

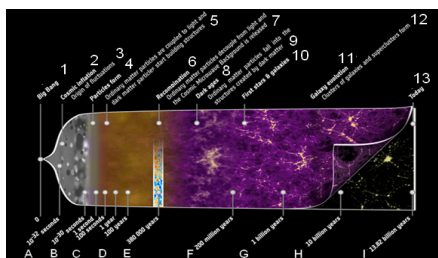


NHỮNG TÍN HIỆU TRỰC TIẾP ĐẦU TIÊN CỦA SÓNG HẤP DẪN

Cuối tháng 3.2014, các nhà vật lý thực hiện thí nghiệm BICEP2 (Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarization) đặt tại Nam Cực đã thông báo về việc tìm thấy những tín hiệu đầu tiên của sóng hấp dẫn (SHD) và lạm phát vũ trụ. Các dữ liệu của BICEP2 cung cấp những hình ảnh phân cực đầu tiên của SHD [1]. Nếu các kết quả này được khẳng định thì theo ý kiến của nhiều nhà khoa học, sự kiện này xứng đáng được đánh dấu bằng Giải thưởng Nobel về vật lý. Đây là thành tựu lớn nhất trong vật lý (sau việc phát hiện hạt Higgs) trong nhiều thập kỷ qua. Dưới đây Tạp chí xin giới thiệu nội dung chính bài viết của các tác giả Sean Carroll [2] và Cecelie Hector [3].

Lịch sử tóm tắt của vũ trụ

Vũ trụ đã trải qua những *thời kỳ* và *thời điểm* như sau (hình 1):



Hình 1: lịch sử tóm tắt của vũ trụ - Các thời kỳ và thời điểm tương ứng

Các thời kỳ (xem các chữ số phía trên hình 1): 1- Big Bang; 2- Vũ trụ lạm phát; 3- Thời kỳ lạm phát (là thời kỳ sinh ra nguồn gốc các nhiễu loạn, SHD, là thời kỳ chúng ta quan tâm trong bài báo này); 4- Các hạt hình thành; 5- Các hạt kết hợp với ánh sáng và xuất hiện các cấu trúc của vật chất tối (các photon của vũ trụ sơ sinh bị giam cầm trong một món xúp của những hạt lưu giữ ánh sáng giống như những con đom đóm bị

mắc trong bùn); 6- Thời kỳ tái hợp (electron tự do kết hợp với hydrogen và helium); 7- Các hạt tách khỏi ánh sáng và CMB (Cosmic Microwave Background) xuất hiện; 8- Thời kỳ tối (chúng ta không có thông tin nhiều về thời kỳ này vì ánh sáng chưa được tự do lan truyền. Vũ trụ ở trạng thái mờ. Sau thời kỳ này vũ trụ chuyển sang trạng thái trong); 9- Vật chất bình thường rơi vào cấu trúc tạo ra bởi vật chất tối; 10- Các thiên hà đầu tiên; 11- Sự tiến triển các thiên hà; 12- Sự hình thành các cụm thiên hà; 13- Hiện nay.

Tương ứng với các thời điểm (xem các chữ phía dưới hình 1): A = 10^{-32} giây, B = 10^{-30} giây, C = 100 giây, D = 100 năm, E = 300.000 năm, F = 200 triệu năm, G = 1 tỷ năm, H = 10 tỷ năm, I = 13,82 tỷ năm.

Những nhiễu loạn gây nên bởi lạm phát

Thời kỳ lạm phát (thời kỳ 2 trên hình 1) gây ra 2 loại nhiễu loạn quan

trọng: vô hướng (mật độ) và tensor (SHD). Nhiễu loạn vector mau chóng phân rã nên không được xét đến. Nhiễu loạn vô hướng được cảm ứng bởi các bất đồng nhất năng lượng mật độ. Những nhiễu loạn này quan trọng vì đó sẽ là mầm của các cấu trúc vũ trụ trong tương lai. Những nhiễu loạn tensor ứng với SHD.

Hai nhiễu loạn vô hướng và tensor đều xác định bởi sự tiến triển của một hàm vô hướng Φ gọi là inflaton thỏa mãn điều kiện gọi là lăn chậm (slow roll), hạt Higgs có thể đóng vai trò inflaton [4].

Nhiễu loạn vô hướng

Từ biểu thức của metric, ta lấy ra phần nhiễu loạn vô hướng R gọi là nhiễu loạn độ cong (curvature perturbation) liên quan đến nhiễu loạn mật độ.

Lấy thành phần Fourier của R ta có R_k (chuyển sang không gian xung lượng). Từ đó, ta có $\langle R_k R_l \rangle = P_s \delta(k-l)$, P_s được định nghĩa là phổ của

nhiều loạn vô hướng. Có thể viết phổ nhiễu loạn P_s dưới dạng:

$$P_s(k) = P_s(k_0) \left(\frac{k}{k_0} \right)^{1-n_s}$$

Trong công thức trên, n_s gọi là chỉ số phổ (spectral index) vô hướng.

Nhiều loạn tensor

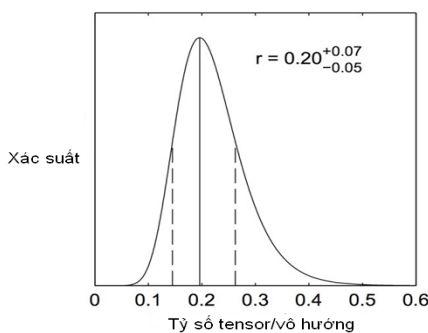
Cũng làm như thế với nhiễu loạn tensor h_{ij} . Biến đổi chỉ số của h_{ij} sang chỉ số xung lượng k và phân cực λ ta

$$\text{có } h_{k\lambda}, \text{ từ đó } \sum_{\lambda=1,2} \langle h_{k\lambda} h_{k'\lambda} \rangle = P_T(k-k').$$

Có thể viết phổ nhiễu loạn P_T dưới dạng:

$$P_T(k) = P_T(k_0) \left(\frac{k}{k_0} \right)^{n_T}$$

Trong công thức trên, n_T gọi là chỉ số phổ tensor. Để tách được hai loại nhiễu loạn vô hướng và tensor cần nghiên cứu hiện tượng phân cực. Tỷ số tensor/vô hướng $r = n_T/n_s$ đo được từ BICEP2 là vào khoảng 0,2 với độ chính xác 3σ (hình 2). Trị số này dường như lớn hơn so với các dữ liệu của các kính viễn vọng Planck và WMAP [5].



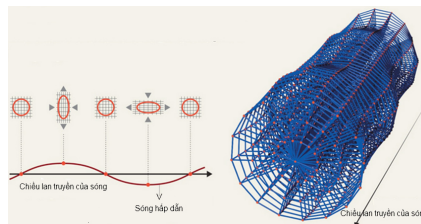
Hình 2: xác suất của tỷ số tensor/vô hướng. Theo kết quả của nhóm BICEP2 tỷ số này là 0,2

Sự phân cực của SHD

SHD là những vết nhăn của không thời gian. Những dữ liệu này còn cho thấy mối liên quan sâu xa giữa cơ

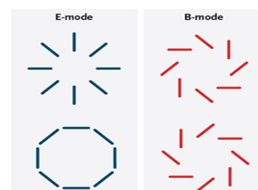
học lượng tử và lý thuyết tương đối tổng quát. Nếu hấp dẫn không được lượng tử hóa thì lạm phát không tạo nên SHD, nhà vật lý người Mỹ Alan Guth đã phát biểu như vậy. Những điều chúng ta chứng kiến nói lên tính lượng tử của hấp dẫn và cũng là lần đầu tiên chúng ta mục kích được một dấu hiệu quan trọng của sự thống nhất này. Người đứng đầu nhóm BICEP2 - GS John Kovac đã khẳng định: phát hiện những tín hiệu của SHD là mục tiêu quan trọng nhất của vũ trụ học hiện đại. SHD có phân cực kiểu B (B-mode). Chúng ta sẽ không thấy được SHD nếu chỉ nghiên cứu nhiệt độ mà phải nghiên cứu hiện tượng phân cực.

Khi lan truyền trong không gian thì SHD co nén không gian theo một chiều và kéo giãn không gian theo một chiều khác, cả hai chiều này đều thẳng góc với chiều lan truyền của SHD. Hệ quả là sóng có dạng xoắn như ở hình 3.



Hình 3: sự tạo thành phân cực mode B của SHD

Người ta phân biệt hai kiểu phân cực E và B (E-mode và B-mode) như ở hình 3 và 4. Chỉ có SHD mới có phân cực kiểu B (thấu kính hấp dẫn - gravitational lensing - cũng có thể tạo nên kiểu phân cực B và các nhà thực nghiệm có phương pháp để tách riêng hiện tượng này). Nhìn một bản đồ phân cực ta sẽ thấy những đoạn thẳng trên bầu trời (hình 4).



Hình 4: bản đồ phân cực kiểu E và B. Chỉ SHD mới cho ta phân cực kiểu B

Phân cực kiểu B tạo nên những đoạn thẳng xoáy (curl), còn phân cực kiểu E chỉ tạo nên những đoạn thẳng không xoáy (grad). Nhóm BICEP2 đã ghi đo được các dấu hiệu phân cực kiểu B của SHD.

Kết luận

Trong số các tác giả của lý thuyết lạm phát và SHD, phải kể đến các nhà vật lý Mỹ Alan Guth (*đưa ra ý tưởng về lạm phát lần đầu tiên năm 1980*), Andreas Albrecht, Paul Steinhardt; các nhà vật lý Nga Alexei Starobinsky và Andrei Linde; các nhà vật lý Mỹ đứng đầu nhóm BICEP2 là John Kovac, Clem Pryke, Chao-Lin Kuo. Việc nhóm BICEP2 ghi đo được những dấu hiệu phân cực kiểu B của SHD được đánh giá là một thành tựu quan trọng trong vũ trụ học, khẳng định lạm phát vũ trụ, sự hiện hữu của SHD, sự thống nhất giữa cơ học lượng tử và hấp dẫn. Theo ý kiến của nhiều nhà vật lý uy tín như Stephen Hawking, nếu các dữ liệu của BICEP2 được kiểm nghiệm chặt chẽ về độ chính xác thì một Giải Nobel vật lý sẽ nằm trong tầm tay của các tác giả trên.

CC biên dịch

Tài liệu tham khảo

- [1] BICEP2: Detection of B-mode polarization at degree angular scales, nhiều tác giả, trong đó có TS Nguyễn Trọng Hiến.
- [2] Sean Carroll, *Gravitational Waves in the Cosmic Microwave Background* (<http://www.preposterousuniverse.com/blog/2014/03/16/gravitational-waves-in-the-cosmic-microwave-background/>).
- [3] Cecelie Hector, *Density Fluctuations*, 2010-11-9 (www.desy.de/~westphal/seminar.../density_perturbations_inflation.pdf).
- [4] Roland E. Allen, *Hạt Higgs, cầu nối nhiệt độ của vũ trụ*, Tạp chí KH&CN Việt Nam, số 6.2014 (673).
- [5] WMAP = Wilkinson Microwave Anisotropy Probe là trạm vũ trụ ghi đo các độ bất đồng nhất nhiệt độ của bức xạ nền vi sóng vũ trụ (CMBR - Cosmic Microwave Background Radiation).