

قانون دوم به زبان اندازه حرکت

نیوتن در کتاب معروفش به نام اصول، قانون دوم حرکت را برحسب تکانه (که او آن را «مقدار

حرکت» یا «اندازه حرکت» نامید)، بیان کرده است. به زبان امروزی، قانون دوم نیوتن را می‌توان چنین

بیان کرد: آهنگ تغییر تکانه یک جسم متناسب با نیروی برآیند وارد بر آن جسم است و در جهت نیرو

قرار دارد. این گفته از نظر نمادی به صورت زیر نوشته می‌شود

$$F = \frac{dp}{dt} \quad (1)$$

اگر دستگاه شامل یک تک ذره با جرم (ثابت) m باشد این فرمولبندی قانون دوم نیوتن با

فرمول $F = ma$ ، که تا به حال از آن استفاده کردیم، هم‌ارز است. یعنی اگر مقدار m ثابت باشد، می‌توان

نوشت

$$F = \frac{dp}{dt} = \frac{d}{dt}(mv) = m \frac{dv}{dt} = ma$$

در مکانیک کلاسیک روابط $F = dp/dt$ ، $F = ma$ برای ذرات منفرد کاملاً هم‌ارزند.

در نظریه نسبیت قانون دوم نیوتن در مورد یک تک ذره به صورت $F = ma$ معتبر نیست. اما

می‌توان نشان داد که قانون دوم به صورت $F = dp/dt$ نیز یک قانون معتبر است اگر تکانه p یک تک

ذره به جای $m_0 v$ به صورت زیر تعریف شود

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (2)$$

از این نتیجه تعریف جدیدی برای جرم بدست می‌آید.

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

بنابراین تکانه را می‌توان همچنان به صورت $p = mv$ نوشت. در این معادله v سرعت ذره، c

سرعت نور و m_0 «جرم سکون» یا جرم به ازای $v = 0$ جسم است. از این تعریف نتیجه می‌شود که جرم

ذره با افزایش سرعت آن افزایش پیدا می‌کند. ذرات بنیادی مانند الکترون، پروتون و نپتر آنها می‌توانند

سرعت‌های بسیار زیادی که قابل مقایسه با سرعت نورند بدست آورند. در چنین مواردی است که می‌توان

این موضوع را مستقیماً آزمود، زیرا افزایش جرم این ذرات نسبت به جرم سکون آنقدر زیاد است که

می‌توان بطور دقیق آن را اندازه‌گیری کرد. نتایج تمام این آزمایشها حاکی از آن است که این پدیده

واقعی است و دقیقاً توسط معادله بالا توصیف می‌شود.

برای سیستمهایی با جرم متغیر دیگر رابطه $F = ma$ کارایی ندارد، قبلاً برای تانکر آب در حال

حرکتی که از آن آب بیرون می‌ریزد نمی‌توان نیرو را به این شکل نوشت یا برای بررسی دینامیک حرکت

یک موشک فضاپیما که مدام سوخت مصرف می‌کند و جرم آن کاهش می‌یابد.

این گونه مسائل جداگانه بررسی شده‌اند.

