

ГЛАВА 5

ВВЕДЕНИЕ, ПОНЯТИЕ ДАВЛЕНИЯ

§ 1. Разные виды давления

Для анализа космологической проблемы и теории звезд необходимы сведения о всех видах взаимодействия частиц, из которых состоят рассматриваемые тела. Естественно, что при этом гравитационное взаимодействие должно быть выделено и рассматриваться отдельно. В главах 1—4 изложено современное состояние теории тяготения.

В данной главе будут рассмотрены короткодействующие силы между частицами и те следствия, к которым они приводят. Безотносительно к конкретной природе этих сил, общим их свойством является аддитивность энергии взаимодействия для макроскопической системы: если систему разделить на макроскопические части, то энергия взаимодействия этих частей между собой окажется пренебрежимо малой по сравнению с энергией каждой части. Поэтому для короткодействующих сил и только для них можно ввести понятия плотности энергии  $\epsilon$  или удельной энергии  $E_{уд} = \epsilon/n$ , где  $n$  — плотность тех частиц (барионов), к которым мы относим энергию. Индекс «уд» (удельная) мы везде далее в этом разделе опускаем. Точно так же можно говорить и об удельной энтропии  $S$  (на один барион).

Наконец, главным свойством близкодействия в макроскопической системе является возможность ввести давление  $P$ . Давление есть величина, позволяющая описать силу взаимодействия двух частей системы как интеграл по разделяющей их поверхности

$$F = \int P ds, \quad (5.1.1)$$

где  $P$  зависит только от состояния вещества на этой поверхности,  $P = P(n, S)$ , т. е. от плотности  $n$  и энтропии  $S$ . Основное термодинамическое соотношение имеет вид

$$dE = -P(n, S) d(n^{-1}) + T(n, S) dS, \quad (5.1.2)$$

где  $P$  — давление, а  $T$  — температура. Величина  $n^{-1}$  есть объем, приходящийся на один барион, т. е. удельный объем. Если обозначить его  $V$ , то уравнение (5.1.2) принимает знакомую форму  $dE = -PdV + TdS$ . Как следствие (5.1.2), имеем

$$P = n^2 \left( \frac{\partial E}{\partial n} \right)_S. \quad (5.1.3)$$

В нерелятивистском приближении плотность массы  $\rho$  г/см<sup>3</sup> совпадает с плотностью массы покоя барионов  $\rho_0 = nm_0$ . В этом приближении можно говорить об удельной энергии  $E_1$  на грамм вещества и писать так:

$$E_1 = E_1(\rho, S), \quad P = \rho^2 \left( \frac{\partial E_1}{\partial \rho} \right)_S. \quad (5.1.4)$$

Однако мы будем иметь дело и с такой ситуацией, когда  $P \sim \rho c^2$ ,  $\rho - nm_0 \sim \rho$ . Тогда уже нельзя считать плотность массы пропорциональной плотности частиц, нерелятивистская формула (5.1.4) теряет силу, и связь между  $E$ ,  $\rho$ ,  $n$  дается выражениями

$$\varepsilon = En, \quad \rho = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{En}{c^2} \quad (5.1.5)$$

вместе с (5.1.3).

В нерелятивистской теории энергия  $E$  определена с точностью до постоянного слагаемого, в релятивистской теории это не так.

При высоких температурах начинается образование нуклон-антинуклонных пар. В этой ситуации сохраняется разность  $N - \bar{N}$  (барионный заряд). К этой разности следует относить все термодинамические величины (энергию, энтропию, объем). Например, удельная энергия есть энергия на единицу барионного заряда. Только в этом смысле справедливы уравнения (5.1.2) — (5.1.5). Более полно это будет обсуждаться ниже. Можно также обобщить теорию на случай нескольких типов заряда (например, лептонного). Когда мы говорим только о барионном заряде, мы молчаливо подразумеваем, что все другие заряды равны нулю. Случай электрического заряда особый (см. далее). Разумеется, мы предполагаем, что рассматриваемая материя находится в равновесии (или вблизи равновесия). В равновесии состояние материи полностью определяется сохраняющимися величинами. Очевидно, без этого предположения можно получать различные значения  $P$  и  $E$  для данных  $S$  и  $n$ , задавая искусственные распределения скоростей частиц.

## § 2. Случай далекодействующих сил

Вернемся к основным принципам рассмотрения локальных и далекодействующих сил.

Мы останавливаемся подробнее, чем обычно, на этих общеизвестных определениях также и в связи с тем, что иногда вводят