

## مفهوم ضربه

هدف ما از مطالعه برخورد در این فصل این است که ببینیم در صورت معلوم بودن حرکت‌های اولیه ذرات برخورد کننده، با استفاده از اصول پایستگی تکانه و انرژی و با فرض اینکه چیزی در مورد نیروهای مؤثر در حین برخورد نمی‌دانیم، چه اطلاعاتی می‌توانیم درباره حرکت نهایی آنها کسب کنیم؟

## ضربه و تکانه

فرض می‌کنیم که شکل زیر بزرگی نیروی وارد بر یک جسم در برخورد را نشان می‌دهد. فرض می‌کنیم که جهت این نیرو ثابت است. برخورد در لحظه  $t_i$  شروع می‌شود و در لحظه  $t_f$  پایان می‌یابد و نیرو قبل و بعد از برخورد صفر است. با استفاده از معادله  $F = \frac{dp}{dt}$  می‌توانیم تغییر تکانه،  $dp$ ، یک جسم در زمان  $dt$  در اثر نیروی  $F$  را به صورت زیر بنویسیم

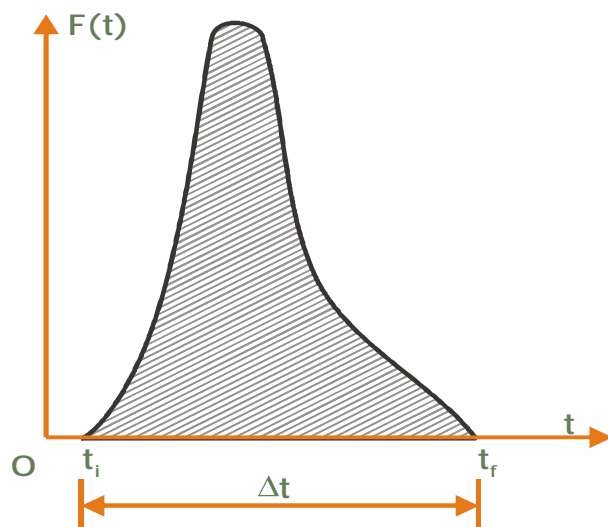
$$dp = Fdt \quad (1)$$

تغییر تکانه جسم در حین برخورد را می‌توانیم با انتگرال‌گیری روی زمان برخورد بدست آوریم، یعنی

$$p_f - p_i = \int_{t_i}^{t_f} dp = \int_{t_i}^{t_f} Fdt \quad (2)$$

که در آن شاخصهای پائین  $i$  (اولیه) و  $f$  (نهایی) به ترتیب مربوط به زمانهای قبل و بعد از برخوردند. انتگرال نیرو را در بازه زمانی که نیرو اثر می‌کند ضربه نیرو،  $J$ ، می‌نامند.

بنابراین، تغییر تکانه جسمی که نیروی ضربه‌ای به آن وارد می‌شود برابر با ضربه است. ضربه و



شکل (A) چگونگی تغییر نیروی ضربه‌ای  $F(t)$  نسبت به زمان در برخوردی که از لحظه  $t_i$  شروع می‌شود و در لحظه  $t_f$  پایان می‌یابد.

تکانه هر دو بردارند و یکاها و ابعاد آنها یکسان است.

جهت نیروی ضربه‌ای شکل فوق، بنابه فرض ثابت است. ضربه این نیرو، یعنی  $\int_{t_i}^{t_f} F dt$ ، از نظر

بزرگی با مساحت زیر منحنی نیرو - زمان برابر است.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ضربه  $J$  که با معادله (2) تعریف می‌شود، به مقادیر دقیق  $t_i$  و  $t_f$  تا مادامی که آنقدر از هم فاصله داشته باشند که

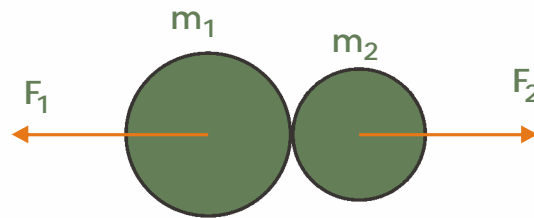
مساحت هاشور خورده در شکل (A) را در بر بگیرند بستگی ندارد. معمولاً فاصله  $t_i$  و  $t_f$  را طوری انتخاب می‌کنیم که برای

تمیز دادن "برخورد" و "بازه‌های زمانی قبل و بعد"، به قدر کافی بزرگ باشد.

## پایستگی تکانه در حین برخورد

اکنون برخورد میان دو ذره به جرمهای  $m_1, m_2$  را که در شکل زیر دیده می‌شوند، در نظر

می‌گیریم.



شکل (B) دو ذره  $m_2, m_1$  در برخورد بر طبق قانون سوم نیوتن تحت تأثیر نیروهای مساوی و مختلف‌الجهت در

امتداد خط واصل مرکزهایشان قرار می‌گیرند،  $F_2(t) = -F_1(t)$ .

در مدت کوتاه برخورد، این ذرات نیروهای بزرگی به یکدیگر وارد می‌کنند. در هر لحظه،  $F_1$

نیروی وارد بر ذره 1 از طرف ذره 2، و  $F_2$  نیروی وارد بر ذره 2 از طرف ذره 1 است. طبق قانون سوم

نیوتن، بزرگی این نیروها در هر لحظه مساوی ولی در خلاف جهت یکدیگرند.

تغییر تکانه ذره 1 که از برخورد ناشی می‌شود، برابر است با

$$\Delta p_1 = \int_{t_i}^{t_f} F_1 dt = \bar{F}_1 \Delta t$$

که در آن  $\bar{F}_1$  مقدار میانگین نیروی  $F_1$  در بازه زمانی برخورد،  $\Delta t = t_f - t_i$ ، است. تغییر تکانه ذره 2 در

اثر برخورد برابر است با

$$\Delta p_2 = \int_{t_i}^{t_f} F_2 dt = \bar{F}_2 \Delta t$$

که در آن  $\bar{F}_2$  مقدار میانگین نیروی  $F_2$  در بازه زمانی برخورد،  $\Delta t = t_f - t_i$ ، است.

اگر نیروهای دیگری بر ذرات اثر نکنند، در آن صورت  $\Delta p_1, \Delta p_2$  تغییر کلی تکانه هر ذره را

بدست می‌دهد. اما می‌دانیم که در هر لحظه  $F_1 = -F_2$ ، به گونه‌ای که  $\bar{F}_1 = -\bar{F}_2$ ، بنابراین

$$\Delta p_1 = -\Delta p_2$$

اگر این دو ذره را به عنوان یک دستگاه منزوی در نظر بگیریم تکانه کل دستگاه عبارت است از

$$P = p_1 + p_2$$

و تغییر کل تکانه دستگاه در اثر برخورد صفر است، یعنی

$$\Delta P = \Delta p_1 + \Delta p_2 = 0$$

بنابراین، اگر نیروهای خارجی وجود نداشته باشند تکانه کل دستگاه در اثر برخورد تغییر نمی‌کند.

نیروهای ضربه‌ای که در برخورد وارد می‌شوند نیروهای داخلی هستند که اثری روی تکانه کل دستگاه ندارند.

برخورد را به صورت برهم کنشی تعریف کردیم که در زمان  $\Delta t$ ، که در مقایسه با زمان مشاهده

دستگاه قابل چشمپوشی است، اتفاق می‌افتد. همچنین برخورد را می‌توان رویدادی در نظر گرفت که در

آن نیروهای خارجی وارد بر دستگاه، در مقایسه با نیروهای ضربه‌ای برخورد، قابل چشمپوشی هستند.

وقتی با چوب چوگان به توپ چوگان، با چوب گلف به توپ گلف ضربه می‌زنیم یا وقتی توپ بیلیارد با

توپ دیگر برخورد می‌کند، نیروهای خارجی به دستگاه وارد می‌شوند. مثلاً گرانی یا اصطکاک بر این

اجسام نیرو وارد می‌کنند و این نیروهای خارجی که به هر جسم برخورد کننده وارد می‌شوند، ممکن

است مساوی نباشند و الزاماً توسط نیروهای خارجی دیگر خنثی نشوند. با وجود این، با اطمینان

می‌توانیم از این نیروهای خارجی در حین برخورد چشمپوشی کنیم و فرض کنیم که پایداری تکانه تقریباً همیشه صادق است، مشروط به این که نیروهای خارجی در مقایسه با نیروهای ضربه‌ای برخورد قابل چشمپوشی باشند، که معمولاً همین‌طور است. در نتیجه، تغییر تکانه یک ذره در حین برخورد که از نیروی خارجی ناشی می‌شود، در مقایسه با تغییر تکانه آن ذره که از نیروی ضربه‌ای برخورد ناشی می‌شود قابل چشمپوشی است.

به عنوان مثال، وقتی با چوب چوگان به توپ ضربه می‌زنیم، برخورد فقط در کسر کوچکی از ثانیه صورت می‌گیرد. چون تغییر تکانه بزرگ و زمان برخورد کوچک است، از رابطه

$$\Delta p = \bar{F} \Delta t$$

نتیجه می‌گیریم که نیروی ضربه‌ای میانگین  $\bar{F}$  نسبتاً بزرگ است. نیروی خارجی گرانی در مقایسه با این نیرو قابل چشمپوشی است. هنگام محاسبه تغییر حرکت توپ در اثر برخورد می‌توانیم با اطمینان از این نیروی خارجی صرف نظر کنیم. هر چه زمان برخورد کوتاه‌تر باشد، این گفته به حقیقت نزدیکتر است.

بنابراین، در عمل هنگامی می‌توانیم اصل پایداری تکانه در حین برخورد را بکار ببریم که زمان برخورد به قدر کافی کوتاه باشد. پس می‌توانیم بگوئیم که تکانه دستگاه ذرات درست قبل از برخورد، با تکانه دستگاه ذرات درست بعد از برخورد برابر است.

