

DỊCH CHUYỂN ĐỎ VỚI SỰ GIÃN NỞ CỦA VŨ TRỤ

CN. Nguyễn Thị Thúy Quỳnh
Khoa Khoa học cơ bản

TÓM TẮT

Việc vũ trụ giãn nở hay co lại có ý nghĩa vô cùng to lớn, vì điều này sẽ giúp chúng ta dự đoán về quá khứ và tương lai của vũ trụ. Một trong những công cụ để tìm ra câu trả lời này là lý thuyết về dịch chuyển đỏ. Nếu Mặt Trời là đứng yên so với Trái Đất thì quang phổ Mặt Trời thu được sẽ phân thành ba vùng: vùng cực tím, vùng thông thường và vùng hồng ngoại. Nhưng trên thực tế, toàn bộ ảnh quang phổ của Mặt Trời mà ta thu được lại trở nên đỏ hơn so với với bộ ảnh quang phổ lẽ ra nó phải có, nghĩa là Mặt Trời đang chuyển động ra xa Trái Đất. Đây là một bằng chứng chứng minh vũ trụ đang giãn nở và sự giãn nở này sẽ được giải thích dựa trên lý thuyết về dịch chuyển đỏ.

Từ khóa: Dịch chuyển đỏ, sự giãn nở của vũ trụ, mô hình vũ trụ Robertson – Wallker.

SUMMARY

If the sun is standing still compared to the Earth, the solar spectrum obtained will split into three regions: the ultraviolet, the conventional and infrared region. In fact, the whole image of the solar spectrum that we obtained to become redder than the spectrum of retail image it must be, that is, the Sun is moving away from Earth. This is a proof that the universe is expanding, and this expansion will be explained based on the theory of redshift. The expansion or contraction of the universe has enormous significance, because it will help us to predict the past and future of the universe. One of the tools to find the answers to this is the theory of redshift

Keywords: Red Shift, the expansion of the universe, cosmology Robertson – Wallker model.

1. GIỚI THIỆU

Việc vũ trụ giãn nở hay co lại có ý nghĩa vô cùng to lớn. Vì điều này sẽ giúp chúng ta dự đoán về quá khứ và tương lai của vũ trụ. Một trong những công cụ để tìm ra câu trả lời này là lý thuyết về dịch chuyển đỏ. Giả sử Mặt Trời là đứng yên so với Trái Đất, khi quan sát các vạch quang phổ của quang phổ Mặt Trời, ta sẽ thấy chúng phân ra thành ba vùng. Vùng ở giữa là vùng thông thường, vùng có bước sóng nhỏ (tần số lớn, năng lượng lớn) là vùng cực tím, vùng có bước sóng lớn (tần số nhỏ, năng lượng nhỏ) là vùng hồng ngoại.

Nếu Mặt Trời dịch chuyển ra xa Trái Đất với một vận tốc đủ lớn thì ta sẽ thu được bộ ảnh quang phổ mới của Mặt Trời sẽ dịch chuyển về phía vùng có bước sóng lớn, nghĩa là toàn bộ quang phổ của Mặt Trời sẽ trở nên đỏ hơn khi Mặt Trời chuyển động ra xa chúng ta, hiện tượng đó người ta gọi là dịch chuyển đỏ. Ngược lại, khi Mặt Trời chuyển động đến gần Trái Đất thì toàn bộ quang phổ của Mặt Trời mà chúng ta thu được sẽ trở nên tím hơn.

Trong thực tế, khi thu ảnh quang phổ của các thiên hà, của các sao trong vũ trụ thì người ta nhận thấy tất cả các phổ đều bị dịch chuyển đỏ so với bộ ảnh quang phổ lẽ ra nó phải có. Có rất nhiều nguyên nhân dẫn đến hiện tượng này nhưng ở đây ta sẽ chỉ lý giải hiện tượng này dựa trên lý thuyết của dịch chuyển đỏ thông qua hiệu ứng Doppler: tần số của các sóng phát ra từ một nguồn đang chuyển động ra xa một quan sát viên, sẽ được quan sát viên này nhận biết như là nhỏ hơn tần số thật sự tại nguồn phát.

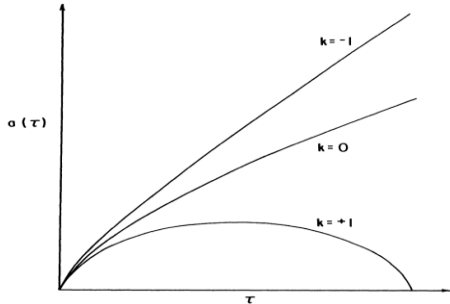
Hiện tượng dịch chuyển đỏ cung cấp cho vật lý thiên văn những bằng chứng quan sát trực tiếp nhất chứng tỏ vũ trụ đang giãn nở.

2. DỊCH CHUYỂN ĐỎ (REDSHIFT)

2.1. Dịch chuyển đỏ trong mô hình Robertson-Wallker

Công thức tính độ dịch chuyển đỏ tổng quát cho mô hình vũ trụ học Robertson-Walker với metric không thời gian:

$$ds^2 = -d\tau^2 + a^2(\tau) = \begin{cases} d\psi^2 + \sin^2\psi(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2) \\ dx^2 + dy^2 + dz^2 \\ d\psi^2 + \sinh^2\psi(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2) \end{cases}$$



Mô hình vũ trụ Robertson – Walker

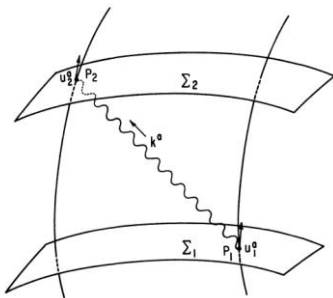
2.2. Giảm đồ không – thời gian

Xét một sự kiện P_1 tại thời điểm τ_1 , là sự kiện một quan sát viên đẳng hướng thu nhất phát ra một photon với tần số ω_1

Xét một sự kiện P_2 tại thời điểm τ_2 , là sự kiện một quan sát viên đẳng hướng thứ hai nhận được photon vừa nêu trên với tần số ω_2

Nếu tìm được tần số ω_2 của photon tại sự kiện P_2 từ đó tìm ra độ dịch chuyển đỏ.

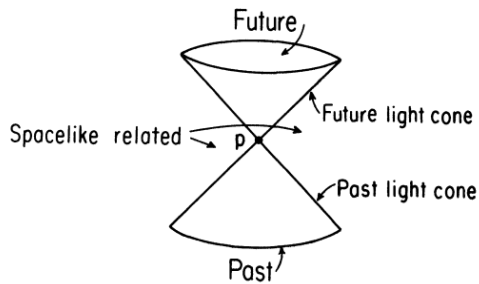
Tại thiên hà xảy ra sự kiện P_1 ta dựng một siêu mặt Σ_1 , trục thời gian và tiếp tuyến u_1^a . Ở Trái Đất nơi xảy ra sự kiện P_2 ta dựng siêu mặt Σ_2 , trục thời gian và tiếp tuyến u_2^a .



Giảm đồ không – thời gian mô tả sự bức xạ của một tín hiệu ánh sáng phát ra từ P_1 và truyền đến P_2

2.2.1. Các yếu tố ảnh hưởng đến bài toán dịch chuyển đỏ

a. Trong xấp xỉ quang hình học, khi ánh sáng truyền trên các đường trắc địa thì các đường trắc địa đó phải là các đường null của nón ánh sáng ($v=c$), mà không phải là đường timelike ($v < c$) và đường spacelike ($v > c$).



Nón ánh sáng của sự kiện P

b. Tần số của một tín hiệu ánh sáng có vector sóng k^a được đo bởi quan sát viên và 4-vector u^a là vector tiếp tuyến trên quỹ đạo timelike là:

$$\omega = -k_a u^a$$

u^a là vector tiếp tuyến của quỹ đạo timelike của các quan sát viên đứng yên.

Ta luôn luôn có thể tìm thấy tần số quan sát được bằng cách tính những đường trắc địa null được xác định từ những giá trị ban đầu của k^a ở điểm phát ra tín hiệu ánh sáng rồi sau đó tính về phải của phương trình $\omega = -k_a u^a$ ở điểm quan sát.

2.2.2. Vector Killing

Ta sẽ phải sử dụng tới khái niệm về vector Killing. Vector Killing là vi tử của các vector sinh của các phép biến đổi đồng đẳng (trong một nhóm các phép biến đổi đồng đẳng người ta chỉ chọn ra các yếu tố sinh (vi tử) của nhóm đó để mô tả). Khi ta tịnh tiến một vật với một độ dài tùy ý nào đó, vector sinh là vector đơn vị của sự tịnh tiến đó. Người ta thường mô tả vector sinh dưới dạng các đạo hàm. Vector sinh là một trường vector bảo toàn metric, nghĩa là khi ta tịnh tiến một vật rắn thì khoảng cách giữa các điểm trên vật rắn đó phải không thay đổi, nghĩa là vật đó phải không bị biến dạng. Như vậy khi ta tịnh tiến một vật thể dọc theo vector Killing thì vật đó không bị biến dạng.

- Gọi ξ^a là trường vector Killing, là trường vector sinh ra một nhóm đồng đẳng một-tham số.
 - Gọi t^a là vector tiếp tuyến đối với đường trắc địa.
- $\Rightarrow \xi^a t^a$ là một hằng số không đổi dọc theo đường trắc địa mà ta đang xét. Tức là nếu ta lấy vector Killing nhân với tiếp tuyến đường trắc địa thì ta sẽ được một hằng số không đổi dọc theo đường trắc địa.

Ta có thể chọn trường vector Killing không-thời gian ξ^a sao cho nó vừa hướng dọc theo phương chiếu của k^a vào Σ_1 ở P_1 , vừa hướng dọc theo phương chiếu của k^a vào Σ_2 ở P_2 . Tức là khi vector sóng k^a truyền đi trong không gian cong nói chung, ta có thể chọn trường vector Killing sao cho ở sự kiện P_1 nó song song với k^a , ở sự kiện P_2 nó vẫn song song với k^a bằng cách ta tịnh tiến trường vector Killing.

2.2.3. Công thức dịch chuyển đờ

Giả sử không gian là phẳng, ở P_1 ta chọn vector k^a là vector tiếp tuyến với đường trắc địa dọc theo phương $\left(\frac{\partial}{\partial x}\right)^a$, khi đó ta có:

$$k^a \left(\frac{\partial}{\partial y}\right)_a = k^a \left(\frac{\partial}{\partial z}\right)_a = 0 = const$$

$\Rightarrow \left(\frac{\partial}{\partial y}\right)^a$ và $\left(\frac{\partial}{\partial z}\right)^a$ đóng vai trò như các trường vector Killing.

Do $\left(\frac{\partial}{\partial y}\right)^a$ và $\left(\frac{\partial}{\partial z}\right)^a$ là những trường vector Killing nên các tích này cũng triệt tiêu tại P_2 .

Vì thế hình chiếu của k^a vào Σ_2 tại điểm P_2 cũng theo phương $\left(\frac{\partial}{\partial x}\right)^a$ nên $\xi^a = \left(\frac{\partial}{\partial x}\right)^a$ cũng cần phải là trường vector Killing.

Tương tự, có thể chứng minh sự tồn tại của ξ^a trong trường hợp mặt cầu và hyperbol.

Trong mọi trường hợp (phẳng, cầu, hyperbol), độ lớn của vector Killing ξ^a ở P_2 được biến đổi từ độ lớn của nó ở P_1 . Sự biến đổi này phải tỷ lệ thuận với độ biến đổi về độ lớn của hệ số kích thước của vũ trụ a từ Σ_1 đến Σ_2 :

$$(\xi^a \xi_a)^{1/2} \Big|_{P_1} \approx a(\tau_1)$$

$$(\xi^a \xi_a)^{1/2} \Big|_{P_2} \approx a(\tau_2)$$

Trường vector Killing phụ thuộc vào kích thước vũ trụ tại một điểm.

Ánh sáng đi trên đường trắc địa null nên k^a là vector tiếp tuyến null nên nó vuông góc với chính nó.

Do đó, ở tại một điểm bất kỳ, các phép chiếu của k^a lên phương u^a phải có cùng độ lớn khi ta chiếu lên mặt Σ_1 và Σ_2 .

Chiếu k^a lên Σ tại điểm P, nghĩa là chiếu k^a lên vector Killing ξ^a , ta thu được độ lớn:

$$\text{Tại } P_1: k_a u_1^a = -k_a [\xi^a / (\xi^b \xi_b)^{1/2}]_{P_1}$$

$$\omega_1 = -k_a u_1^a = [(k_a \xi^a) / (\xi^b \xi_b)^{1/2}]_{P_1}$$

Tương tự:

$$\omega_2 = -k_a u_2^a = [(k_a \xi^a) / (\xi^b \xi_b)^{1/2}]_{P_2}$$

Ngoài ra, tích trong của vector Killing và vector tiếp tuyến đường trắc địa tại P_1 và P_2 :

$$[(k_a \xi^a)]_{P_1} = [(k_a \xi^a)]_{P_2}$$

Dựa trên công thức của ω_1 và ω_2 ta có:

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\frac{[(k_a \xi^a)]_{P_2}}{[(\xi^b \xi_b)^{1/2}]_{P_2}}}{\frac{[(k_a \xi^a)]_{P_1}}{[(\xi^b \xi_b)^{1/2}]_{P_1}}} = \frac{[(k_a \xi^a)]_{P_2}}{[(k_a \xi^a)]_{P_1}} \cdot \frac{[(\xi^b \xi_b)^{1/2}]_{P_1}}{[(\xi^b \xi_b)^{1/2}]_{P_2}} = \frac{[(\xi^b \xi_b)^{1/2}]_{P_1}}{[(\xi^b \xi_b)^{1/2}]_{P_2}} = \frac{a(\tau_1)}{a(\tau_2)}$$

* $a(\tau_2) > a(\tau_1)$: vũ trụ giãn nở, kết hợp với biểu thức trên ta có:

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} < 1$$

$\Rightarrow \omega_2 < \omega_1$: Khi vũ trụ đang tăng kích thước thì tần số photon phát ra tại P_1 khi nhận tại P_2 được sẽ giảm đi (bước sóng tăng lên). Dịch chuyển đỏ có được là do vũ trụ của chúng ta đang giãn nở, kích thước ngày càng tăng.

* $a(\tau_2) < a(\tau_1)$: vũ trụ co lại (giảm kích thước), ta có:

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} > 1$$

$\Rightarrow \omega_2 > \omega_1$: Khi vũ trụ đang giảm kích thước thì tần số photon phát ra tại P₁ khi nhận tại P₂ được sẽ tăng lên (bước sóng giảm xuống), bây giờ ta có dịch chuyển xanh (còn gọi là dịch chuyển tím).

Gọi z là hệ số dịch chuyển đỏ, λ_1 là bước sóng ánh sáng tại P₁, λ_2 là bước sóng ánh sáng tại P₂, ta có:

$$z = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} - 1 = \frac{\omega_1}{\omega_2} - 1 = \frac{a(\tau_2)}{a(\tau_1)} - 1$$

Đối với những ánh sáng phát ra từ những thiên hà ở tương đối gần nhau đủ để thời riêng được đối xử gần gần giống như thời gian tọa độ. Gọi khoảng cách giữa các thiên hà là R (R ở đây rất lớn so với khoảng cách từ Trái Đất đến Mặt Trời), ta có:

$$\tau_2 - \tau_1 \approx R$$

Khai triển Taylor của $a(\tau_2)$ dựa theo độ lệch của $a(\tau_2)$ và $a(\tau_1)$, ta có:

$$a(\tau_2) \approx a(\tau_1) + (\tau_2 - \tau_1)\dot{a} = a(\tau_1) + R\dot{a}$$

Từ đó, ta có thể viết lại z:

$$z = \frac{a(\tau_2)}{a(\tau_1)} - 1 \approx \frac{a(\tau_1) + R\dot{a}}{a(\tau_1)} - 1 = \frac{a(\tau_1)}{a(\tau_1)} + \frac{R\dot{a}}{a(\tau_1)} - 1 = \frac{\dot{a}}{a}R = HR$$

Với H là hằng số Hubble.

Phương trình này là hệ thức tuyến tính giữa khoảng cách và dịch chuyển đỏ mà Hubble đưa ra. Đây là công thức tính dịch chuyển đỏ sử dụng trong thiên văn học.

3. KẾT LUẬN

Hệ số dịch chuyển đỏ giữa các điểm khác nhau trong vũ trụ phụ thuộc vào khoảng cách giữa chúng. Các hành tinh hay các thiên hà ở càng xa nhau thì hệ số dịch chuyển đỏ càng lớn so với các hành tinh hay các thiên hà ở gần.

Vũ trụ của chúng ta đang giãn nở nên dịch chuyển đỏ được sử dụng rất phổ biến trong vật lý thiên văn. Nó là phương tiện duy nhất để chúng ta biết về các hành tinh, các thiên hà trong vũ trụ vì chúng ở quá xa chúng ta, có những thiên hà ánh sáng phát ra từ chúng phải mất vài trăm năm mới tới được Trái Đất chúng ta nên ta phải biết dịch chuyển đỏ để đánh giá phổ thật sự của các thiên hà này trong vũ trụ, trên cơ sở đó mới tiến hành nghiên cứu chúng. Các quan sát cho thấy rằng việc mở rộng của vũ trụ sẽ tiếp tục mãi mãi. Nếu như vậy, vũ trụ sẽ lạnh đi khi nó mở rộng, cuối cùng trở nên quá lạnh để duy trì sự sống

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1].Robert M. Wald, 1984, *General Relativity*, the University of Chicago, 499 trang.

[2].C. Wang, 2011, *The relativistic Doppler effect: when a zero-frequency shift or a red shift exists for sources approaching the observer*, *Annalen der Physik*, 246 trang.

[3].E. Schmutzner, 2000, *Cosmology without Big Bang for the whole time scale (repulsion era and attraction era)*, *Astronomische Nachrichten*, 224 trang.

[4].A Lewis, A Challinor, A Lasenby, 2000, *The Astrophysical Journal*, iopscience.iop.org/sci-hub.org

[5].http://vi.wikipedia.org/wiki/T%C6%B0%C6%A1ng_lai_c%E1%BB%A7a_m%E1%BB%99t_v%C5%A9_tr%E1%BB%A5_gi%C3%A3n_n%E1%BB%9F

[6].http://vi.wikipedia.org/wiki/D%E1%BB%8Bch_chuy%E1%BB%83n_%C4%91%E1%BB%8F

[7].http://vi.wikipedia.org/wiki/M%C3%AAtic_Friedmann%E2%80%93Lema%C3%AAtre%E2%80%93Robertson%E2%80%93Walker

-Người phản biện: TS. Đoàn Trí Dũng- Viện Vật lý, TP. HCM; ThS. Cao Hồ Thanh Xuân

-Ngày duyệt đăng: 27/10/2015.