

فیزیک مکانیک

فصل هشتم: انرژی پتانسیل و پایداری انرژی مکانیکی

حسین شناور

گروه فیزیک، دانشکده علوم



دانشگاه هرمزگان

- این مجموعه درس در ایام همه گیری کرونا در تابستان و پاییز سال ۱۳۹۹ و با سرعتی بیش از حد معمول تهیه شده است؛ بنابراین، امکان وجود اشتباهات در این ارائه وجود دارد.
- خواهشمندم هرگونه اشتباه نوشتاری، مفهومی و یا محاسباتی را به آدرس ایمیل من ارسال کنید تا در ویرایش های بعدی تصحیحات لازم اعمال شوند:

h.shenavar@gmail.com

فصل هشتم: انرژی پتانسیل و پایداری انرژی مکانیکی

- کار نیروهای خارجی و پایداری انرژی
- تحلیل نمودارهای انرژی پتانسیل

آنچه گذشت...

قوانین نیرو: این قوانین، مقدار و جهت نیروی وارد شده بر یک جسم را در شرایط مختلف و با استفاده از آزمایش های دقیق بیان می کنند.

قانون گرانش نیوتن برای دو جرم نقطه ای:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

قانون کولن برای دو بار نقطه ای:

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

قانون هوک برای جرم متصل به فنر

$$F = -kx$$

نیروی عمودی سطح، کشش نخ، نیروی ارشمیدس و ...

این دو دسته قانون، طیف بسیار گسترده ای از پدیده های فیزیکی را به درستی توضیح می دهند.

قوانین حرکت:

یکی از راه های نوشتن قوانین حرکت، استفاده از سه قانون حرکت نیوتن است. این شکل از علم مکانیک کلاسیک را مکانیک نیوتنی می نامند. نوشتن قوانین مکانیک به شکل های دیگر، مانند مکانیک لاگرانژی، هامیلتونی و ... هم ممکن است.

ما در این کتاب مکانیک نیوتنی را بررسی خواهیم کرد.

قانون اول: وقتی برآیند نیروهای وارد بر جسم صفر باشد، جسم حالت حرکت خود را حفظ خواهد کرد. یعنی اگر ساکن باشد، ساکن خواهد ماند و اگر با سرعت در حال حرکت باشد، با همان سرعت به حرکت خود ادامه خواهد داد.

قانون دوم: رابطه شتاب و نیرو

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

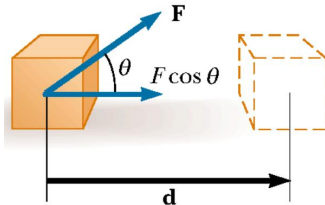
قانون سوم نیوتن: هر عملی را عکس العملی است، با مقدار مساوی و در جهت خلاف آن

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

قوانین نیوتن فقط در دستگاه های لخت برقرار هستند.

پرسش: آیا می توان مکانیک را فقط برحسب کمیت های اسکالر بازنویسی کرد؟

کار، انرژی جنبشی و قضیه کار-انرژی جنبشی



شکل از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش هشتم.

انرژی جنبشی: اگر جسمی به جرم m با سرعت v در حال حرکت باشد، انرژی جنبشی آن برابر است با

$$K = \frac{1}{2} m v^2$$

کار نیروی ثابت: اگر نیروی "ثابت" $\vec{F}$ در مسیری به طول d بر جسم وارد شود، آنگاه کار (Work) انجام شده توسط نیروی ثابت برابر است با

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d} = \vec{d} \cdot \vec{F} = F d \cos \theta$$

لطفا مفهوم ضرب داخلی (اسکالر) دو بردار را از فصل سوم مرور کنید.

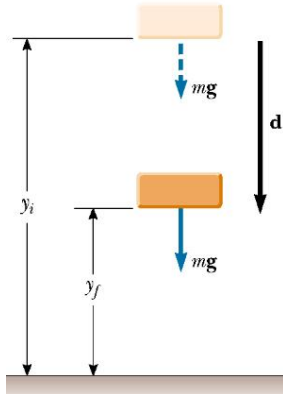
کار نیروی متغیر تعمیمی از کار نیروی ثابت است:

$$W = \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^N F_{x,i} \Delta x \equiv \int F(x) dx$$

قضیه کار-انرژی جنبشی: تغییر در انرژی جنبشی یک جسم بر روی یک مسیر مشخص برابر است با کار کل انجام شده توسط همه نیروهای عمل کننده بر جسم:

$$W_t = \sum W_i = \Delta K = K_f - K_i$$

نیروهای پایستار، انرژی پتانسیل و پایستگی انرژی مکانیکی



شکل از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش هشتم.

نیروهای پایستار: نیروهایی که کار انجام شده توسط آنها به مسیر ربطی ندارد و فقط به نقاط ابتدایی و انتهایی ربط دارد را نیروهای پایستار می نامیم.

مثال هایی از نیروهای پایستار: نیروی گرانش، نیروی فنر، نیروی کولن و ...

نیروهای ناپایستار: نیروهایی هستند که کار انجام شده توسط آنها به مسیر ربط دارد. برای چنین نیروهایی نمی توان انرژی پتانسیل تعریف کرد زیرا مقدار آن یکتا نخواهد بود.

مثالی هایی از نیروهای ناپایستار: نیروی اصطکاک، نیروهای وابسته به سرعت و ...

قضیه: کار کل انجام شده توسط یک نیروی پایستار در یک مسیر بسته برابر صفر است.

اگر نیروی پایستار F_x بر یک جسم وارد شود و جسم از موقعیت x_i به نقطه x_f منتقل شود، آنگاه تغییر در انرژی پتانسیل جسم برابر است با منفی کار انجام شده توسط نیروی F_x و یا

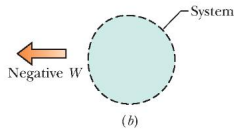
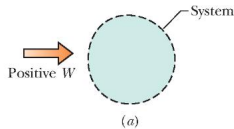
$$\Delta U = -W = - \int_{x_i}^{x_f} F(x) dx$$

منظور از اختلاف در انرژی پتانسیل $\Delta U \equiv U_f - U_i$ می باشد.

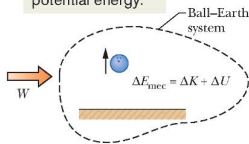
در یک سیستم بسته که فقط نیروهای پایستار باعث تبدیل انرژی می شوند، مجموع انرژی های جنبشی و پتانسیل ثابت است. این مجموع را انرژی

مکانیکی می نامند: $E_{mech} = K + U = cte$

اثر کار نیروهای خارجی روی سیستم



Your lifting force transfers energy to kinetic energy and potential energy.



یادآوری: کار، انرژی منتقل شده از یک جسم (و یا به یک جسم) توسط نیروی عمل کننده بر آن جسم است. انرژی منتقل شده به جسم مثبت و انرژی منتقل شده از جسم منفی محسوب می شود.

اگر نیروهای خارجی، به جز اصطکاک، کار W را روی سیستم انجام دهند، باعث تغییر در انرژی مکانیکی سیستم به صورت

$$W = \Delta E_{mech} = \Delta K + \Delta U$$

می شوند.

در این صورت، با وجودی که انرژی مکانیکی پایسته نیست، می توان همچنان مساله حرکت را حل کرد؛ به شرطی که کار نیروی خارجی معلوم باشد. و یا برعکس، می توان با محاسبه تغییر در انرژی های جنبشی و پتانسیل، کار نیروی خارجی را یافت.

مثلا، اگر جسمی را با نیروی دست به ارتفاع مشخص ببریم، تغییر در انرژی های جنبشی و پتانسیل مشخص بوده و بنابراین می توان با استفاده از رابطه

$$W = \Delta E_{mech} = \Delta K + \Delta U$$

کار نیروی خارجی (در اینجا، کار نیروی دست) را یافت.

شکل ها از ویرایش دهم مبانی فیزیک هالیدی.

اثر اصطکاک

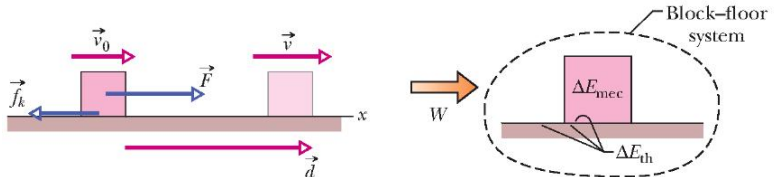
اگر اصطکاک هم موجود باشد، باعث یک تغییر در انرژی به اندازه ΔE_{th} می شود؛ یعنی اصطکاک باعث افزایش انرژی گرمایی (thermal energy) سیستم خواهد شد. در این مورد می توان نوشت:

$$W = \Delta E_{mech} + \Delta E_{th}$$

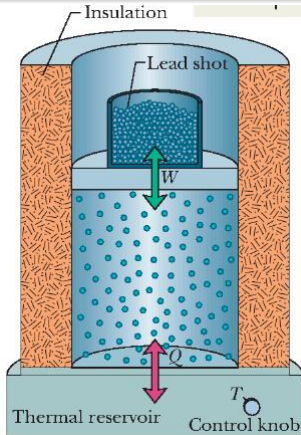
اگر نیروی اصطکاک جنبشی f_k در مسیری به طول d به سیستم وارد شود، آنگاه $\Delta E_{th} = f_k d$.

شکل پایین را ببینید. نیروی خارجی F برای سیستم انرژی تامین می کند (روی سیستم کار انجام می دهد). نیروی اصطکاک قسمتی از انرژی تامین شده را به انرژی گرمایی تبدیل می کند. بنابراین، انرژی تامین شده توسط نیروی خارجی به انرژی جنبشی و انرژی گرمایی تبدیل می شود.

شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش دهم.



پایداری انرژی



اگر در حین تحول سیستم، تغییر در انرژی درونی آن قابل صرفنظر کردن نباشد،
آنگاه می توان نوشت:

$$W = \Delta E_{mech} + \Delta E_{th} + \Delta E_{int}$$

که در آن ΔE_{int} تغییر در انرژی درونی است.

نتیجه اساسی: انرژی کل یک سیستم (مجموع انرژی های مکانیکی، گرمایی،
درونی و ...) فقط می تواند به اندازه میزان انرژی منتقل شده به سیستم (و یا از
سیستم) تغییر کند. این "واقعیت تجربی" را قانون پایداری انرژی می نامند.

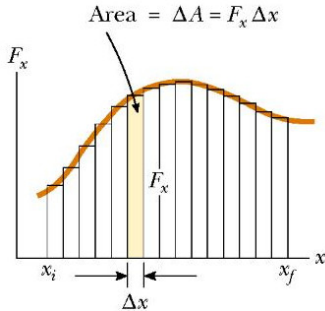
نتیجه ثانویه: انرژی کل یک سیستم بسته تغییر نمی کند.

منظور از سیستم بسته (ایزوله) سیستمی است که برهمکنشی با محیط اطراف
ندارد.

بیان هایی معادل با گزاره های بالا را گاهی اوقات "قانون اول ترمودینامیک" می
نامند که اهمیت اساسی در بررسی سیستم های گرمایی دارد.

شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش دهم.

پیدا کردن نیرو با استفاده از انرژی پتانسیل



یادآوری: اگر نیروی پایداری F_x بر یک جسم وارد شود و جسم از موقعیت x_i به نقطه x_f منتقل شود، آنگاه تغییر در انرژی پتانسیل جسم برابر است با منفی کار انجام شده توسط نیروی F_x . و یا

$$\Delta U = -W = - \int_{x_i}^{x_f} F(x) dx$$

منظور از اختلاف در انرژی پتانسیل $\Delta U \equiv U_f - U_i$ می باشد.

حال فرض کنید که کار بسیار کوچک ΔW در جابه جایی بسیار کوچک Δx توسط نیروی $F(x)$ انجام شده است. با توجه به تعریف پتانسیل می توان نوشت:

$$\Delta U = -\Delta W = -F(x)\Delta x$$

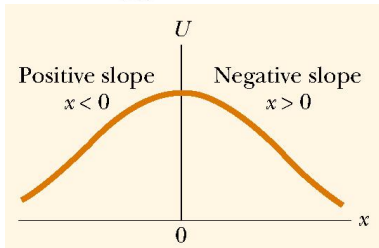
و یا

$$F(x) = - \frac{dU(x)}{dx}$$

بنابراین، نیرو برابر است با منفی شیب نمودار انرژی پتانسیل-مکان.

تمرین: توضیح دهید که چرا در شکل مقابل، پایین، نیرو در سمت راست محور افقی مثبت و در سمت چپ آن منفی است.

شکل از مبانی فیزیک، ویرایش هشتم.



نقاط تعادل

اگر نیروی کل وارد شده به جسمی صفر باشد، می‌گوییم جسم در حال "تعادل" است:

$$\sum F = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \text{equilibrium state}$$

یعنی در هر نقطه که مماس بر نمودار پتانسیل یک خط افقی باشد، آن نقطه یک نقطه تعادل است:

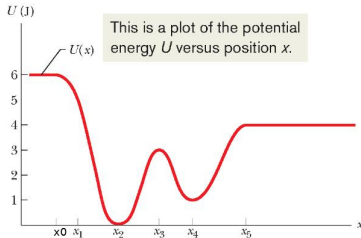
$$\boxed{\frac{dU}{dx} = 0}$$

پس برای پیدا کردن نقاط تعادل یک انرژی پتانسیل داده شده، باید معادله بالا را حل کنیم.

به عنوان مثال، نقاط تعادل در شکل مقابل عبارت اند از:

$$x < x_0, \quad x_2, \quad x_3, \quad x_4, \quad x > x_5$$

شکل‌ها مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش دهم.



تبادل پایدار، ناپایدار و بی تفاوت

اگر جسم در نقطه تعادل باشد، و با اعمال نیرویی کوچک از حالت تعادل خود کمی منحرف شده و به آن بازگردد، می‌گوییم که جسم در تعادل پایدار است. در این حالت داریم:

$$\frac{dU}{dx} = 0 \quad \text{and} \quad \frac{d^2U}{dx^2} > 0$$

یعنی جسم در نقطه کمینه نمودار پتانسیل است (تقعر منحنی رو به بالاست). مثال از تعادل پایدار: نقاط x_2 و x_4 در شکل مقابل.

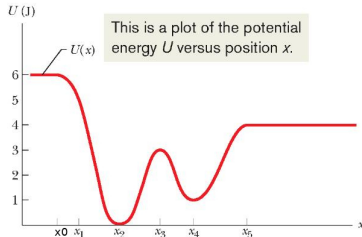
اگر جسم در نقطه تعادل باشد، و با اعمال نیرویی کوچک از حالت تعادل خود کاملاً منحرف شده و دور گردد، می‌گوییم که جسم در تعادل ناپایدار است. در این حالت داریم:

$$\frac{dU}{dx} = 0 \quad \text{and} \quad \frac{d^2U}{dx^2} < 0$$

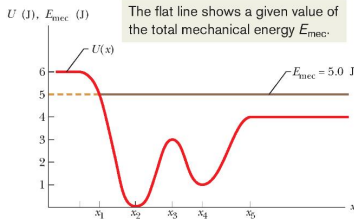
یعنی جسم در نقطه بیشینه نمودار پتانسیل است (تقعر منحنی رو به پایین است). مثال از تعادل ناپایدار: نقطه x_3 در شکل مقابل.

نقاط $x < x_0$ و $x > x_5$ را نقاط تعادل بی تفاوت می‌نامیم.

شکل‌ها مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش دهم.



نقاط بازگشتی



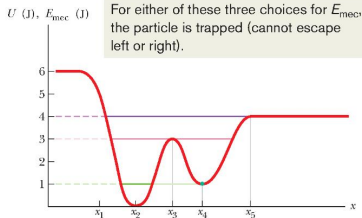
فرض کنید تویی را به سمت بالا پرتاب می کنیم. در بالاترین نقطه، سرعت توپ به صفر رسیده و توپ تغییر جهت میدهد. مثال دیگر: برخورد توپ به دیوار.

نقاطی را که سرعت جسم، و یا انرژی جنبشی آن، صفر می شود نقاط بازگشتی می نامند. در این نقاط داریم:

$$K = 0 \Rightarrow E = U(x) \Leftarrow \text{only in turning points}$$

بنابراین برای پیدا کردن نقاط بازگشتی، باید معادله

$$E = U(x)$$



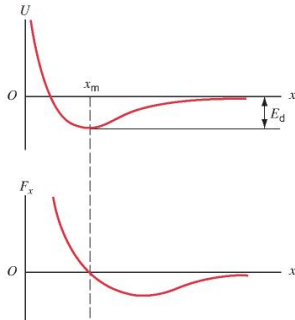
را حل کنیم.

در شکل مقابل، بالا، اگر انرژی جسم برابر ۵ ژول باشد، آنگاه تنها نقطه بازگشتی نمودار پتانسیل نقطه x_1 خواهد بود.

تمرین: نقاط بازگشتی را در نمودار پایین برای انرژی های ۳، ۴ و ۱ ژول بیابید.

شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی، ویرایش هشتم.

مثال: پتانسیل لارند-جونز



$$E_d = -U(x_m)$$

$$\begin{aligned} &= -\left(\frac{a}{x_m^{12}} - \frac{b}{x_m^6}\right) \\ &= \frac{b^2}{4a} \end{aligned}$$

شکل ها از فیزیک هالیدی، ویرایش پنجم.

وقتی که دو اتم، در یک مولکول دواتمی، به هم نزدیک می شوند یک نیروی دافعه شدید بین آنها به وجود می آید و وقتی که از هم دور می شوند، نیروی جاذبه برقرار می گردد. انرژی پتانسیل برای نیروی بین دو اتم در یک مولکول دواتمی به صورت تقریبی به صورت

$$U(x) = \frac{a}{x^{12}} - \frac{b}{x^6}$$

نوشته می شود. بنابراین انتظار داریم که یک حالت تعادل موجود باشد. شکل مقابل (بالا) را ببینید. الف: نیروی بین دو اتم را بیابید. ب: نقطه تعادل را بیابید. کمینه انرژی برای شکستن پیوند اتم ها در مولکول دو اتمی چقدر است؟

پاسخ الف: نیروی ناشی از این پتانسیل:

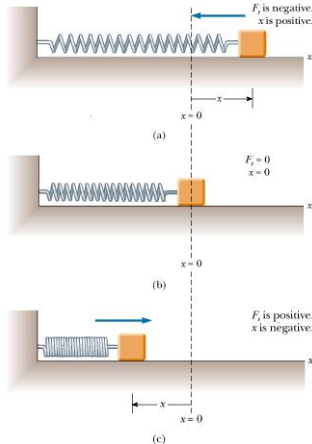
$$F(x) = -\frac{d}{dx} U(x) = -\frac{d}{dx} \left(\frac{a}{x^{12}} - \frac{b}{x^6} \right) = \frac{12a}{x^{13}} - \frac{6b}{x^7}$$

شکل مقابل (پایین) را ببینید. پاسخ ب: پیدا کردن نقطه تعادل:

$$F(x) = \frac{12a}{x^{13}} - \frac{6b}{x^7} = 0 \quad \Rightarrow \quad x_m = \left(\frac{2a}{b} \right)^{\frac{1}{6}}$$

پاسخ پ: در حالت عادی، سیستم در حالت کمینه انرژی خود قرار دارد، یعنی $E = -E_d$. این را انرژی بستگی مولکول می نامند. ولی با انرژی دادن به سیستم (مثلاً با گرم کردن) می توان دو اتم را از هم جدا کرد. به عبارت دیگر اگر $E \geq 0$ ، آنگاه مولکول شکسته می شود چون فاصله اتم ها در این حالت بینهایت است.

حل مساله حرکت (مبحث اختیاری)



مساله حرکت، یعنی پیدا کردن مکان متحرک بر حسب زمان، را می توان به روش انرژی نیز حل کرد. فرض کنید که متحرکی فقط تحت تاثیر نیروهای پایدار قرار دارد. در این صورت داریم:

$$E_{mech} = K + U = cte$$

که در آن E_{mech} یک مقدار ثابت است. از اینجا می توان نتیجه گرفت:

$$\frac{1}{2}mv^2 = E - U(x) \Rightarrow v = \frac{dx}{dt} = \sqrt{\frac{2(E - U(x))}{m}}$$

و یا با انتگرال گیری از رابطه بالا داریم:

$$\int_{x_0}^x \frac{dx}{\sqrt{\frac{2(E - U(x))}{m}}} = \int_0^t dt$$

که (علی الاصول) مکان متحرک در هر لحظه از زمان را به دست داده و بنابراین مساله حرکت را حل می کند.

تمرین: فرض کنید که جسم متصل به فنری را به اندازه x_0 کشیده و رها می کنیم. انرژی پتانسیل فنر در مکان x برابر است با

$$U(x) = \frac{1}{2}kx^2$$

مکان جسم در هر لحظه از زمان را بیابید.

شکل ها از مبانی فیزیک هالیدی.

نکات مهم این درس

انتظار این است که در انتهای این درس شما بتوانید نکات اساسی تاثیر نیروهای خارجی بر پایداری انرژی مکانیکی و انواع تعادل را بیان کنید. برای اینکار لازم است بتوانید به سوال های زیر پاسخ دهید:

- ۱ اگر یک نیروی خارجی بر سیستمی اثر کند، قانون پایداری انرژی مکانیکی چگونه تغییر می کند؟
- ۲ اگر نیروی اصطکاک بر سیستمی اثر کند، قانون پایداری انرژی مکانیکی چگونه تغییر می کند؟
- ۳ اگر انرژی درونی یک سیستم تغییر کند، قانون پایداری انرژی مکانیکی چگونه تغییر می کند؟
- ۴ قانون پایداری انرژی را در کلی ترین حالت بیان کنید.
- ۵ چه سیستمی را در حال تعادل می گوئیم؟
- ۶ نقاط تعادل یک تابع انرژی پتانسیل را چگونه می توان یافت؟
- ۷ تعادل های پایدار، ناپایدار و بی تفاوت را به صورت کیفی توضیح دهید.
- ۸ شرط ریاضیاتی تعادل پایدار و ناپایدار چیست؟
- ۹ نقطه بازگشتی چیست؟
- ۱۰ چگونه می توان مساله حرکت را با استفاده از پایداری انرژی مکانیکی حل کرد؟

اگر درباره هر کدام از مفاهیم یاد شده بالا مشکلی احساس می کنید، لطفا درس را یک بار دیگر مرور کنید.

فراموش نکنیم که بهترین راه برای درک و ” درونی سازی ” مفاهیم ریاضی و فیزیک، حل مساله است. به همین دلیل سعی کنید دانسته های خود را با حل سوالات زیر محک زده و تقویت کنید.



تمرین

انرژی پتانسیل یک متحرک به صورت

$$U(x) = \frac{1}{x} + 4x$$

می باشد. الف) چه نیرویی از این انرژی حاصل می شود (راهنمایی $F(x) = -\frac{dU(x)}{dx}$) ؟

ب) نقطه تعادل سیستم را بیابید. راهنمایی: در نقاط تعادل نیرو برابر صفر است.

پ) با استفاده از آزمون مشتق دوم $\frac{d^2U(x)}{dx^2}$ پایداری یا ناپایدار نقطه تعادل را تعیین کنید.

ت) اگر انرژی سیستم $E = 10$ باشد نقاط بازگشتی حرکت را بیابید. راهنمایی: نقاط بازگشتی نقاطی هستند که انرژی جنبشی در آنها صفر است.

تمرین

انرژی پتانسیل یک متحرک به صورت

$$U(x) = -\sqrt{1 - x^2}$$

می باشد. الف) چه نیرویی از این انرژی حاصل می شود (راهنمایی $F(x) = -\frac{dU(x)}{dx}$) ؟

ب) نقطه تعادل سیستم را بیابید. راهنمایی: در نقاط تعادل نیرو برابر صفر است.

پ) با استفاده از آزمون مشتق دوم $\frac{d^2 U(x)}{dx^2}$ پایداری یا ناپایدار نقطه تعادل را تعیین کنید.

ت) اگر انرژی سیستم $E = -0.5$ باشد نقاط بازگشتی حرکت را بیابید. راهنمایی: نقاط بازگشتی نقاطی هستند که انرژی جنبشی در آنها صفر است.

تمرین

انرژی پتانسیل یک متحرک به صورت

$$U(x) = \frac{1}{x^2} - \frac{1}{x}$$

- می باشد. الف) چه نیرویی از این انرژی حاصل می شود (راهنمایی $F(x) = -\frac{dU(x)}{dx}$)؟
- ب) نقطه تعادل سیستم را بیابید. راهنمایی: در نقاط تعادل نیرو برابر صفر است.
- پ) با استفاده از آزمون مشتق دوم $\frac{d^2U(x)}{dx^2}$ پایداری یا ناپایداری نقطه تعادل را تعیین کنید.
- ت) اگر انرژی سیستم $E = 0.5$ باشد نقاط بازگشتی حرکت را بیابید. راهنمایی: نقاط بازگشتی نقاطی هستند که انرژی جنبشی در آنها صفر است.

تمرین

انرژی پتانسیل یک متحرک به صورت

$$U(x) = x^3 - 3x^2 - 3x + 2$$

می باشد.

الف) چه نیرویی از این انرژی پتانسیل حاصل می شود (راهنمایی $F(x) = -\frac{dU(x)}{dx}$) ؟

ب) نقاط تعادل سیستم را بیابید. راهنمایی: در نقاط تعادل نیرو برابر صفر است.

پ) با استفاده از آزمون مشتق دوم $\frac{d^2U(x)}{dx^2}$ پایداری یا ناپایدار نقاط تعادل را تعیین کنید.

ت) اگر انرژی سیستم $E = 2$ باشد نقاط بازگشتی حرکت را بیابید. راهنمایی: نقاط بازگشتی نقاطی هستند که انرژی جنبشی در آنها صفر است.

مبحث بعدی: سیستم های ذرات و پایداری تکانه خطی



تاکنون فقط مساله حرکت یک تک ذره را در نظر گرفته ایم. در ادامه می آموزیم که چطور می توان از قوانین مکانیک، یعنی قوانین حرکت به علاوه قوانین نیرو، برای بررسی مجموعه ای از ذرات استفاده کرد. به این منظور قانون دوم نیوتن را به شکل مناسبی بازنویسی کرده و قانون پایداری تکانه خطی را اثبات خواهیم کرد. این قانون، یکی از مهمترین نتایج کتاب حاضر است.

همچنین، مساله برخورد را به عنوان یک مورد کاربردی مهم در نظر خواهیم گرفت.

شکل از مبانی فیزیک، ویرایش هشتم.

مراجع

- ❶ Halliday, David, Robert Resnick, and Jearl Walker; Fundamentals of physics, 10th edn. John Wiley & Sons, 2014.
- ❷ Halliday, D., R. Resnick, and K. S. Krane. "Physics, 5th edn." (2002).
- ❸ Ohanian, Hans C., and John T. Markert. Physics for engineers and scientists, 3th edn. 2007.
- ❹ Young, Hugh D., Roger A. Freedman, and Albert Lewis Ford. Sears and Zeman-sky's university physics, 13th edn. Pearson education, 2006.

کلاس های دیگر فیزیک مکانیک

کلاس های درس فیزیک یک دانشگاه صنعتی شریف (مثلا کلاس درس دکتر محمد رضا اجتهادی و یا دکتر محمود بهمن آبادی) را می توانید از مرکز آموزش های الکترونیک دانشگاه صنعتی شریف (و یا حتی از سایت مکتب خونه) دریافت کنید.
<http://ocw.sharif.edu/>

کلاس درس دکتر والتر لوین از دانشگاه MIT در مرکز آموزش های الکترونیک این دانشگاه و یوتیوب:
<https://ocw.mit.edu/index.htm>
<https://www.youtube.com/watch?v=X9c0MRooBzQ>

The screenshot shows the MIT OpenCourseWare website in Persian. The header includes the MIT logo and navigation links. A search bar is present. Below, there's a list of courses under the heading 'فهرست دوره ها' (Course List). The list includes various physics and engineering courses, such as 'فیزیک 1' (Physics 1) and 'مکانیک کلاسیک' (Classical Mechanics). The page also features a sidebar with additional resources and a footer with contact information.

The screenshot shows a YouTube video player. The video is titled 'Lec 01: Units, Dimensions, and Scaling Arguments | 8.01 Classical Mechanics (Walter Lewin)'. The video shows a man in a blue shirt standing in front of a blackboard, gesturing with his hands. The video player interface includes a search bar, a play button, and various controls like volume and full screen.

The screenshot shows a website with a map and contact information. The map is of a campus area, and the text below it provides details about the location and contact information for a physics department. The text is in Persian and includes a phone number and an email address.

با سپاس از توجه شما