

Лит.: Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Гидродинамика, 4 изд., М., 1988.

И. П. Голямина.

ИМПУЛЬС СИЛЫ — величина, характеризующая действие, которое оказывает на тело сила F за некоторый промежуток времени t_1 ; равна произведению ср. значения этой силы на время её действия: $S = F_{ср} \cdot t_1$. И. с. — величина векторная и направлена так же, как $F_{ср}$.

Более точно И. с. определяется интегралом $S = \int_0^{t_1} F dt$.

При движении материальной точки под действием силы её количество движения получает за время t_1 приращение, равное И. с. Т. о., $mv_1 = mv_0 + S$, где mv_0 и mv_1 — соответственно кол-ва движения точки в начале и в конце промежутка времени t_1 .

Понятием И. с. широко пользуются в механике, в частности в теории удара, где величина, равная импульсу ударной силы $F_{уд}$ за время удара τ , наз. уд а р н ы м

и м п у л ь с о м $S_{уд} = \int_0^{\tau} F_{уд} dt$.

ИМПУЛЬС ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ — динамич. характеристика поля, аналогичная импульсу в механике.

Формально из ур-ний Максвелла в вакууме, связывающих векторы эл.-магн. поля $E = D$ и $H = B$ (используется гауссова система единиц) с плотностями электрич. зарядов ρ и токов j , следует соотношение:

$$\frac{\partial g_{\alpha}}{\partial t} - \frac{\partial T_{\alpha\beta}}{\partial x_{\beta}} = -f_{\alpha}, \quad (1)$$

где индексы $\alpha, \beta = 1, 2, 3$ обозначают декартовы компоненты; по индексу β производится суммирование; вектор g с точностью до размерного коэф. совпадает с *Пойнтинга вектором* S :

$$g = \frac{1}{c^2} S = \frac{1}{4\pi c} [EH]; \quad (2)$$

тензор $T_{\alpha\beta}$ наз. *Максвелла тензором натяжений*:

$$T_{\alpha\beta} = \frac{1}{4\pi} \left[E_{\alpha} E_{\beta} + H_{\alpha} H_{\beta} - \frac{1}{2} \delta_{\alpha\beta} (E^2 + H^2) \right] \quad (3)$$

($\delta_{\alpha\beta}$ — символ Кронекера); вектор f есть плотность силы Лоренца, действующей на объёмные электрич. заряды и токи со стороны эл.-магн. поля:

$$f = \rho E + \frac{1}{c} [jH]. \quad (4)$$

Ур-ние (1), являющееся интегралом ур-ний Максвелла, по аналогии с соответствующим соотношением в механике сплошных сред интерпретируется как закон изменения И. э. п., в к-ром вектор g , определяемый соотношением (2), — вектор плотности И. э. п. При этом тензор $T_{\alpha\beta}$ с обратным знаком представляет собой тензор плотности потока И. э. п., а сила Лоренца с обратным знаком является силой, действующей со стороны электрич. зарядов и токов на эл.-магн. поле.

Интегрирование ур-ния (1) по произвольному объёму V даёт:

$$\frac{\partial G_{\alpha}}{\partial t} - \oint_s T_{\alpha\beta} ds_{\beta} = -F_{\alpha}, \quad (1a)$$

где $G = \int_V g dV$ — И. э. п. в объёме V , $\oint_s T_{\alpha\beta} ds_{\beta}$ — поток

α -составляющей И. э. п., втекающий внутрь объёма V через ограничивающую его поверхность s (положительной считается наружная нормаль к поверхности), $F = \int_V f dV$ — сила Лоренца, действующая на электрич.

заряды и токи, находящиеся внутри объёма V . Наличие силы Лоренца в законе изменения И. э. п. (1), (1a) означает, что И. э. п. может передаваться материаль-

ным телам, изменяя их механич. импульс. Такой обмен импульсом может происходить, напр., в результате поглощения, излучения или рефракции эл.-магн. волны, что впервые было экспериментально подтверждено в опытах по измерению давления света (П. Н. Лебедев, 1899).

С квантовой точки зрения эл.-магн. поле представляет собой ансамбль фотонов, каждый из к-рых обладает энергией $\hbar\omega$ и импульсом $\hbar k$, где ω — частота излучения, k — волновой вектор. Обмен импульсом между полем и частицей происходит при поглощении, излучении и рассеянии фотонов заряж. частицами, напр. в *Комптона эффекте*.

В средах, характеризующихся наличием связанных электрич. зарядов и обусловленных их движением электрич. токов, существуют два определения И. э. п. Одно из них принадлежит М. Абрагаму (M. Abraham) и совпадает с определением И. э. п. в вакууме (2). При этом для сред с линейными материальными соотношениями ($D = \epsilon E$, $B = \mu H$, ϵ, μ — диэлектрич. и магн. проницаемости среды) можно записать закон изменения И. э. п. типа (1), (1a), в к-ром модифицируется выражение для максвелловского тензора натяжений, а в правой части к плотности силы Лоренца, действующей на свободные электрич. заряды и токи, добавляется член:

$$f_A = \frac{\epsilon\mu - 1}{4\pi} \frac{\partial}{\partial t} [EH]. \quad (5)$$

Величина f_A представляет собой плотность т. п. силы Абрагама, действующей на среду в перем. эл.-магн. поле.

Структура выражения (5) такова, что плотность силы Абрагама f_A может быть включена в плотность И. э. п. При этом для плотности И. э. п. в среде получается выражение в форме Минковского (H. Minkowski):

$$g_M = \frac{1}{4\pi\epsilon} [DB], \quad (6)$$

для к-рого также справедлив закон изменения И. э. п. типа (1), с модифицированным применительно к среде тензором натяжений. Формально выражение (6) для И. э. п. в форме Минковского больше соответствует духу макроскопич. электродинамики, в к-рой эл.-магн. поле характеризуется четырьмя векторами E, D, H, B ; однако вывод закона изменения И. э. п. из ур-ний макроскопич. электродинамики также требует привлечения модели среды или материальных ур-ний в среде. Использование выражений для И. э. п. в форме Абрагама или Минковского не вызывает принципиальных противоречий, поскольку в вакууме они совпадают, а в среде с учётом разл. выражений для силы, действующей на среду в эл.-магн. поле, оба выражения удовлетворяют закону сохранения суммарного импульса среды и эл.-магн. поля.

В движущихся средах, а также в любых др. средах с пространственной дисперсией И. э. п. следует отличать от импульса эл.-магн. волны, к-рый складывается из И. э. п. и импульса, обусловленного переносом энергии волновых возмущений частицами среды (пропорциональному вектору Умова).

В статич. эл.-магн. полях, сосредоточенных в огранич. объёме, суммарный И. э. п. всегда равен нулю, хотя поле вектора g , характеризующее распределение плотности И. э. п. в пространстве, может быть отличным от нуля. Если при этом момент И. э. п. $K = \int_V [rg] dV$

отличен от нуля, его наличие может быть экспериментально обнаружено: при включении или выключении статич. полей система тел, поддерживающих эти поля, испытывает соответствующий момент импульса отдачи.

Лит.: Тамм И. Е., Основы теории электричества, 9 изд., М., 1976; Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Теория поля, 7 изд., М., 1988; их же, Электродинамика сплошных сред, 2 изд., М., 1982; Страттон Д. А., Теория электромагнетизма, пер. с англ., М.—Л., 1948; Гинзбург В. Л., Теоретическая физика и астрофизика, 3 изд., М., 1987.

Е. В. Суворов, А. М. Фейгин.