



Релативистичка динамика

У класичној механици импулс се дефинише као производ масе и брзине тијела:

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

при чему треба обратити пажњу да је маса у класичној механици мјера инертности тијела и као таква не зависи од брзине тијела.

Дакле, у класичној физици импулс је линеарна функција брзине без икаквих ограничења. Међутим, у специјалној теорији релативности доказано је да је интензитет импулса:

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

гдје је m_0 маса тијела у стањумиравања (једанакa у свим инерцијалним системима), а v је брзина честице.

Из формуле је јасно да:

- она се своди на формулу из класичне механике када је $v \ll c$;
- формула има исти облик у свим инерцијалним системима.

Такође, јасно је да за разлику од класичне механике импулс није линеарна функција брзине. То је због тога што је и маса функција брзине:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

па формулу за релативистички импулс можемо написати и овако:

$$p = m(v)v$$



што је аналогно формули за импулс у класичној механици.

Ако је брзина тијела блиска брзини свјетлости у вакууму, тада $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \rightarrow 0$, а маса $m \rightarrow \infty$. Дакле, тијело које би достигло брзину свјетлости имало би бесконачно велику масу.

Ово не треба схватати буквално. У физици маса се односи на инертност тијела, а не односи се на количину супстанције од које је тијело изграђено!

Релативистичка промјена масе долази до изражаја само при великим брзинама, па се о њој води рачуна, на примјер, при изради акцелератора честица.

Релативистички импулс се може користити за формулисање **основног закона релативистичке динамике**:

$$\vec{F} = \frac{\vec{\Delta p}}{\Delta t}$$

У релативистичкој физици је други Њутнов закон измјењен, док су први и трећи Њутнов закон неизмјењени у односу на класичну механику.

Ајнштајн је установио и формулу за **укупну енергију тијела** у релативистичкој физици:

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Да бисмо честицу убрзали до брзине свјетлости, потребно је уложити бесконачно велику енергију. Ова формула је јако битна и говори о вези **еквивалентности енергије и масе**. Ако се мијења енергија тијела, мијења се и његова маса!

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$$



Међутим, пошто је вриједност c^2 јако велика, промјена енергије мора бити огромна да бисмо уопште и запазили промјену масе тијела. Такве промјене енергије се дешавају при трансформацијама атомских језгара и елементарних честица. Али, можемо тврдити да загријани чај има већу масу од хладног чаја. Међутим та разлика је тако мала (због мале разлике енергија) да је не бисмо могли измјерити ни најтачнијим инструментом.

Из формуле за укупну релативистичку енергију јасно је да тијело посједује енергију када се не креће. Та енергија се назива **енергија мировања**:

$$E_0 = m_0 c^2$$

Из формуле је очито да енергија мировања, као и маса мировања, не зависе од брзине. Исте су у свим референтним системима и као такве представљају карактеристику тијела.

Маса мировања је мјера енергије заробљене у тијелу!

У релативистичкој физици укупна енергија тијела које је у стању кретања, једнака је збиру енергије мировања и кинетичке енергије (енергије кретања):

$$E = E_0 + T$$

Одавде можемо доћи до израза за **кинетичку енергију**:

$$T = E - E_0 = mc^2 - m_0 c^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 c^2$$

$$T = \left[\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right] m_0 c^2$$

Формула за релативистичку кинетичку енергију битно се разликује од формуле за кинетичку енергију у класичној механици $E_k = \frac{1}{2} m v^2$. Међутим, разлика класичног и релативистичког израза за енергију испољава се тек на великим брзинама.

Изведимо сада везу између енергије и импулса. Кренимо од израза за енергију:

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$E^2 = \frac{m_0^2 c^4}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{m_0^2 c^2 c^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{m_0^2 c^2 (c^2 + v^2 - v^2)}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{m_0^2 c^2 v^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}} + \frac{m_0^2 c^2 (c^2 - v^2)}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$E^2 = \frac{m_0^2 c^2 v^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}} + \frac{m_0^2 c^4 (1 - \frac{v^2}{c^2})}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = p^2 c^2 + m_0^2 c^4$$

$$E^2 = p^2 c^2 + E_0^2$$

Можемо извести и везу између импулса и кинетичке енергије. Кренимо од формуле за укупну релативистичку енергију:

$$E = E_0 + T$$

а ако искористимо претходну везу између енергије и импулса, добићемо:

$$(E_0 + T)^2 - E_0^2 = p^2 c^2$$

$$E_0^2 + 2E_0 T + T^2 - E_0^2 = p^2 c^2$$

$$2E_0 T + T^2 = p^2 c^2$$

$$p = \frac{1}{c} \sqrt{T(2E_0 + T)}$$



- Закони одржања у СТР

Пошто се закони одржања енергије и импулса у класичној механици изводе помоћу Њутнових закона, можемо очекивати да ћемо те законе на сличан начин извести и у релативистичкој физици. Ако кренемо од другог Њутновог закона:

$$\vec{F} = \frac{\vec{\Delta p}}{\Delta t}$$

јасно је да је $\vec{\Delta p} = 0$, тј. $\vec{p} = const$ ако на тијела не дјелују никакве силе.

Закон одржања импулса гласи:

Укупан импулс изолованог система је константан!

Ако кренемо од израза за укупну енергију у релативистичкој физици:

$$E^2 = p^2 c^2 + E_0^2$$

јасно је да се енергија тијела не мијења ако се не мијења њихов укупни импулс (ако не постоји дејство спољашње силе).

Закон одржања енергије гласи:

Укупна енергија изолованог система је константна!