прибегают к статистич. методам, к-рые позволяют на основе определённых модельных представлений о строении вещества установить связь между ср. значениями напряжённостей электрич. и магн. полей и усреднёнными значениями плотностей зарядов и токов.

Усреднение микроскопич. величин производится по пространств. и временным интервалам, большим по сравнению с микроскопич. интервалами (порядка размера атомов и времени обращения электронов вокруг ядра), но малым по сравнению с интервалами, на к-рых макроскопич. характеристики эл.-магн. поля заметно меняются (напр., по сравнению с длиной эл.-магн. волны и её периодом). Подобные интервалы наз. физически бесконечно малыми.

Усреднение Л.—М. у. приводит к ур-ниям Максвелла. При этом оказывается, что ср. значение напряжённости электрич. микроскопич. поля $\boldsymbol{e}$ совпадает с напряжённостью электрич. поля $\boldsymbol{E}$ макроскопич. электродинамики: $\langle \boldsymbol{e}\rangle = \boldsymbol{E}$, а ср. значение напряжённости микроскопич. магн. поля $\boldsymbol{h}$ совпадает с вектором магн. индукции $\boldsymbol{B}$ макроскопич. электродинамики: $\langle \boldsymbol{h}\rangle = \boldsymbol{B}$.

В теории Лоренца все заряды разделяются на свободные и связанные (входящие в состав электрически нейтральных атомов и молекул). Можно показать, что макроскопич. плотность связанных зарядов $\rho_{\text{связ}}$ определяется вектором электрич. поляризации $\boldsymbol{P}$ (электрич. дипольным моментом единицы объёма среды):

$$\rho_{\text{связ}} = -\nabla \boldsymbol{P}, \tag{2}$$

а макроскопич. плотность тока связанных зарядов, кроме поляризации $\boldsymbol{P}$, зависит также от намагниченности $\boldsymbol{M}$ (магн. момента единицы объёма среды):

$$\boldsymbol{j}_{\text{связ}} = \frac{\partial \boldsymbol{P}}{\partial t} + c\,[\nabla \boldsymbol{M}]. \tag{3}$$

Векторы $\boldsymbol{P}$ и $\boldsymbol{M}$ являются макроскопич. характеристиками эл.-магн. состояния среды. Вводя два вспомогат. вектора — вектор электрич. индукции

$$\boldsymbol{D} = \boldsymbol{E} + 4\pi \boldsymbol{P} \tag{4}$$

и вектор напряжённости магн. поля

$$\boldsymbol{H} = \boldsymbol{B} - 4\pi \boldsymbol{M}, \tag{5}$$

получают макроскопич. ур-ния Максвелла для эл.-магн. поля в веществе в обычной форме, с плотностью свободных зарядов и связанной с ними плотностью электрич. тока в качестве источников.

Для построения самосогласованной электронной теории Л.—М. у. (1) должны быть дополнены выражением для силы, действующей на заряж. частицы в эл.-магн. поле. Объёмная плотность этой силы (*Лоренца силы*) равна

$$\boldsymbol{f} = \rho\left(\boldsymbol{e} + \frac{1}{c}[\boldsymbol{v}\boldsymbol{h}]\right). \tag{6}$$

Сумма усреднённых значений Лоренца сил, действующих на составляющие тело заряж. частицы, определяет макроскопич. силу, действующую на тело в эл.-магн. поле.

Ур-ния (1) и (6) позволяют объединить ур-ния электродинамики и механики. Напр., в простейшем случае одной частицы, движущейся с нерелятивистской скоростью, ур-ния (1) следует дополнить ур-нием движения:

$$m\ddot{\boldsymbol{r}}_s(t) = \int \rho\left(\boldsymbol{e} + \frac{1}{c}[\boldsymbol{v}\boldsymbol{h}]\right) d\boldsymbol{r}, \tag{7}$$

где $\boldsymbol{r}_s$ — радиус-вектор центра тяжести заряж. частицы с массой m и зарядом $q = \int \rho\, d\boldsymbol{r}$. Эта система ур-ний ещё не является замкнутой, т. к. остаётся открытым вопрос о модели частицы, к-рая необходима для установления зависимости между скоростью $\boldsymbol{v}_s$ центра тяжести частицы и полем скоростей $\delta \boldsymbol{v}$ внутри частицы относительно её центра тяжести: $\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_s + \delta \boldsymbol{v}$. Вектор $\delta \boldsymbol{v}(r, t)$ не определён и требует дополнит. сведений о структуре частицы. Для модели частицы в виде твёрдого, равномерно заряженного шарика радиуса a действующую силу можно представить в виде ряда

$$\int \rho\left(\boldsymbol{e} + \frac{1}{c}[\boldsymbol{v}\boldsymbol{h}]\right) d\boldsymbol{r} = \left(-\frac{4}{3}\cdot\frac{3e^2}{5ac^2}\right)\ddot{\boldsymbol{r}}_s + \left(\frac{2}{3}\frac{e^2}{c^3}\right)\dddot{\boldsymbol{r}}_s + \ldots \tag{8}$$

Первый член этого ряда имеет форму произведения ускорения на постоянный коэф., к-рый может быть истолкован как дополнит. масса частицы, обусловленная её зарядом, т. е. как эл.-магн. поправка $m_{\text{эл}}$ к массе частицы:

$$m_{\text{эл}} = \frac{4}{3}\cdot\frac{3}{5}\frac{e^2}{ac^2} = \frac{4}{3}\frac{u}{c^2},$$

где $u = 3e^2/5a$ — эл.-статич. энергия равномерно заряженного по объёму шарика радиуса a. Второй член ряда (8) является не зависящей от модели частицы силой радиац. трения.

Существуют два важных результата, вытекающих из Л.—М. у. и не требующих конкретизации модели заряж. частиц.

Закон сохранения *энергии электромагнитного поля*:

$$\boldsymbol{f}\boldsymbol{v} = -\frac{\partial w}{\partial t} - \nabla \boldsymbol{S}, \tag{9}$$

где $w = (\boldsymbol{e}^2 + \boldsymbol{h}^2)/8\pi$ — плотность энергии эл.-магн. поля, $\boldsymbol{S} = (c/4\pi)[\boldsymbol{e}\boldsymbol{h}]$ — *Пойнтинга вектор*.

Закон сохранения *импульса электромагнитного поля*:

$$\boldsymbol{f} = \nabla T - \frac{\partial}{\partial t}\frac{\boldsymbol{S}}{c^2}, \tag{10}$$

где T — *Максвелла тензор натяжений*,

$$T_{ik} = \frac{1}{4\pi}\left(e_i e_k + h_i h_k - \delta_{ik}(e^2 + h^2)/2\right).$$

В модели точечных заряж. частиц, подобных материальным точкам классич. механики, Л.—М. у. вместе с ур-нием движения зарядов приобретают вид

$$\begin{gathered}
[\nabla \boldsymbol{h}] - \frac{1}{c}\frac{\partial \boldsymbol{e}}{\partial t} = \frac{4\pi}{c}\sum_i q_i \boldsymbol{v}_i(t)\,\delta(\boldsymbol{r} - \boldsymbol{r}_i(t)),\\
\nabla \boldsymbol{e} = 4\pi \sum_i q_i \delta(\boldsymbol{r} - \boldsymbol{r}_i(t)),\\
[\nabla \boldsymbol{e}] + \frac{1}{c}\frac{\partial \boldsymbol{h}}{\partial t} = 0, \quad \nabla \boldsymbol{h} = 0,\\
m_i \ddot{\boldsymbol{r}}_i = \int \sum_j q_j \delta(\boldsymbol{r} - \boldsymbol{r}_j(t))\left(\boldsymbol{e} + \frac{1}{c}[\boldsymbol{v}_j \boldsymbol{h}]\right) d\boldsymbol{r},
\end{gathered} \tag{11}$$

где $\delta(\boldsymbol{r})$ — дельта-функция Дирака, $\boldsymbol{r}_i(t)$ и $\boldsymbol{v}_i(t) = d\boldsymbol{r}_i/dt$ — координата и скорость i-й заряж. точки. Эта система ур-ний, однако, не вполне корректна, т. к. в правой части ур-ния движения частиц содержится величина, к-рая в точке нахождения заряж. частицы фактически принимает бесконечное значение. Это не удивительно, поскольку эл.-статич. энергия точечного заряда бесконечна. Поэтому в последнем из ур-ний (11) приходится исключать действие поля данной частицы на саму частицу (т. е. суммировать только по $j \neq i$). Член с $j = i$ можно перенести в левую часть и считать, что соответствующая ему бесконечная эл.-магн. масса вместе с «механич.» массой дают наблюдаемую полную конечную массу частицы (эта идея в квантовой теории поля принимает форму т. н. *перенормировки*).

Подобно системе ур-ний Максвелла, Л.—М. у. допускают релятивистски ковариантную запись, если ввести соответствующие тензоры эл.-магн. микрополя и 4-вектор микроплотности тока.

В *квантовой электродинамике* Л.—М. у.— основа для квантового обобщения эл.-магн. процессов. Здесь $\boldsymbol{e}$ и $\boldsymbol{h}$ становятся операторами, а ρ и $\rho\boldsymbol{v}$ выражаются через операторы полей частиц, взаимодействующих с эл.-магн. полем (напр., электронов). Получаемые при этом