

## 1 قانونهای نیوتن

هدف پاسخ به این پرسش است که حرکت ذرات چگونه است. دقیقتر، معادله حرکت یک ذره (رابطه مکان ذره با زمان) چگونه است. برای پاسخ-دادن به این پرسش، البته باید بشود زمان و مکان را هم سنجید. سنجش زمان با چیزی انجام میشود که به آن ساعت میگویند. چون ذرات حرکت میکنند، ساعتها بی جاها مختلف لازم است. یک فرض این است که این ساعتها را میشود همزمان کرد و در این صورت ساعتها یکسان همزمان میمانند. این که همزمان میمانند، یعنی اگر ساعت یکسان کنار هم بودند و همزمان شدند، بعد از هم دور شدند، بعد باز کنار هم آمدند، همچنان زمان یکسان را نشان میدهند. از جمله اگر یک از دو ساعت یکسان یک جا بماند و دیگر سفر کند (مثلن با هواپیما یا فضاپیما) و کنار ساعت اول برگردد، اختلاف-زمانی که این دو ساعت نشان میدهند یکسان است.

آزمایشهای دقیق نشان میدهند این فرض به-دقت درست نیست. اما اختلاف زمان پیش میآید که سرعتها بزرگ باشند، از سرعت نور خیل کوچکترباشند. آنچه به آن مکانیک نانسیتی گفته میشود وضعیت است که سرعتها بسیار کوچکتراز سرعت نورند. در این صورت فرض بالا تقریباً درست است. همه بحثهای بعدی هم متناظر با این وضعیتند، مگر صریحان خلاف آن گفته شود. پس زمانسنجی با یک دست ساعت انجام میشود که هر کدام در یک-نقطه از فضا یند، و با هم همزمانند.

سنجش مکان بر اساس سنجش فاصله است. البته با سنجش فاصله میشود زاویه را هم سنجید. یک دسته ساعت در نظر بگیرید که هر کدام در یک نقطه از فضا یند، چنان که هر ذره در هر لحظه کنار یکی از آنهاست. به هر ساعت یک برجسب (مختصات) نسبت میدهم. مکان ذره در هر زمان برجسب ساعتی است که ذره که در آن زمان کنار آن است. به هر دسته از چنین ساعتها بی جا چارچوب میگویند.

این که حرکت مکان ذره بر حسب زمان چیست، به این بستگی دارد که چه عواملی بر حرکت ذره اثر دارند، و حرکت در کدام چارچوب سنجیده میشود. میکوشم این-دو (عوامل مؤثر بر حرکت ذره، و چارچوب) را از هم جدا کنم. اول حالتی را بررسی میکنم که هیچ چیز بر ذره اثر ندارد. چه طر چنین چیزی ممکن است؟ یک فرض این است که اگر ذره از همه عوامل مادی دور باشد چیزی بر

آن اثر نمیکند. به چنین ذره ای ذره ی آزاد میگویند. یک پرسش سادتر (نسبت به این که حرکت یک ذره چگونه است) این است که حرکت یک ذره ی آزاد چگونه است. پاسخ به این پرسش بخش ی از چیزی ست که به آن قانون اول نیوٹن میگویند. قانون اول نیوٹن میگوید یک چارچوب هست که نسبت به آن مسیر هر ذره ی آزاد ی یک خط راست است. به چنین چارچوب ی یک چارچوب لخت میگویند.

این که مسیر یک ذره یک خط راست باشد، نتیجه میدهد بردار سرعت ذره در هر لحظه با آن خط موازی ست. پس شتاب ذره هم با آن خط موازی ست. یعنی شتاب ذره با سرعت ذره موازی ست:

$$\mathbf{a}(t) = w(t) \mathbf{v}(t). \quad (1)$$

$w$  عدد است، و البته ممکن است ثابت یا حتی صفر باشد. اگر به جای زمان  $t$  زمان  $t'$  به کار رود، بردارها ی سرعت و شتاب چنین میشوند.

$$\begin{aligned} \mathbf{v}' &= \frac{d\mathbf{r}}{dt'}, \\ &= \frac{d\mathbf{r}}{dt'} \frac{dt}{dt}, \\ &= \frac{dt}{dt'} \mathbf{v}. \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{a}' &= \frac{d\mathbf{v}'}{dt'}, \\ &= \frac{d^2 t}{dt'^2} \mathbf{v} + \frac{dt}{dt'} \frac{d\mathbf{v}}{dt'}, \\ &= \frac{d^2 t}{dt'^2} \mathbf{v} + \left(\frac{dt}{dt'}\right)^2 \frac{d\mathbf{v}}{dt}, \\ &= \frac{d^2 t}{dt'^2} \mathbf{v} + \left(\frac{dt}{dt'}\right)^2 \mathbf{a}. \end{aligned} \quad (3)$$

پس اگر (1) برقرار باشد،

$$\mathbf{a}' = \left[ \frac{d^2 t}{dt'^2} + \left(\frac{dt}{dt'}\right)^2 w \right] \mathbf{v}. \quad (4)$$

میشود رابطه ی  $t'$  با  $t$  را چنان گرفت که کروه صفر است. مشتق  $t$  نسبت به  $t'$  را با  $\lambda$  نشان میدهم. این که کروه صفر شود یعنی

$$\frac{d\lambda}{dt'} + \lambda^2 w = 0, \quad (5)$$

یا،

$$\frac{d\lambda}{dt} + \lambda w = 0, \quad (6)$$

که نتیجه میدهد  $(\ln \lambda)$  منفی ی انتگرال  $w$  بر  $t$  است. پس برای هر ذره ی آزاد، میشود زمان را چنان گرفت که شتاب صفر شود. البته ممکن است این انتخاب - زمان به ذره بستگی داشته باشد. قانون اول نیوتن میگوید چنین نیست: یک زمان جهانی هست که با آن شتاب هر ذره ی آزاد در یک چارچوب لخت صفر است.

حرفها ی بالا را خلاصه کنم:

یک همزمانی ی مطلق هست. اگر دوست دارید به این بگویید قانون صفرم نیوتن. یک چارچوب و یک زمان (چارچوب لخت و زمان جهانی یا زمان مطلق) هست که با آنها شتاب هر ذره ی آزاد صفر است، یعنی سرعت هر ذره ی آزاد ثابت است. به این هم قانون اول نیوتن میگویم. از این پس با زمان مطلق کار میکنم، مرگ صریحن خلاف آن را بگویم. آیا چارچوب لخت یکتا ست؟ ن. گیرم رابطه ی  $r'$  با  $r$  چنین است.

$$r(t) = r'(t) + R(t). \quad (7)$$

این یعنی مکان مبدئ چارچوب پریمدار در چارچوب بدون - پریم  $R$  است. البته این کلیترین شکل تبدیل - چارچوب نیست. بعدن حلتهای کلیتری را بررسی میکنم. (امیدوارم.) با دُ بار مشتق - گیری نسبت به زمان، دیده میشود

$$a = a' + A, \quad (8)$$

که  $A$  مشتق دوم  $R$  نسبت به زمان است، یعنی شتاب (مبدئ) چارچوب پریمدار نسبت به چارچوب بدون - پریم است. اگر ذره آزاد و چارچوب بدون - پریم لخت باشد،  $a$  صفر است. در

این صورت  $a'$  صفر است، اگر و تنها اگر  $A$  صفر باشد. پس چارچوب پریمدار هم لخت است، اگر و تنها اگر شتاب آن نسبت به یک چارچوب لخت صفر باشد، یعنی با سرعت ثابت نسبت به یک چارچوب لخت حرکت کند.

میشود نشان داد (اینجا نشان نداده ام)، که این تنها-حالت ممکن است: یک چارچوب لخت است، اگر و تنها اگر با سرعت ثابت نسبت به یک چارچوب لخت دیگر حرکت کند، یعنی همه ساعتها ی آن با سرعت ثابت نسبت به یک چارچوب لخت حرکت کنند.

اینها مال وضعیت ی بود که چیزی بر حرکت ذره اثر نکند، یعنی ذره آزاد باشد. اگر ذره آزاد نبود چه؟ قانون دوم نیوتن میگوید حرکت یک ذره را میشود با یک معادله دیفرانسیل مرتبه-ی-دو تعیین کرد، یعنی شتاب (مشتق دوم مکان نسبت به زمان) را میشود بر حسب زمان، مکان، و سرعت (مشتق اول مکان نسبت به زمان) به دست آورد. میماند این که این تابعیت چگونه است. حرکت ذره را نسبت به یک چارچوب لخت بررسی میکنم. قانون دوم میگوید شتاب ذره از دو عامل به دست میآید. یک عامل خاص ذره است و به آن جرم ذره میگویند. یک عامل هم از محیط (برهمکنش ذره با چیزها ی دیگر) میآید و به آن نیرو میگویند. شتاب میشود نیرو تقسیم بر جرم:

$$a = \frac{F}{m}. \quad (9)$$

در حالت کلی، نیرو تابع ی از زمان، مکان، و سرعت است. البته ممکن است به یک یا چند تا از اینها بستگی نداشته باشد. قانون دوم نیوتن ضمن میگوید اگر چند عامل بر یک ذره اثر کنند، نیروها ی حاصل از آنها با هم جمع میشوند:

$$F = F_1 + F_2 + \dots. \quad (10)$$

و اگر چند ذره به هم بسته شوند، جرم ذره ی حاصل مجموع جرم ذرات سازنده است:

$$m = m_1 + m_2 + \dots. \quad (11)$$

سرانجام، نیرویی که به یک ذره وارد میشود ممکن است ناشی از ذرات دیگر باشد. قانون سوم نیوتن رابطه ای برقرار میکند بین  $F_{1 \rightarrow 2}$  (نیرویی که ذره ی اول به ذره ی دوم وارد میکند)، و  $F_{2 \rightarrow 1}$  (نیرویی که ذره ی دوم به ذره ی اول وارد میکند). چیزی که به آن شکل ضعیف قانون سوم نیرویی که ذره ی دوم به ذره ی اول وارد میکند).

نیوٲن میگویند این است که این دُ-نیرو قرینه ی هم نَد:

$$\mathbf{F}_{2 \rightarrow 1} = -\mathbf{F}_{1 \rightarrow 2}. \quad (12)$$

البته این نکته مهم است که این دُ-نیرو به دُ جسمِ مختلف اثر میکنند: در نیروها ی وارد بر ذره ی 2 فقط  $\mathbf{F}_{1 \rightarrow 2}$  وارد میشود و این نیرو با  $\mathbf{F}_{2 \rightarrow 1}$  خنثا نمیشود. چیزی که به آن شکلِ قوی ی قانونِ سومِ نیوٲن میگویند این است که علاوه بر این که رابطه ی بالا برقرار است،  $\mathbf{F}_{1 \rightarrow 2}$  و  $\mathbf{F}_{2 \rightarrow 1}$  در راستا ی خط ی بند که مکان دُ-ذره را به هم وصل میکند:

$$\mathbf{F}_{1 \rightarrow 2} \parallel (\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1). \quad (13)$$

یعنی یک عددِ  $f$  هست که

$$\mathbf{F}_{1 \rightarrow 2} = f (\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1). \quad (14)$$

$$\mathbf{F}_{2 \rightarrow 1} = f (\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2). \quad (15)$$