ствие внеш. полей. М. р. обращает в нуль интеграл столкновения этого ур-ния, выражающего баланс между прямыми и обратными столкновениями. Во внеш. потенциальном поле имеет место распределение Максвелла — Больцмана (см. *Больцмана распределение*). М. р. — предельный случай *Бозе — Эйнштейна распределения* и *Ферми — Дирака распределения* в случае, когда можно пренебречь явлением квантового вырождения газа. М. р. подтверждено экспериментально О. Штерном (O. Stern) в 1920 в опытах с молекулярными пучками от источника, помещённого внутри вращающейся цилиндрич. поверхности, и позднее (1947) в опытах И. Эстермана (I. Estermann), О. Симпсона (O. Simpson) и Штерна по свободному падению молекул пучка под действием силы тяжести.

Лит.: Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Статистическая физика, ч. 1, 3 изд., М., 1976, § 22; Рамзей Н., Молекулярные пучки, пер. с англ., М., 1960; Сивухин Д. В., Общий курс физики, 2 изд., т. 2 — Термодинамика и молекулярная физика, М., 1979, § 72—74; Хир К., Статистическая механика, кинетическая теория и стохастические процессы, пер. с англ., М., 1976, гл. 1. *Д. Н. Зубарев.*

МАКСВЕЛЛА СООТНОШЕНИЯ — соотношения между производными термодинамич. ф-ций:

$$\left(\frac{\partial P}{\partial S}\right)_V=-\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_S,\quad \left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)_P=\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_S,$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V=\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T,\quad \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P=-\left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T,$$

где P — давление, T — абс. темп-ра, V — объём, S — *энтропия*. М. с. можно получить из *второго начала термодинамики*. Напр., из термодинамич. равенства $dU = TdS - PdV$, где U — внутр. энергия, следует первое М. с. как условие того, что dU есть полный дифференциал. Остальные М. с. следуют из того, что энтальпия H, энергия Гельмгольца F и энергия Гиббса G являются *характеристическими функциями* или *термодинамическими потенциалами* в переменных S, P; V, T; P, T. Иногда М. с. наз. соотношениями взаимности.

Лит.: Стенли Г., Фазовые переходы и критические явления, пер. с англ., М., 1973, гл. 2; Новиков И. И., Термодинамика, М., 1984, § 2, 8. *Д. Н. Зубарев.*

МАКСВЕЛЛА ТЕНЗОР НАТЯЖЕНИЙ — пространственная часть тензора энергии-импульса эл.-магн. поля:

$$\sigma_{\alpha\beta}=\frac{1}{4\pi}\left[E_\alpha E_\beta+H_\alpha H_\beta-\frac{1}{2}\delta_{\alpha\beta}(E^2+H^2)\right],\quad (1)$$

где E_α, E_β и H_α, H_β — компоненты электрич. $\boldsymbol{E}$ и магн. $\boldsymbol{H}$ полей в вакууме, $\delta_{\alpha\beta}$ — символ Кронекера, $\alpha, \beta = 1, 2, 3$. М. т. н. введён Дж. К. Максвеллом в 1861. Следуя М. Фарадею (M. Faraday), Максвелл считал причиной электрич. и магн. явлений упругие деформации гипотетич. среды — *эфира*. Характерной особенностью сил упругости является возможность сведения их к натяжениям (напряжениям), возникающим в деформиров. средах. Если f_α — компонент силы, действующий на единицу объёма упругой среды, то суммарный α-компонент силы, действующий на нек-рый объём V, сводится к интегралу сил натяжений по поверхности этого объёма:

$$\int f_\alpha\, dV=\oint\sigma_{\alpha\beta}ds_\beta,\quad (2)$$

где ds_β — компоненты элемента поверхности ds, направленного по внеш. нормали к поверхности. Т. о., $\sigma_{\alpha\beta}$ представляет собой α-й компонент силы, действующей на единицу поверхности, перпендикулярный β-й оси. Если известны поля $\boldsymbol{E}$ и $\boldsymbol{H}$ вне нек-рого тела, находящегося в вакууме, то М. т. н. позволяет найти силу, действующую на тело. Так, напр., учитывая, что у поверхности проводника напряжённость поля $\boldsymbol{E}$ имеет только нормальную составляющую, из (1) легко найти, что на единицу поверхности проводника действует сила «отрицательного» давления (давление направлено наружу от проводника) $E^2/8\pi$. Аналогично на единицу поверхности сверхпроводника, помещённого в магн. поле, действует сила «положительного» давления, равная $H^2/8\pi$. Различие в знаке силы связано с тем, что у поверхности сверхпроводника, выталкивающего магн. поле, напряжённость поля $\boldsymbol{H}$ имеет только тангенциальную составляющую. М. т. н. позволяет определять величину *давления света*. Напр., пусть плоская монохроматич. световая волна падает по нормали на поверхность диэлектрика и поглощается им. Т. к. вблизи поверхности диэлектрика поля $\boldsymbol{E}$ и $\boldsymbol{H}$ имеют только тангенциальные составляющие, то, согласно (1), давление световой волны на диэлектрик равно плотности энергии эл.-магнитного поля $(E^2+H^2)/8\pi$.

Выражение (2) справедливо только в том случае, если компоненты тензора натяжений связаны с плотностью объёмных сил дифференц. соотношением

$$\frac{\partial\sigma_{\alpha\beta}}{\partial x_\beta}=f_\alpha.\quad (3)$$

Используя *Максвелла уравнения*, из (3) получаем след. выражение для объёмной силы:

$$\boldsymbol{f}=\rho\boldsymbol{E}+\frac{1}{c}[\boldsymbol{jH}]+\frac{1}{4\pi c}\frac{\partial}{\partial t}[\boldsymbol{EH}],\quad (4)$$

где ρ — плотность электрич. заряда, $\boldsymbol{j}$ — плотность электрич. тока. Соотношение (4) связывает плотность объёмной силы со скоростью изменения механич. импульса (*Лоренца силой*) и со скоростью изменения импульса эл.-магн. поля.

В случае материальной среды Максвелл предполагал, что тензор натяжений имеет вид

$$\sigma_{\alpha\beta}=\frac{1}{4\pi}\left[E_\alpha D_\beta+H_\alpha B_\beta-\frac{1}{2}\delta_{\alpha\beta}(\boldsymbol{ED}+\boldsymbol{HB})\right],\quad (5)$$

где D_β, B_β — компоненты электрич. и магн. индукции. Тензор (5) в общем случае несимметричен. Система объёмных сил может быть заменена эквивалентной системой натяжений только тогда, когда тензор натяжений симметричен (в противном случае момент объёмных сил будет отличаться от момента сил натяжений).

В макроскопич. электродинамике существуют разл. конкурирующие выражения для тензора энергии-импульса эл.-магн. поля в среде. Основные из них: симметричный тензор Абрагама и несимметричный тензор Минковского, пространственной частью к-рого является выражение (5). Тензор натяжений, получающийся из (5) симметризацией по индексам α и β, был введён Г. Р. Герцем (H. R. Hertz) и представляет собой симметричную часть тензора энергии-импульса Абрагама в системе покоя материальной среды как целого. Существование различных допустимых выражений для тензора энергии-импульса и соответственно для тензора натяжений эл.-магн. поля в среде (в т. ч. и несимметричных) вызвано двумя обстоятельствами. Первое связано с тем, что два тензора натяжений $\sigma_{\alpha\beta}$ и $\sigma'_{\alpha\beta} = \sigma_{\alpha\beta}+\tau_{\alpha\beta}$ определяют одну и ту же наблюдаемую объёмную силу f_α, если $\partial\tau_{\alpha\beta}/\partial x_\beta = 0$, а т. к. система натяжений рассматривается как нек-рое вспомогат. построение, то тензоры $\sigma_{\alpha\beta}$ и $\sigma'_{\alpha\beta}$ эквивалентны. Второе обстоятельство заключается в том, что тензор натяжений эл.-магн. поля в среде представляет собой только часть полного тензора натяжений $\overset{\text{полн}}{\sigma_{\alpha\beta}} = \overset{\text{поля}}{\sigma_{\alpha\beta}} + \overset{\text{вещества}}{\sigma_{\alpha\beta}}$. Разделение полного тензора натяжений на «полевую» и «вещественную» части может осуществляться разл. способами, каждый из к-рых обладает своими преимуществами.

В случае изотропной среды с диэлектрич. проницаемостью ε и магн. проницаемостью μ М. т. н. (5) симметричен и имеет вид