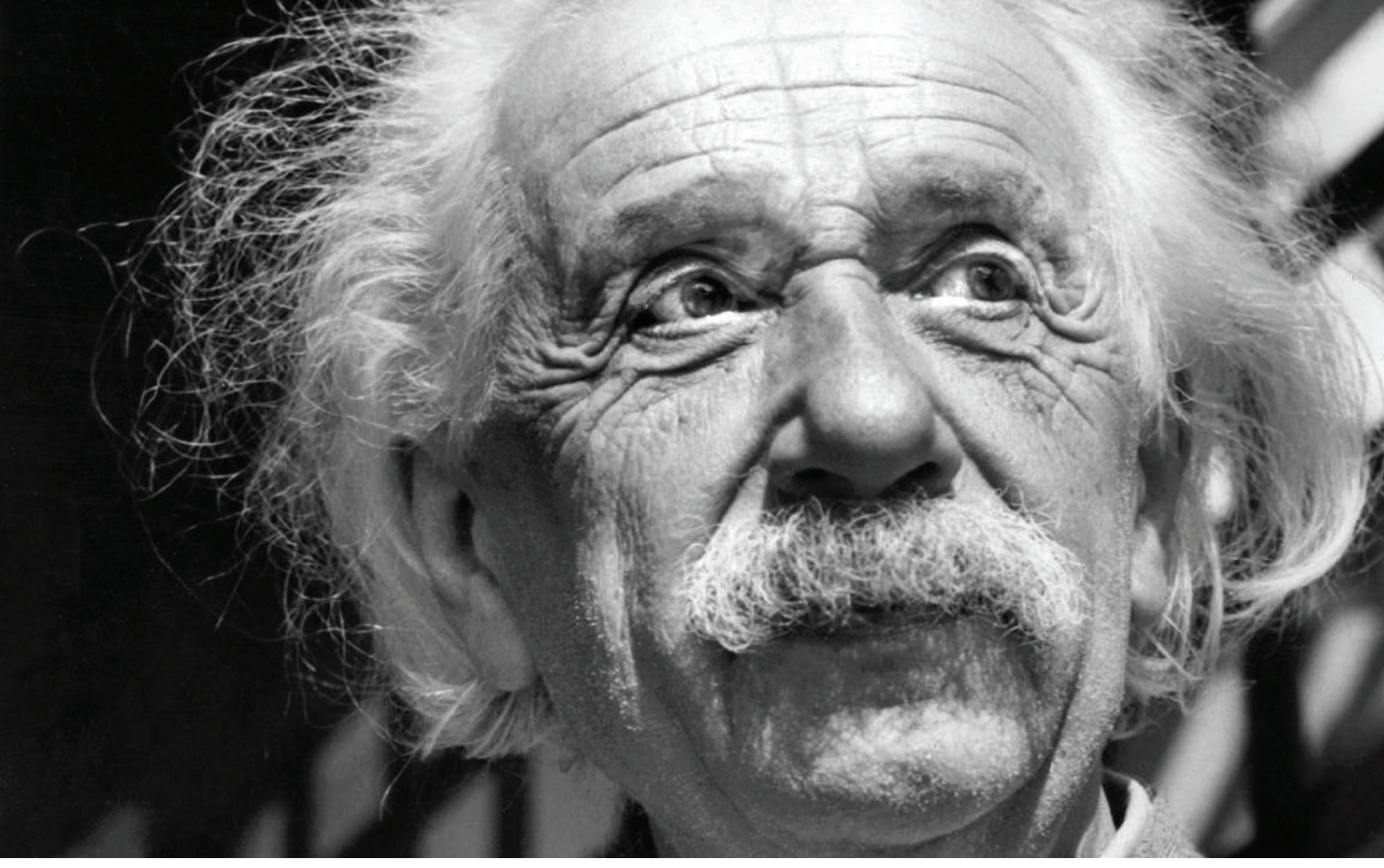
Thuyết tương đối đặc biệt nêu ra hai tiên đề cơ bản. Tiên đề thứ nhất cho rằng, tất cả các định luật vật lý là bất biến, tức là đều xảy ra như nhau đối với tất cả các quan sát viên chuyển động trong hệ quy chiếu quán tính. Hay nói cách khác, các phương trình biểu diễn các định luật tự nhiên đều bất biến trong tất cả các hệ quy chiếu quán tính. Tiên đề này còn được gọi là nguyên lý tương đối. Nguyên lý này chỉ ra rằng, mọi quan sát chuyển động trong các hệ quy chiếu khác nhau sẽ được đối xử bình đẳng như nhau. Thuyết này đã làm cho mọi thứ trở nên tương đối. Sẽ không còn không gian tuyệt đối và thời gian tuyệt đối nữa. Đặc biệt, nó đã đã cho thấy không có một phương pháp ưu tiên nào có thể nhận biết được một vật đang ở trạng thái đứng yên hay chuyển động thẳng đều đối với ê-te. Ở ví dụ đã đề cập ở trên, chúng ta không có một tiêu chuẩn nào để xác nhận con tàu chuyển động so với cây gạo, với giả thiết toa tàu đang chuyển động với vận tốc không đổi, hay cây gạo đang chuyển động so với toa tàu đứng yên. Tóm lại, do chuyển động hay tương đối mà con tàu và cây gạo xa nhau.

Theo thuyết tương đối thì tính đồng thời mất đi tính tuyệt đối của nó mà chỉ còn tương đối mà thôi. Để hiểu rõ điều này, chúng ta hãy quan sát tình huống sau. Giả sử một con tàu đang chuyển động, từ một điểm giữa của con tàu, chúng ta gửi đồng thời hai chùm sáng theo hai hướng ngược nhau tới hai đầu của đoàn tàu. Theo thuyết tương đối, vì vận tốc của ánh sáng luôn luôn có giá trị không đổi nên một quan sát viên nào đó trên tàu thấy hai chùm sáng đó đến hai đầu của đoàn tàu đồng thời. Nhưng mọi việc sẽ khác đối với một quan sát viên đứng bên cạnh đường ray. Đối với quan sát viên này, vận tốc của ánh sáng luôn có một giá trị không đổi. Nhưng vì con tàu chuyển động, nên chùm sáng đến đuôi tàu sẽ sớm hơn chùm sáng đến đầu tàu. Như vậy, đối với người đứng cạnh đường ray thì quan sát thấy hai chùm sáng đến đến đầu và đuôi tàu không đồng thời.

Tiên đề thứ hai của thuyết tương đối chỉ ra rằng, vận tốc của ánh sáng là hữu hạn.



Giá trị này luôn là một hằng số và không phụ thuộc vào nguồn sáng. Ý tưởng này cho thấy bất kỳ một quan sát viên chuyển động như thế nào thì vận tốc của ánh sáng mà họ đo được có giá trị hoàn toàn như nhau. Khi bàn đến tốc độ giới hạn của ánh sáng và tính tương đối của sự đồng thời thì quan niệm về không gian và thời gian cũng trở nên tương đối. Chính khi xây dựng thuyết tương đối, Einstein đã vứt bỏ thời gian thống nhất của vũ trụ và thay vào đó ông đưa vào khái niệm thời gian riêng. Và như vậy, mỗi quan sát viên chuyển động đều có thời gian riêng, và thời gian này phụ thuộc hoàn toàn vào chuyển động của họ. Cụ thể là thời gian được đo bởi các đồng hồ chuyển động sẽ chạy chậm hơn so với đồng hồ đứng yên. Để hiểu rõ hơn chúng ta hãy xét một ví dụ tưởng tượng sau: Có một con tàu vũ trụ đang chuyển động với một vận tốc rất lớn, gần bằng tốc độ ánh sáng. Con tàu này bay lướt qua một



hành tinh, ở đó có một quan sát viên, tại thời điểm con tàu chạy ngang qua quan sát viên, nhà du hành vũ trụ trong con tàu chiếu một xung laser từ trần của con tàu xuống sàn. Ở dưới sàn có đặt một tấm gương phản chiếu hắt ngược ánh sáng đó trở lại. Giả sử quan sát viên trên hành tinh đó có thể quan sát được hiện tượng thông một cửa sổ trên con tàu. Xét hệ quy chiếu gắn với con tàu vũ trụ, nhà du hành sẽ thấy ánh sáng đi được quãng đường bằng hai lần khoảng cách từ trần xuống sàn. Còn đối với hệ quy chiếu của quan sát viên thì mọi việc hoàn toàn khác. Lúc này, quãng đường mà ánh sáng đi được không phải hai lần khoảng cách từ trần xuống sàn mà sẽ lớn hơn. Mặt khác, nhà du hành vũ trụ và quan sát viên đều nhất trí về giá trị như nhau của vận tốc của ánh sáng. Do đó, quan sát viên sẽ tính được khoảng thời gian giữa hai thời điểm ánh sáng được phát và trở lại trần dài hơn khoảng thời gian mà nhà du hành tính ra. Điều này chỉ được giải thích khi cho rằng thời gian của đồng hồ gắn trên con tàu chạy chậm lại. Xin lưu ý hiện tượng này cũng xảy ra đối với quan sát viên nếu coi hệ quy chiếu của con tàu đứng yên còn hệ quy chiếu của quan sát viên chuyển động ngược lại.

Một ví dụ khác rất nổi tiếng để biểu diễn sự co ngắn của thời gian, đó là nghịch lý về anh em sinh đôi nói về một chuyến du hành tưởng tượng với vận tốc lớn. Nghịch lý này đã phá vỡ nếp suy nghĩ của chúng ta khi chỉ phán xét mọi hành xử của sự vật bằng những kinh nghiệm thường ngày. Chúng ta cần phải tỉnh táo để khỏi rơi vào tình thế lúng túng khi đứng trước các hệ quả vượt qua khỏi lẽ phải thông thường của thuyết tương đối. Câu chuyện kể về hai anh em sinh đôi, một trong số họ là một nhà du hành sắp làm một chuyến công du trong thiên hà. Trước khi đi, hai người này cùng hiệu chỉnh đồng hồ và lịch trùng nhau. Sau đó nhà du hành cứ đúng 24 giờ lại xé lịch 1 lần. Vận tốc của con tàu vũ trụ có thể đạt được 80% vận tốc ánh sáng, và nhà du hành bao giờ cũng tận dụng mọi khả năng có thể của con tàu để rút ngắn chuyến thám hiểm không gian của mình. Anh ta dự định chuyến thám hiểm này sẽ kéo dài 10 năm. Và đúng như dự định, 10 năm sau anh ta trở về gặp lại người anh em sinh đôi của mình trên Trái đất. Thật lạ lùng, anh ta thấy người anh em sinh đôi của mình già hơn. Đứng trước sự kỳ lạ đó, anh ta xem xét lại thời gian của mình. Quả thực, thời gian trên Trái đất, nơi mà người anh em kia sống, đã trôi nhanh hơn so với thời gian của nhà du hành. Điều đó có nghĩa là thời gian được đo bởi đồng hồ của anh ta trôi chậm hơn, và như vậy, đương nhiên là anh ta sẽ trẻ hơn.

Nhân loại phải biết ơn Einstein vì chính ông đã chỉ cho chúng ta bí quyết để sống lâu. Nhưng không chỉ có thế, ông còn chỉ ra rằng, ngoài việc thời gian có tính tương đối thì độ dài cũng mang tính tương đối. Tức là chiều dài của vật sẽ biến đổi nếu vật đó chuyển động. Vì các quan sát viên chuyển động, họ sẽ không nhất trí một số phép đo do không thống nhất về các sự kiện xảy ra. Và hơn nữa, khi thực hiện các phương pháp đo đó họ phải sử dụng đến vận tốc bất biến của ánh sáng. Chúng ta hãy xem ví dụ sau. Có hai con tàu vũ trụ đang chuyển động đối nhau. Nhà du hành vũ trụ trong con tàu này thực hiện phép đo chiều dài với con tàu kia. Kết quả anh ta thấy con tàu kia bị co ngắn lại so với hướng chuyển động. Sau đó, hai nhà du hành liên lạc với nhau qua hệ thống vô tuyến và một cuộc cãi lộn xảy ra. Nhà du hành này cho rằng con tàu kia và cả nhà du hành kia bị co ngắn lại, anh ta thấy nhà du hành kia "dẹt" hơn. Nhà du hành kia phản đối và nói rằng các phép đo trên con tàu của anh ta không hề phát hiện một sự biến đổi nào. Hơn nữa, anh ta lại chỉ ra rằng chính con tàu của anh bạn bị co ngắn. Ở đây có sự không nhất trí về các kết quả phép đo của các quan sát viên chuyển động tương đối với nhau đã làm nảy sinh mâu thuẫn.

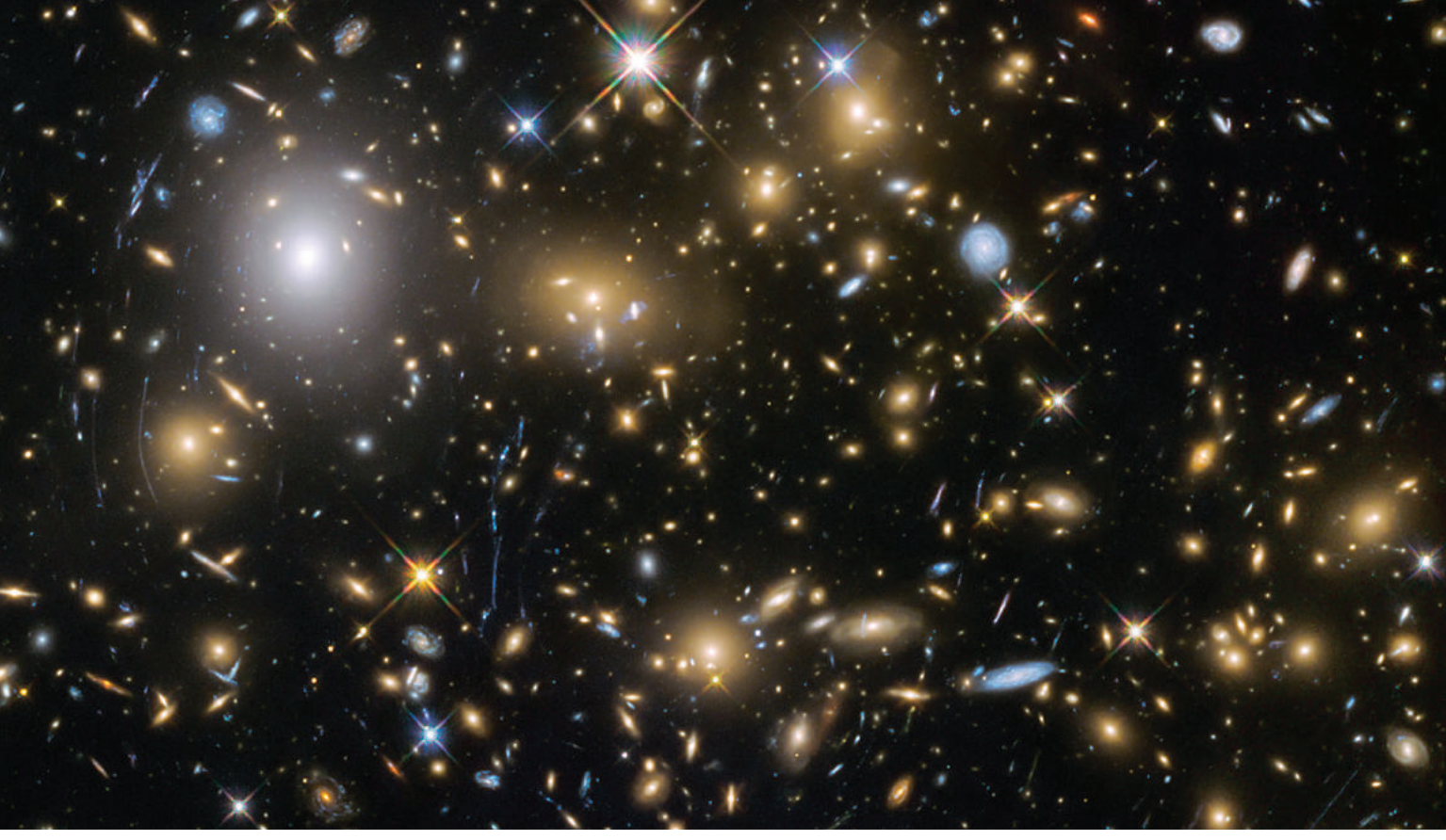
Einstein cho rằng, hai kết luận có vẻ như là mâu thuẫn đó đều đúng. Sở dĩ có sự khác nhau đó chỉ là do tiến hành phương pháp đo mà thôi.

Như vậy, chúng ta thấy rằng không gian và thời gian đều có thể co giãn. Chúng tạo thành một cặp không - thời gian. Không gian và thời gian luôn có mối liên hệ mật thiết với nhau, không thể tách rời và thậm chí chúng có thể chuyển hóa cho nhau, không gian thành thời gian và ngược lại. Đối với một nhà du hành thám hiểm không gian với vận tốc lớn thì thời gian của anh ta giãn ra và không gian thì co lại. Chính sự gắn kết không thể tách rời ấy của không gian và thời gian đã cho chúng ta một vị trí trong không gian và ở một thời điểm của thời gian. Chúng ta đang sống trong một không gian 3 chiều. Vị trí của một sự kiện được đặc trưng bởi ba con số, chính là tọa độ nằm trên 3 trục tọa độ vuông góc với nhau. Nhưng để xác định sự kiện đó cần phải biết nó xảy ra ở thời điểm nào trong thời gian. Việc này, được xác định nhờ "một tọa độ" thời gian nằm trên trục thời gian. Để thống nhất lại chúng ta có một hệ trục tọa độ không - thời gian hay một không – thời gian bốn chiều. Nhưng bằng cách nào đó có thể đặt trục thời gian vuông góc với ba trục kia? Với đầu óc ba chiều, chúng ta hoàn toàn không thể làm được việc đó. Nhưng bằng việc thiết lập các mô hình toán học thì việc này trở nên dễ dàng và thuận tiện hơn nhiều.

Để đơn giản hóa, chúng ta có thể biểu diễn trên một không - thời gian hai chiều một sự kiện nào đó. Chẳng hạn, sự kiện mà ta cần quan tâm đến là một vụ nổ sao cách chúng ta 8 năm ánh sáng. Trên giản đồ không - thời gian hai chiều này chúng ta có hai trục. Trục hướng lên trên chỉ trục thời gian biểu diễn khoảng thời gian diễn ra giữa hai sự kiện, còn trục nằm ngang gọi là trục không gian cho ta biết khoảng cách giữa hai sự kiện xảy ra. Chúng ta sẽ vẽ được đường đi của tia sáng từ vụ nổ sao tới Trái đất trong hệ tọa độ không - thời gian. Đường đi này còn được gọi là đường vũ trụ của tia sáng.

Bây giờ chúng ta sẽ tiến hành công việc mở rộng hơn số chiều. Nhưng trước hết, hãy nhận xét qua vận tốc tới hạn cố định của ánh sáng từ tiên đề hai của thuyết tương đối đặc biệt. Để bắt đầu, có thể xét một tín hiệu sáng được phát ra ở một điểm trong không gian và tại một thời điểm của thời gian. Ở một thời điểm nào đó sau khi phát, tín hiệu này sẽ lan truyền tạo thành một mặt cầu có bán kính bằng tích số khoảng thời gian truyền với vận tốc của ánh sáng. Theo thời gian, bán kính của mặt cầu trở nên lớn hơn. Chúng ta hoàn toàn có thể hiểu được điều này bằng một cách đơn giản hóa hình cầu trong không gian ba chiều bằng hình tròn trong không gian hai chiều. Bằng cách tập hợp tất cả các hình tròn được sắp xếp trật tự theo hướng của trục thời gian trôi chúng ta sẽ thu nhận được một hình nón, gọi là nón ánh sáng. Đỉnh của hình nón này nằm ở đúng thời điểm phát tín hiệu sáng, còn trục thời gian sẽ đi qua tâm của tất cả các hình tròn. Mặt nón này được gọi là nón ánh sáng tương lai của sự kiện. Những điểm nằm trong nón ánh sáng tương lai đều chịu ảnh hưởng của sự kiện trên (sự kiện phát tín hiệu sáng). Cũng bằng cách tương tự có thể dựng một nón ánh sáng quá khứ, ở đó, tất cả các sự kiện nằm trong nón ánh sáng quá khứ đều ảnh hưởng tới sự kiện đang xét. Hơn nữa, do vận tốc của ánh sáng là tới hạn và cố định nên bất kỳ một điểm nào nằm ngoài nón ánh sáng đều không chịu bất kỳ một ảnh hưởng nào từ sự kiện đang xét trên.

Như vậy, đường sinh của nón ánh sáng phản ánh tốc độ tới hạn của ánh sáng. Do đó, chúng ta có thể biểu diễn đường vũ trụ của một vật chuyển động với vận tốc nhỏ hơn vận tốc của ánh sáng bằng một đường nằm trong nón ánh sáng. Tức là những đường có góc tạo bởi với trục của không



gian một góc lớn hơn góc tạo bởi đường sinh và trục không gian. Ngược lại, những đường mà góc tạo bởi giữa chúng và trục không gian nhỏ hơn góc giữa đường sinh và trục không gian là những đường phản ánh những chuyển động nhanh hơn ánh sáng. Đây là điều không thể có.

Khi xét các mặt nón của ánh sáng, chúng ta đưa vào khái niệm quá khứ, hiện tại và tương lai. Vì vậy, các mặt nón này chia không – thời gian thành 3 vùng: quá khứ tuyệt đối, hiện tại và tương lai tuyệt đối. Trong đó, mọi điểm nằm trong vùng tương lai tuyệt đối đều chịu ảnh hưởng của sự kiện đang xảy ra ở hiện tại. Và các điểm nằm trong vùng quá khứ tuyệt đối sẽ ảnh hưởng đến sự kiện đang xảy ra. Chẳng hạn, có một vụ nổ sao cách Trái đất 10 năm ánh sáng. Tại thời điểm ngôi sao đó bùng nổ, các bức xạ của vụ nổ sao không ảnh hưởng gì tới Trái đất. Chỉ 10 năm sau, khi Trái đất đi vào nón ánh sáng tạo bởi các đường vũ trụ của các tia sáng đến từ vụ nổ sao thì lúc đó các bức xạ của vụ nổ sao mới ảnh hưởng trực tiếp đến Trái đất. Lý do này giải thích vì sao chúng ta quan sát các sự kiện trong vũ trụ bao giờ cũng với một độ trễ nhất định. Nếu một nhà thiên văn hướng viễn kính đến một vùng trời trống rỗng nào đó, thì một ngày nào đó trong tương lai, rất có thể anh ta sẽ thấy một thiên hà nguyên thủy tại chính vùng trời đó. Các bạn sẽ tự hỏi tại sao lại như vậy? Thật đơn giản là bởi vì vận tốc của ánh sáng là hữu hạn và nó cần có thời gian để đến được con mắt của nhà thiên văn. Tương tự như vậy, để gửi một tín hiệu về phía một hành tinh nào đó thì cần một khoảng thời gian cho phép tín hiệu đó đến được hành tinh. Chẳng hạn như các nhà khoa học muốn gửi một lệnh để xe tự hành Spirit Rover thực hiện một thao tác trên bề mặt sao Hỏa thì độ trễ sẽ là 4,3 phút vì hành tinh đỏ cách Trái đất 4,3 phút ánh sáng. Và tất cả những ngôi sao trên bầu trời được chúng ta quan sát chỉ là hình ảnh trong quá khứ của chúng. Điều này có nghĩa là chúng ta nhìn lên bầu trời là nhìn về quá khứ của vũ trụ. Kính thiên văn càng lớn càng cho phép các nhà khoa khoa lọc lội ngược dòng thời gian càng xa. Những thế hệ kính thiên văn không gian tiên tiến nhất được phóng lên quỹ đạo có thể cho phép chúng ta trở về quá khứ hơn 10 tỷ năm, khi vũ trụ mới chào đời.

Chúng ta vừa xét sự biến đổi của không gian và thời gian. Ngoài hai sự biến đổi trên, thuyết tương đối hẹp còn đề cập đến một sự biến đổi khác. Đó là biến đổi tương đối của khối lượng. Trước hết, chúng ta cần phân biệt hai khái niệm khối lượng hấp dẫn và khối lượng quán tính. Khối lượng hấp dẫn của một vật được xác định bằng trọng lực tác dụng lên vật đó. Vì vậy, khối lượng này sẽ thay đổi nếu đặt vật ở những nơi có khối lượng khác nhau và ở những vị trí khác nhau. Còn khối lượng quán tính của một vật được xác định bằng cách đo lực tác dụng để truyền cho vật một gia tốc nào đó. Khối lượng quán tính có đặc điểm khác so với khối lượng hấp dẫn là không phụ thuộc vào vị trí đặt vật. Mặt khác, để xác định khối lượng quán tính cần phải xác định được gia tốc, tức là biến thiên vận tốc trong một đơn vị thời gian. Để làm được điều này, chúng ta phải biết thời gian và khoảng cách mà vật đi được. Và cũng chính vì vật chuyển động so với chúng ta mà thời gian và khoảng cách đo được bị biến đổi. Lẽ đương nhiên, nguyên nhân này sẽ làm cho khối lượng tương đối của vật biến đổi theo. Ở đây, chỉ nói khối lượng tương đối bị biến đổi, còn khối lượng tĩnh của vật luôn không đổi. Sự biến đổi của khối lượng tương đối tỉ lệ với tốc độ tương đối của vật đối với chúng ta. Để rõ hơn, có thể xét một ví dụ tưởng tượng sau: Có một nhà du hành cưỡi trên một con tàu vũ trụ đang chuyển động với vận tốc bằng 80% vận tốc ánh sáng đối với một quan sát viên. Quan sát viên này nhận thấy khối lượng của con tàu vũ trụ, do đó cả nhà du hành tăng đáng kể. Nhưng đối với nhà du hành trong con tàu thì anh ta không hề cảm nhận được bất cứ một sự biến đổi nào về khối lượng. Tình huống này cũng giống như việc co giãn của không gian và thời gian.

Thiết bị có tên Advanced LIGO đã giúp nhóm các nhà khoa học với hơn 1.000 thành viên phát hiện và chứng thực sự tồn tại của sóng hấp dẫn như tiên đoán cách đây 100 năm của Einstein. Hệ thống trị giá 620 triệu USD này đã giúp các nhà thiên văn học quan sát hiện tượng hai hố đen sáp nhập. Quá trình này làm sinh ra các sóng hấp dẫn – vết gợn không thời gian như Einstein tiên đoán vào năm 1916. Sóng này sẽ lan truyền đi từ nguồn phát với vận tốc ánh sáng trong không gian và tới Trái Đất. Tuy nhiên, các dao động nén và giãn không thời gian do sóng hấp dẫn gây ra quá nhỏ, cỡ một phần triệu chiều rộng của một nguyên tử hydro. Đó là lý do vì sao Einstein nghĩ rằng con người không thể phát hiện ra chúng.

Nhờ vào Advanced LIGO, lần đầu tiên các nhà khoa học đã chứng thực được tiên đoán của Einstein. Advanced LIGO sử dụng một hệ thống laser độ nhạy rất cao, có khả năng phát hiện các biến dạng cỡ một phần tỷ tỷ mét, đủ để bắt được sóng hấp dẫn. Nó gồm có hai máy dò, một đặt ở Livingston, Louisiana, và một ở Hanford, Washington. Bằng cách này, các tín hiệu thu được từ một máy dò có thể được xác nhận hay phủ nhận khá nhanh chóng bởi máy dò thứ hai.

Tại mỗi máy dò, các kỹ sư bắn một tia laser mạnh vào một bộ tách để chia chùm laser thành hai, đi theo hai hướng khác nhau trong hai đường hầm dài 4 km. Sau khi phản xạ ở gương tại cuối mỗi đường hầm, hai chùm laser tái hợp làm một.

Nếu không có sự nhiễu loạn gây ra do sóng hấp dẫn, theo tính toán thì hai chùm laser tái hợp sẽ triệt tiêu nhau, do cả hai di chuyển trong cùng một khoảng thời gian như nhau. Nếu sóng hấp dẫn tác động lên đường đi của một trong hai chùm, ở máy dò ta sẽ thu được một chớp sáng. Chớp sáng này là thứ mà LIGO đã chờ đợi suốt 14 năm qua.

Vào hôm 14/9/2015, các nhà khoa học thu được tín hiệu chớp sáng giống nhau ở cả hai máy.

Từ tín hiệu này, họ đã tính toán được sóng hấp dẫn này là do sự sáp nhập của hai hố đen, một có khối lượng gấp 36 lần Mặt Trời và một gấp 29 lần. Hai hố đen này xoay quanh nhau theo đường xoắn ốc và cách chúng ta 1,3 tỷ năm ánh sáng.

Tín hiệu này sau đó đã được LIGO chuyển thành tín hiệu âm thanh với cao độ tăng dần, đạt đỉnh ở thời điểm hai hố đen sáp nhập.

Theo giáo sư vật lý Szabolcs Marka, Đại học Columbia, dựa vào âm thanh thu được có thể phân loại sóng hấp dẫn do siêu tân tinh hay hố đen phát ra.

"Chúng có âm thanh khác biệt", bà nói.

Khối lượng của hố đen mới hình thành nặng gấp 62 lần Mặt Trời. So với tổng khối lượng hai hố đen thành phần (36 và 29) thì có ba lần khối lượng Mặt Trời bị hao hụt. Theo nhóm nghiên cứu thì phần khối lượng này đã chuyển thành năng lượng lan truyền sóng hấp dẫn.

Trái Đất và Mặt Trời cũng phát ra sóng hấp dẫn. Theo tính toán của nhà vật lý lý thuyết Luboš Motl thì năng lượng của sóng hấp dẫn này đủ để thắp sáng hai bóng đèn Edison. Năng lượng sóng hấp dẫn của hai hố đen trên phát ra lớn gấp 10 mũ 44 lần.

Đây là lần đầu tiên trong lịch sử, con người "nhìn" thấy hai hố đen sáp nhập. Trước đó, các nhà thiên văn học không dám khẳng định có thể hay không xảy ra một vụ va chạm như thế, bởi vì không có cách nào phát hiện nó.