

где p — импульс тела, F — сила, a — ускорение. М. входит также в ф-лу кинетич. энергии тела T :

$$T = \frac{p^2}{2m} = \frac{mv^2}{2}. \quad (5)$$

В ньютоновой теории гравитации М. служит источником силы всемирного тяготения, притягивающей все тела друг к другу. Сила F_g , с к-рой тело с массой m_1 притягивает тело с массой m_2 , определяется законом тяготения Ньютона:

$$F_g = - \frac{Gm_1m_2r}{r^3}, \quad (6)$$

где $G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2} = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$ — гравитационная постоянная, а r — радиус-вектор, направленный от первого тела ко второму. Из ф-л (4) и (6) следует, что ускорение тела, свободно падающего в гравитац. поле, не зависит ни от его М., ни от свойств вещества, из к-рого тело состоит. Эту закономерность, проверенную на опыте в поле Земли с точностью порядка 10^{-8} и в поле Солнца с точностью порядка 10^{-12} , обычно наз. равенством инертной и гравитац. (тяготеющей, тяжёлой) М., хотя следует подчеркнуть, что речь идёт не о равенстве двух разных М., а об одной и той же физ. величине — М., определяющей разл. явления.

В спец. теории относительности энергия, импульс, скорость и М. связаны между собой соотношениями, отличающимися от соотношений нерелятивистской механики, но переходящими в последние при $v/c \ll 1$. Важную роль в релятивистской механике играет понятие полной энергии \mathcal{E} , равной для свободного тела сумме его энергии покоя и кинетич. энергии, $\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 + T$. По существу всю механику релятивистской свободной частицы описывают два ур-ния:

$$\mathcal{E}^2 - p^2c^2 = m^2c^4, \quad (7)$$

$$p = v\mathcal{E}/c^2. \quad (8)$$

Отметим, что величина m , входящая в правую часть ур-ния (7), — это та же М., к-рая входит в ур-ния ньютоновой механики. В отличие от энергии и импульса, меняющихся при переходе от одной системы отсчёта к другой, М. остаётся при этом неизменной: она является лоренцевым инвариантом.

Соотношение (3) справедливо и в теории относительности при произвольных значениях v/c , но соотношения (2) и (4) уже не имеют места. В частности, направление и величина ускорения тела определяются не только силой, но и скоростью, так что при не малых значениях v/c ввести одну величину, к-рая служила бы мерой инертности тела, в этом случае нельзя.

Не является в релятивистском случае М. и источником гравитац. поля, им является тензор энергии-импульса, имеющий в общем случае 10 компонент.

Из ур-ний (7) и (8) следует, что если тело имеет нулевую М., то оно движется всегда со скоростью света и не может находиться в покое, и наоборот, если тело движется со скоростью света, его М. должна равняться нулю. В пределе $v/c \rightarrow 0$ из этих ур-ний следует, что $\mathcal{E} \rightarrow \mathcal{E}_0 = mc^2$, $p \rightarrow mv$, $T \rightarrow p^2/2m$, т. е. воспроизводятся соотношения Эйнштейна (1) и нерелятивистские выражения (2) и (5) для импульса и кинетич. энергии.

При произвольных значениях v/c из ур-ний (7) и (8) для тела с $m \neq 0$ можно получить

$$\mathcal{E} = mc^2\gamma, \quad p = m\gamma v, \quad (9)$$

где $\gamma = 1/\sqrt{1-v^2/c^2}$ — т. н. лоренц-фактор.

В спец. теории относительности имеют место законы сохранения энергии и импульса. В частности, энергия \mathcal{E} (импульс p) системы n свободных частиц равна сумме их энергий (импульсов)

$$\mathcal{E} = \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i, \quad p = \sum_{i=1}^n p_i. \quad (10)$$

Отсюда и из ф-лы (7) следует, что М. системы не равна сумме М. составляющих её частей. Так, легко проверить, что в простейшем случае двух фотонов с энергией \mathcal{E} у каждого их суммарная М. равна нулю, если они летят в одну сторону, и $2\mathcal{E}/c^2$, если они летят в противоположные стороны. Этот пример иллюстрирует также и то обстоятельство, что в теории относительности М. системы тел уже не является мерой кол-ва вещества.

Единицей М. в системе СГС служит грамм, в СИ — килограмм. М. атомов и молекул обычно измеряется в атомных единицах массы. М. элементарных частиц принято измерять в МэВ/ c^2 (или, пользуясь системой единиц, в к-рой $c = 1$, — в МэВ). Напр., М. электрона $m_e = 0,511 \text{ МэВ}/c^2$, М. протона $m_p = 938,3 \text{ МэВ}/c^2$, М. самой тяжёлой из открытых элементарных частиц — Z-бозона — $m_Z \approx 91 \text{ МэВ}/c^2$.

Известны многочисл. примеры взаимопревращения энергии покоя в кинетич. энергию и наоборот. Так, на встречных электрон-позитронных пучках при столкновении e^+ и e^- с энергиями $\mathcal{E}_{e^+} = \mathcal{E}_{e^-} = m_e c^2/2$ и противоположно направленными импульсами рождается покоящийся Z-бозон. При аннигиляции покоящихся электрона и позитрона вся их энергия покоя превращается в кинетич. энергию фотонов. В результате термоядерных реакций на Солнце происходит превращение двух электронов и четырёх протонов в ядро гелия и два нейтрино и выделяется кинетич. энергия

$$T = (2m_e + 4m_p - m_{\text{He}} - 2m_\nu)c^2 = 29,3 \text{ МэВ}.$$

В этом случае в кинетич. энергию переходит примерно 1% суммы М. частиц, вступающих в реакцию. При делении ядра урана $T \approx 200 \text{ МэВ}$, что составляет $\sim 10^{-8}$ М. При горении метана $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ выделяется энергия $\sim 10^{10}$ М. В процессе фотосинтеза М. возрастает примерно на такую же величину за счёт поглощения растением кинетич. энергии фотонов.

Если частицы не свободны, как, напр., электроны в металле или кварки в нуклоне, они имеют эффективную массу. Эфф. М. кварка зависит от расстояния, на к-ром она измеряется: чем меньше расстояние, тем меньше М. кварка. Существует принципиальное различие между М. кварка и М. электрона, т. к. кварк, в отличие от электрона, не может находиться в свободном состоянии.

Природа М. элементарных частиц является одним из гл. вопросов физики. На рубеже 19 и 20 вв. предполагали, что М. может иметь эл.-магн. происхождение. В наст. время известно, что эл.-магн. взаимодействие ответственно лишь за малую долю М. электрона. Известно также, что осн. вклад в М. нуклона даёт сильное взаимодействие, обусловленное глюонами, а не М. входящих в нуклоны кварков. Но не известно, чем обусловлены М. лептонов и кварков. Существует гипотеза, что здесь осн. роль играют фундамент. бозоны с нулевым спином — т. н. хиггсовы бозоны (см. Хиггса механизм). Поиски этих частиц — одна из осн. задач физики высоких энергий.

В учебной, научно-популярной и энциклопедической литературе (в частности, в статьях данной энциклопедии, посвящённых релятивистским ускорителям заряд. частиц) ещё широко распространена архаичная терминология, возникшая в нач. 20 в. в процессе создания теории относительности. Исходным пунктом её является использование ф-лы $p = mv$ в области не малых значений v/c , где справедлива ф-ла (8). В результате возникли утверждения, что $m = \mathcal{E}/c^2$, М. тела растёт с увеличением его скорости (энергии), фотон обладает М. и имеется полная эквивалентность между М. и энергией:

$$\mathcal{E} = mc^2. \quad (11)$$

Вопреки тому, что писал А. Эйнштейн в статье [1] и книге [2], часто именно эту ф-лу, а не ф-лу (1) называют ф-лой Эйнштейна. Так, определённую М., как