

# MỘT SỐ VẤN ĐỀ CỦA VẬT LÝ QUARK - GLUON PLASMA VÀ LÝ THUYẾT BÁN HIỆN TƯỢNG LUẬN

*Võ Hồng Anh, Lê Văn Ngọc*  
*Viện KHKT Hạt nhân,*  
*Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam*

Ở nhiệt độ cao chất hạt nhân trở thành plasma được tạo bởi các nucleon, các quark và khi đó tương tác yếu. Plasma này được gọi là quark-gluon plasma (QGP) và có nhiều nét với plasma điện từ được tạo bởi các electron, positron, photon [1, 2].

Vật lý quark-gluon plasma là một ngành mới của vật lý hệ nhiều hạt liên quan chặt chẽ với vật lý hạt nhân, vật lý thiên văn và vũ trụ học. Về bản chất quark-gluon plasma là một đặc biệt của vật chất có thể đã tồn tại trong những giai đoạn đầu của vũ trụ và tồn tại thậm chí ngày nay ở một dạng rất đặc biệt như chất đen và chất quark lạ trong lòng các sao neutron [4, 5]. Để giải thích lý thuyết sự tồn tại của một dạng vật chất không nhìn thấy trong vũ trụ phải có một lý thuyết thích hợp.

Hiện nay lĩnh vực quark-gluon plasma đang phát triển với tốc độ nhanh chóng và đưa ra những thách thức cả về lý thuyết lẫn thực nghiệm [6, 7]. Những cố gắng thực nghiệm nhằm ra và quan sát quark-gluon plasma (một trong những mục đích chủ yếu của các thí nghiệm năng lượng siêu tương đối) đang được tiến hành ở CERN, Brookhaven, Fermilab [8]. Có thể nói sự xuất hiện của các chế độ ion nặng năng lượng cao ở những nơi này sẽ mở rộng mạnh mẽ vi mật độ, năng lượng có thể tiếp cận trong các va chạm hạt nhân và khi đó sẽ có thể đạt sự nhiệt hóa và giải phóng cầm tù (deconfinement) trong quark-gluon plasma (QGP).

Những vấn đề thực nghiệm của vật lý quark-gluon plasma là rất lớn và cách tiếp cận mục đích chung rất khác nhau. Để tìm kiếm quark-gluon plasma người ta đề nghị những năng lượng quan sát khác nhau khi những tín hiệu dẫn tới sự thay đổi trong cấu trúc của chất hadron đậm đặc khi nó trở thành quark-gluon plasma ở nhiệt độ cao [10, 11, 12]. Những tín hiệu này, chẳng hạn là các photon trong phạm vi năng lượng từ 1,5 GeV đến vài GeV, các cặp muon và bremsstrahlung từ được tạo thành trong các va chạm ion nặng tương đối tính, v.v... [13, 14,

Bên cạnh những nghiên cứu thực nghiệm quark-gluon plasma, những nghiên cứu lý thuyết trong lĩnh vực này đang được tiến hành mạnh mẽ. Những nghiên cứu lý thuyết về quark-gluon plasma rất phong phú nhằm dẫn ra những tín hiệu thống nhất và rõ ràng về sự hình thành và tiến hóa của quark-gluon plasma. Có thể nêu một số nghiên cứu như vậy, chẳng hạn nghiên cứu các tín hiệu hadronic của sự tạo thành quark-gluon plasma trên cơ sở tiến hóa thủy động lực học của chất hadronic [16], nghiên cứu các hàm phân bố moment của quark-gluon plasma không đồng nhất và phát dilepton với khối lượng nhỏ bất biến [17], nghiên cứu sự thăng giáng tập thể trong các va chạm hạt nhân - hạt nhân ở năng lượng rất cao [18] v.v...

Quark-gluon plasma là pha nhiệt độ cao và mật độ lớn của vật chất được miêu tả bằng lý thuyết của sắc động học lượng tử (QCD). Dựa vào QCD nhiều nhà vật lý hy vọng quark

hiện tượng chuyển pha giữa các pha hadron và quark-gluon trong chất lỏng nhiệt với nhiệt độ, mật độ lớn được tạo ra trong các va chạm hạt nhân năng lượng rất cao. Vũ trụ học gần đây gợi ý rằng hiện tượng chuyển pha tương tự đã xảy ra ở một bước nào đó của sự tiến hóa vũ trụ và chắc chắn đây là một trong những đề tài thách thức nhất để phân tích lý thuyết hiện tượng trên cơ sở QCD. Tuy nhiên những hiện tượng phức tạp như vậy sẽ rất xa với các bài lý đầu tiên gắn liền chặt chẽ với nhau của QCD. Vì vậy cần phải đưa vào mẫu hiện tượng thích hợp cho phép giải thích các chi tiết của những hiện tượng theo vài biến số hay tham số hạn mô hình thủy động làm việc tương đối tốt đối với quá trình khai triển của QCD.

Bước tiếp theo sẽ rút ra các biến số hay tham số hiện tượng luận và những tính chất nhiệt của hệ từ một cơ sở lý thuyết sâu sắc hơn đối với QCD. Một số tác giả đưa vào lý thuyết học tương đối tính dựa trên hệ phương trình Boltzmann hay phương trình Fokker-Planck đảo luận sự phụ thuộc nhiệt độ của mật độ năng lượng và các hệ số vận chuyển của chất QCD. Lý thuyết động học kiểu như vậy cung cấp một bước trung gian giữa những nguyên lý đầu tiên hiện tượng luận được gọi là lý thuyết bán hiện tượng luận. Cần phải đưa vào loại lý thuyết hiện tượng luận này vì rút ra trực tiếp các hệ số vận chuyển từ những nguyên lý đầu tiên định không chính xác. Một trong những lý thuyết bán hiện tượng luận gắn liền trực tiếp lý thuyết trường cơ bản xuất phát từ phương trình toán tử Langevin đối với quark-gluon na [19] với dạng cơ bản dưới đây:

$$i\dot{a}(\vec{k}, t) = \int_0^1 K(\vec{k}, t-t') a(\vec{k}, t') dt' + f(\vec{k}, t), \quad (1a)$$

$$-i\dot{a}(\vec{k}, t) = \int_0^1 K^*(\vec{k}, t-t') a^+(\vec{k}, t') dt' + f^+(\vec{k}, t), \quad (1b)$$

ở đây,  $a^+$  là các toán tử canonic biểu diễn "mode dao động" được kích thích bởi một va chạm nhân ở năng lượng rất cao trong hệ vật chất QCD local;  $K$  là hàm hạt nhân  $c$ -số của phương trình chứa đựng tất cả "thông tin vào" của hệ;  $f$  là toán tử hàm ngẫu nhiên.

Nghiên cứu tính chất của các đại lượng  $a$ ,  $f$ ,  $K$  và sử dụng định lý Nyquist diễn tả mối quan hệ giữa các hàm  $f$  và  $K$ , có thể dẫn ra các hệ phương trình bán hiện tượng luận trong khung thủy động học hay kinetic, từ đó xác định được các đại lượng vật lý vĩ mô như mật độ năng lượng, áp suất, entropy... và các hệ số truyền (transport) như độ dẫn nhiệt, độ nhớt lớp biên, ... Từ đây cũng có thể dẫn ra các mô hình đơn giản hóa để nghiên cứu các hiện tượng chuyển pha trong hệ. Điều quan trọng của lý thuyết vừa nêu là hàm hạt nhân  $K$  của hệ phương trình (1) phải được xác định từ QCD bằng cách tiếp cận không nhiễu loạn. Chính vì vậy mà lý thuyết này mang tính chất bán hiện tượng luận, nó là khâu trung gian nối các nguyên lý xuất phát với hiện tượng luận.

Để nghiên cứu các tính chất động, kể cả ở gần các điểm chuyển pha của hệ quark-gluon na, dưới đây chúng tôi sẽ sử dụng cách tiếp cận dựa trên phương pháp phương trình động học quen thuộc hơn với lý thuyết plasma thông thường, được V.P. Silin đề xuất [20]. Từ phương trình chuyển động của hệ quark loại  $\alpha$

$$i \frac{\partial}{\partial t} \psi_\alpha = \left( -i\gamma^0 \gamma^i \frac{\partial}{\partial r^i} + \gamma^0 m_\alpha + g\gamma^0 \gamma^\mu A_\mu \right) \psi_\alpha \quad (2)$$

để lập phương trình cho ma trận mật độ  $\rho_\alpha(\vec{k}, \vec{p})$  gồm thành phần biến đổi chậm (trung bình) và thành phần biến đổi nhanh theo thời gian. Sau khi đưa vào trường  $A_\mu$  được xác định từ trường gluon  $A_\mu^d$  theo công thức Gell-Mann

$$A_\mu = \sum_{d=1}^8 \frac{1}{2} \lambda^d A_\mu^d \lambda^d, \quad (3)$$

Sau một số tính toán cụ thể có thể nhận được phương trình động lượng tử tương đối tính hệ quark-gluon với dạng tổng quát dưới đây:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \rho_{\alpha}(k, \vec{p}) &= \frac{1}{8(2\pi)^3} \sum_{d=1}^8 \sum_{n=\pm 1} \int d\vec{p}' dq \delta(q - np'_{\alpha} + kp_{\alpha}) \frac{1}{2} K_{\alpha}^{\mu\nu}(n, k, \vec{p}', \vec{p}) \\ &\times \{ 8\pi\rho_{\alpha}(k, \vec{p}) [1 - \rho_{\alpha}(n, \vec{p}')] \text{Im} \Lambda_{\mu\nu}(\omega + i0, \vec{q}) + (A_{\mu}^d, A_{\nu}^d)_{\omega, q} \} \\ &\times [\rho_{\alpha}(n, \vec{p}') - \rho_{\alpha}(k, \vec{p})], \end{aligned}$$

ở đây  $\delta(q) = \delta(q)\delta(\omega)$ ;  $K_{\alpha}^{\mu\nu}$  và  $\Lambda_{\mu\nu}$  là các tenxơ liên quan đến chuyển động và tương tác của quark và trường gluon (có dạng cụ thể cho các gần đúng khác nhau).

Trong công trình tiếp theo phương trình (4) sẽ được sử dụng để nghiên cứu một số tính động của hệ quark-gluon plasma đẳng hướng trong gần đúng "gần tuyến tính" (quasilinear).

Công trình này được hoàn thành dưới sự hỗ trợ của Chương trình cấp Nhà nước "Nghiên cứu cơ bản trong khoa học tự nhiên" KT-04.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. D. Shuryak. Current status of quark-gluon plasma, International conference on physics and astrophysics of quark-gluon plasma. Bombay, India, 8-12 Dec. 1988.
2. J. C. Dasgupta. Physics of quark-gluon plasma. Winter School on quark-gluon plasma. Orissa, India, 5-16 Dec. 1989.
3. P. R. Subramanian. QGP in cosmology, Proceedings of the symposium on nuclear physics, 26-30 Dec. 1991. Bhabha atomic research centre. Bombay, India.
4. B. Banerjee. Quark-gluon plasma in the laboratory and in the early universe, Symposium on nuclear physics. Madras, India, 1-4 Dec. 1990.
5. C. Alcock. The astrophysics and cosmology of quark-gluon plasma. Winter school on quark-gluon plasma (QGP), Puri, Orissa, India, 5-16 Dec. 1989.
6. B. Pire. Signals from the quark-gluon plasma, Summer school on nuclear and high energy physics, Lyon, France, 12-16 Sep. 1988.
7. N. G. Antoniou. Theoretical problems in quark-gluon plasma physics. International conference on the spectroscopy of heavy nuclei held at Agia pelagia, Crete, Greece, 25-30 July.
8. C. P. Singh. Recent trends in quark-gluon plasma. Physics news (Mar - Jun 1992), 23 p. 3-10.
9. H. Satz. Quark deconfinement and high energy nuclear collisions. International conference on high energy physics, Berkeley, USA, 16-23 July 1986.
10. R. V. Gavai, Quark-gluon plasma: can we see it in relativistic heavy ion-collisions. Symposium on nuclear physics, Bombay, India, 23-27 Dec. 1987.
11. K. Kajantie et al. Probes of one quark-gluon plasma in high energy collisions. Annual review of nuclear and particle science, 37 (1987), 293-324.
12. V. P. Pavlenko, Experimental attempts to detect QGP. Symposium on nuclear physics, Bombay, India, 26-30 Dec. 1991.
13. G. Jamhari, P. R. Subramanian. Muon pairs and photon pairs as signals for the hadronic phase transition at finite baryon density. Physical Review D, 38 (9), p. 2808-2813.

- V. V. Gulovisnin et al. Magnetic bremsstrahlung as signal of the formation of quark-gluon plasma. Soviet journal of nuclear physics - English translation, Mar. 1988, **47** (30), p. 561 - 562
- M. Faessler et al. Heavy ion experiments at the CERN SPS. Proceedings of the 17 th international conference on multiparticle dynamics. Teaneck. NJ USA, 1987.
- B. Kaempfer et al. Quark-gluon plasma formation in relativistic heavy ion collisions within hydrodynamical description. Acta physica Slovaca - Czechoslovakia, **37** (30) (1987), 137 - 150.
- M. I. Gorenstein. Momentum distribution functions of a non perturbative quark gluon plasma and dilepton emission with small invariant mass. Phys. Letter, Section B , **228** (1) (1989), 121 - 124.
- R. C. Hua. enhanced multiplicity fluctuation as a possible signature of quark matter. International conference on ultrarelativistic nucleus-nucleus collisions, 24 - 28 Aug. 1987. Z. Phys, C, **38** (1-2) Apr. 1988.
- M. Misutani et al. Transport theory of the quark-gluon plasma based on an operator-field Langevin equation. Physical review D., **37** (10) (1988), 3033 - 3045.
- V. P. Silin, V. N. Ursov. On the kinetic theory of quark-gluon plasma. Dokl Acad. Nauka USSR, 1984, p. 549 (in Russian).

JOURNAL OF SCIENCE, Nat. Sci., t. XII, n° 1, 1996

---

SOME PROBLEMS ON QUARK-GLUON PLASMA  
AND SEMIPHENOMENOLOGICAL THEORETICAL APPROACHES

*Vo Hong Anh, Le Van Ngoc*  
*Institut of nuclear research technology,*  
*Institut of atomic energy of Vietnam*

The concept of quark-gluon plasma is examined with illustrative examples from high energy ion experiments and different semiphenomenological theoretical approaches are presented. relativistic quantum kinetic equations formalism is considered in the form suitable for further stigation of an isotropic quasilinear quark-gluon plasma system.