



دانشگاه سindh
پہ

فیزیک پایه ۳

(رشته فیزیک)

سید احمد بابانزاد دکتر علی بهاری

بسم الله الرحمن الرحيم

پیشگفتار ناشر

کتاب‌های دانشگاه پیام نور حسب مورد و با توجه به شرایط مختلف یک درس در یک یا چند رشته دانشگاهی، به صورت کتاب درسی، متن آزمایشگاهی، فرادرسی، و کمک درسی چاپ می‌شوند.

کتاب درسی ثمره کوشش‌های علمی صاحب اثر است که براساس نیازهای درسی دانشجویان و سرفصل‌های مصوب تهیه و پس از داوری علمی، طراحی آموزشی، و ویرایش علمی در گروه‌های علمی و آموزشی، به چاپ می‌رسد. پس از چاپ ویرایش اول اثر، با نظرخواهی‌ها و داوری علمی مجدد و با دریافت نظرهای اصلاحی و متناسب با پیشرفت علوم و فناوری، صاحب اثر در کتاب تجدیدنظر می‌کند و ویرایش جدید کتاب با اعمال ویرایش زبانی و صوری جدید چاپ می‌شود.

متن آزمایشگاهی (م) راهنمایی است که دانشجویان با استفاده از آن و کمک استاد، کارهای عملی و آزمایشگاهی را انجام می‌دهند.

کتاب‌های فرادرسی (ف) و **کمک درسی** (ک) به منظور غنی‌تر کردن منابع درسی دانشگاهی تهیه و بر روی لوح فشرده تکثیر می‌شوند و یا در وبگاه دانشگاه قرار می‌گیرند.

مدیریت تولید محتوا و تجهیزات آموزشی

فهرست

نه	پیشگفتار
۱	فصل اول. حرکت نوسانی
۱	۱-۱ مقدمه
۱	۲-۱ حرکت هماهنگ ساده
۴	۱-۲-۱ سرعت نوسانگر
۶	۲-۲-۱ شتاب حرکت نوسانگر
۸	۳-۱ بررسی حرکت نوسانگر با روش انرژی
۱۳	۴-۱ آونگ
۱۳	۱-۴-۱ آونگ ساده
۱۶	۲-۴-۱ آونگ فیزیکی
۱۷	۳-۴-۱ آونگ پیچشی
۲۴	۵-۱ نوسان‌های میرا
۲۶	۶-۱ نوسان‌های واداشته
۳۰	۷-۱ مسائل
۳۷	فصل دوم. موج در محیط کشسان
۳۷	۱-۲ مقدمه
۳۷	۲-۲ امواج مکانیکی
۳۹	۳-۲ گره‌ها موج ساده-معادله حرکت
۴۲	۴-۲ اصل برهم‌نهی
۴۴	۵-۲ بررسی سرعت موج
۴۴	۶-۲ تعیین معادله سرعت موج‌های عرضی
۴۶	۷-۲ سرعت انتشار موج طولی

۴۹	۸-۲ انرژی در حرکت موجی
۵۲	۹-۲ شدت موج
۵۲	۱۰-۲ رابطه بین شدت موج و فاصله
۵۳	۱۱-۲ ترکیب یا تداخل امواج
۵۶	۱۲-۲ زنش یا ضربان (تداخل زمانی امواج)
۵۸	۱۳-۲ بازتابش موج
۶۰	۱۴-۲ امواج ساکن یا ایستاده
۶۶	۱۵-۲ تشدید
۶۷	۱۶-۲ مثال‌های حل شده
۶۹	۱۷-۱ مسائل
۷۱	فصل سوم. دما
۷۱	۱-۳ مقدمه
۷۲	۲-۳ دما، تعادل گرمایی و قانون صفرم ترمودینامیک
۷۴	۳-۳ دماسنجی یا اندازه‌گیری دما
۷۹	۴-۳ مقیاس‌های دمایی
۸۱	۵-۳ اثر تغییر دما
۸۱	۶-۳ انبساط طولی، سطحی و حجمی
۸۴	۷-۳ مثال‌های حل شده
۸۵	۸-۳ مسائل
۸۷	فصل چهارم. گرما
۸۷	۱-۴ مقدمه
۸۸	۲-۴ واحدهای گرما
۸۸	۱-۲-۴ کالری
۸۸	۲-۲-۴ بی تی یو (BTU)
۸۸	۳-۲-۴ ژول
۸۸	۳-۴ ظرفیت گرمایی
۸۹	۱-۳-۴ ضریب اتمیسیته گازها
۹۱	۴-۴ رابطه گرما و اصول تعادل گرمایی
۹۵	۵-۴ تغییر حالت مواد جامد
۹۶	۶-۴ فرآیند ایستوار بی‌دررو
۱۰۰	۷-۴ انتقال گرما
۱۰۱	۱-۷-۴ رسانش گرما
۱۰۴	۲-۷-۴ همرفت
۱۰۶	۳-۷-۴ تابش
۱۰۷	۸-۴ مثال‌های حل شده
۱۱۰	۹-۴ مسائل

۱۱۳	فصل پنجم. نظریه جنبشی گازها
۱۱۳	۱-۵ مقدمه
۱۱۳	۲-۵ قانون عمومی گازها
۱۱۸	۳-۵ توزیع ماکسولی
۱۲۱	۴-۵ مسافت آزاد میانگین
۱۲۴	۵-۵ تعیین پارامتر تابع توزیع ماکسول- بولتزمن
۱۲۷	۶-۵ انبساط گازها
۱۲۸	۱-۶-۵ قانون بویل- ماریوت
۱۳۲	۷-۵ معادله گازهای حقیقی
۱۳۳	۸-۵ مثال حل شده
۱۳۳	۹-۵ مسائل
۱۳۷	فصل ششم. قانون اول ترمودینامیک
۱۳۷	۱-۶ مقدمه
۱۳۷	۲-۶ اصل اول ترمودینامیک
۱۴۳	۳-۶ کار در فرآیندهای ایستوار
۱۴۶	۴-۶ نمودار فشار- حجم
۱۴۷	۵-۶ فرآیندهای هم-حجم
۱۴۹	۶-۶ کار ترمودینامیکی به شکل مسیر بستگی دارد
۱۵۸	۷-۶ مثال‌های حل شده
۱۶۶	۸-۶ مسائل
۱۶۹	فصل هفتم. ماشین‌های گرمایی
۱۶۹	۱-۷ قانون دوم ترمودینامیک و ماشین کارنو
۱۷۵	۲-۷ ماشین بخار
۱۸۰	۳-۷ ماشین‌های سرمایی
۱۸۸	۴-۷ مثال‌های حل شده
۱۹۴	۵-۷ مسائل حل شده
۱۹۷	فصل هشتم. آنتروپی
۱۹۷	۱-۸ مقدمه
۱۹۸	۲-۸ به سوی آنتروپی
۲۰۰	۳-۸ تغییر آنتروپی کل در مخلوط دو سیستم
۲۰۸	۴-۸ نمودارهای آنتروپی- دما
۲۱۶	۵-۸ قانون سوم ترمودینامیک
۲۱۸	۶-۸ مثال‌های حل شده
۲۲۱	۷-۸ مسائل

۲۲۳	فصل نهم. نورشناسی (هندسی)
۲۲۳	۱-۹ مقدمه
۲۲۴	۲-۹ اندازه‌گیری سرعت نور
۲۲۶	۳-۹ سرعت نور از نگاه ناظرهای متفاوت
۲۳۳	۴-۹ رفتار نور در عبور از محیط‌های متفاوت
۲۳۵	۱-۴-۹ محیط پاشنده و غیرپاشنده
۲۳۷	۲-۴-۹ اصل هویگنس
۲۳۹	۵-۹ آینه‌های کروی
۲۴۴	۶-۹ عدسی‌های نازک (محیط‌های کروی شفاف)
۲۴۶	۷-۹ مثال‌های حل شده
۲۵۱	۸-۹ مسائل

۲۵۵	فصل دهم. نورشناسی موجی (تداخل)
۲۵۵	۱-۱۰ مقدمه
۲۵۵	۲-۱۰ برهم نهی امواج
۲۵۸	۳-۱۰ آزمایش ینگ
۲۶۷	۴-۱۰ تداخل سنج‌ها
۲۶۷	۱-۴-۱۰ تداخل سنج فرنل
۲۷۰	۲-۴-۱۰ منشور دوتایی فرنل
۲۷۱	۳-۴-۱۰ آینه لویید
۲۷۲	۴-۴-۱۰ تداخل سنج مایکلسون
۲۸۲	۵-۱۰ مثال‌های حل شده
۲۸۵	۶-۱۰ مسائل

۲۸۹	فصل یازدهم نورشناسی موجی (پراش)
۲۸۹	۱-۱۱ مقدمه
۲۹۰	۲-۱۱ پراش پرتوهای نوری
۲۹۱	۳-۱۱ پراش از یک شکاف
۲۹۴	۴-۱۱ پراش فرنل و پراش فرانهوفر
۳۰۴	۵-۱۱ ترکیب تداخل و پراش
۳۰۶	۶-۱۱ توان تفکیک‌سازی دستگاه‌های روبشی
۳۱۰	۷-۱۱ مثال‌های حل شده
۳۱۸	۸-۱۱ مسائل

۳۲۱	واژگان انگلیسی به فارسی
۳۲۴	واژگان فارسی به انگلیسی

پیشگفتار

کتابی که هم اکنون پیش روی شماست کتاب فیزیک پایه ۳ است که مورد اصلاح و بازبینی مجدد قرار گرفت تا دانشجویان رشته فیزیک دانشگاه پیام نور از مطالب بهتر و بیشتر استفاده نمایند. از آنجا که برای پوشش دادن به سرفصل‌های مصوب شورای انقلاب فرهنگی در درس فیزیک پایه ۳ دانشجویان به ناچار می‌بایست از دو جلد کتاب استفاده می‌کردند و برای روان‌تر شدن مطالب به جهت سیستم خاص دانشگاه پیام نور که مبتنی بر کتاب‌محوری است تصمیم به نگارش این کتاب گرفتیم.

این کتاب که در ۱۱ فصل ارائه شده است تمام سرفصل‌های مورد نظر را در بر می‌گیرد. در تألیف این کتاب سعی کردیم در داخل هر فصل تعدادی مثال حل شده برای یادگیری راحت‌تر مطالب آورده شود. علاوه بر آن در پایان هر فصل تعدادی مسائل هم به عنوان تمرین آخر فصل آورده شده است.

اگرچه برای نگارش این کتاب تلاش شد تا در حد امکان اشکالات به حداقل برسد اما مطمئن هستیم بدون اشکال نخواهد بود. لذا ضمن پوزش از وجود چنین اشکالاتی از خوانندگان گرامی درخواست می‌کنیم تا اشکالات احتمالی را به ما گوشزد نمایند تا در اسرع وقت و در چاپ‌های بعدی مرتفع شود.

درخاتمه بر خود لازم می‌دانیم تا از همکار محترم و فرزانه جناب آقای دکتر صبوری دودران که زحمت ویراستاری کتاب را به عهده گرفتند و با رهنمودهای مفید خود موجبات رفع بسیاری از نارسایی‌های کتاب شدند خالصانه تشکر و سپاسگزاری نماییم. همچنین از سرکار خانم مرادی کارشناس محترم گروه فیزیک که با زحمت زیاد

صفحه‌آرایی و تایپ کتاب را به انجام رساندند صمیمانه سپاسگزاریم. از کلیه همکاران دایره تدوین و انتشارات دانشگاه به ویژه همکاران محترم جناب آقای اکبری و جناب آقای حمزه‌ای و سرکار خانم حیدری تشکر و قدردانی می‌نماییم. برای همه این عزیزان آرزوی سلامتی و توفیق داریم.

سید احمد بابائزاد و علی بهاری

بهمن ماه ۸۹

فصل ۱

حرکت نوسانی

۱-۱ مقدمه

ذرات جدای از حرکت‌های انتقالی و چرخشی می‌توانند بلرزند و نوساناتی هماهنگ و یا ناهماهنگ را به نمایش بگذارند. به عبارتی در مقابل نیروی محرکی که در حضور نیروهای برگرداننده اعمال می‌شود، واکنش نشان دهند. واکنش سازه‌های مهندسی در مقابل زلزله، ارتعاشات دو اتمی‌ها در دمای بالا و ارتعاش ماشین چرخان نامتعادل، پاسخ زمانی تار کوک شده آلات موسیقی از جمله نمونه‌های مطرح شده هستند.

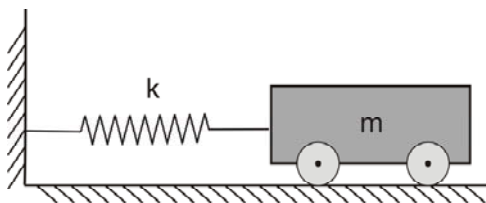
۱-۲ حرکت هماهنگ ساده

برای بررسی حرکت نوسانگر با روش نیوتن در تحلیل هر مسئله باید سامانه را با یک مدل فیزیکی نمایش داد. هر چند در اینجا بیشتر با سامانه‌های مجزا مثل سامانه جرم و فنر سروکار داریم اما سامانه‌های پیوسته‌ای هم هستند که می‌توانند به صورت پیوسته در فضا حرکت دوره‌ای یا نوسانی داشته باشند. به عنوان نمونه می‌توان به مدل فیزیکی محور پروانه کشتی اشاره کرد که غالباً میله‌ای بدون جرم ولی چرخش پذیر که در هر یک از دو سر آن دیسکی متصل است فرض می‌شود. نمونه دیگر سامانه جرم- فنر است که در بیشتر مواقع می‌توان از جرم فنر در مقابل جرم نوسان کننده صرف نظر کرد ولی در مورد سامانه‌هایی مثل تخته شیرجه ارتعاشی، پس از پرش شناگر نمی‌توان از جرم تخته چشم پوشی نمود. این نمونه‌ای از سامانه‌های پیوسته است.

اکنون مطابق شکل ۱-۱ جسمی به جرم m را در نظر بگیرید که در امتداد مسیری مستقیم (امتداد x) به جلو و عقب نوسان می‌کند. اگر مکان نقطه‌ای که در زمان $t=0$ ساکن بوده است را x_0 ، بگیریم آن‌گاه جسم متصل به فنر چنانچه از حالت تعادل خارج شود، حرکت ناشی از آن را در غیاب هرگونه نیروی خارجی، نوسان آزاد می‌نامند و بنا به قانون هوک می‌توان رابطه حاکم بر رفتار این نوسانگر را به صورت زیر نوشت:

$$F = -k(x - x_0) \quad (1-1)$$

که k ثابت فنر و یکای آن در دستگاه اندازه‌گیری متریک نیوتن بر متر (N/m) است.



شکل ۱-۱. سامانه جرم + فنر نمونه‌ای از یک سامانه نوسانگر

حال اگر نمودار نیروی F را برحسب مقدار جابه‌جایی جسم رسم کنیم به یک خط راست که شیب آن ثابت فنر را نشان می‌دهد می‌رسیم. همان‌طور که در شکل ۱-۲ مشاهده می‌کنید چنانچه نمودار تغییرات نیرو با جابه‌جایی در زیر خط مایل قرار گیرد، فنر دارای ثابت فنر ضعیف‌تری نسبت به ثابت فنر یک فنر عادی است و به آن فنر نرم می‌گویند و اگر در بالای خط مایل قرار گیرد، آن را فنر سخت می‌نامند.

در مکانیک آموختیم که نیرو مشتق دوم جابه‌جایی نسبت به زمان ضرب در جرم جسم است و چنانچه با رابطه ۱-۱ مطابقت دهیم ملاحظه می‌شود که حاصل تغییرات فوق متناسب با تغییر جابه‌جایی است و می‌دانید که توابع سینوسی - کسینوسی از جمله توابعی هستند که چنین ویژگی را دارند. بدین ترتیب می‌توان پاسخ معادله (۱-۱) یا

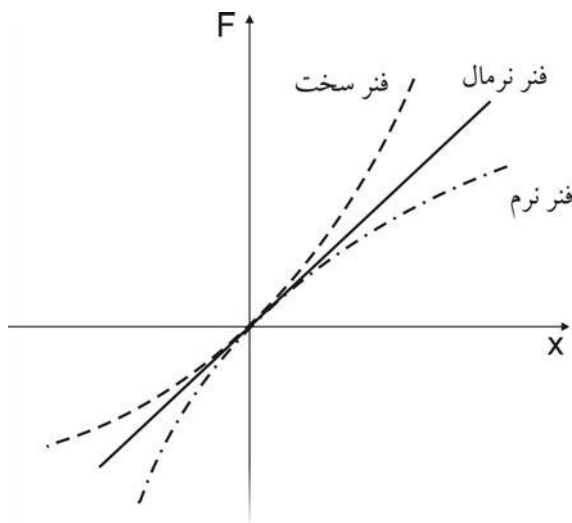
حرکت نوسانی ۳

$$F = m \ddot{x}$$

$$m \ddot{x} = -kx \quad (x_0 = 0) \quad (2-1)$$

$$\ddot{x} = -\frac{k}{m}x$$

$$\ddot{x} = -\omega^2 x \quad (3-1)$$



شکل ۲-۱. خط مستقیمی که از مبدأ می‌گذرد مطابق با قانون هوک $F = -k \Delta x$ است که رابطه‌ای خطی بین نیرو و جابه‌جایی برقرار است.

را به صورت یک تابع سینوسی نوشت:

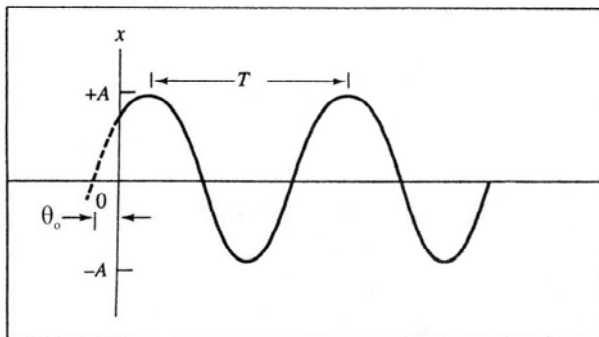
$$x = A \sin(\omega t + \theta_0) \quad (4-1)$$

کمیت‌های A ، ω و θ کمیت‌های ثابتی هستند. کمیت A دامنه حرکت نامیده می‌شود که فاصله بین نقطه تعادل اولیه ($x=0$) تا هر یک از نقاط برگشت $x=+A$ و $x=-A$ است. کمیت ω بسامد زاویه‌ای نامیده می‌شود که با بسامد حرکت جسم به صورت مستقیم وابسته است و رابطه معکوس با دوره تناوب T دارد. یعنی

$$\omega = 2\pi v = \frac{2\pi}{T} \quad (5-1)$$

یکای بسامد زاویه‌ای رادیان بر ثانیه است و یکای خود بسامد می‌تواند دور بر ثانیه یا هرتز باشد.

θ_0 را فاز اولیه حرکت و $\theta = \omega t + \theta_0$ را فاز حرکت جسم می‌گویند. نمودار یک حرکت هماهنگ ساده در امتداد محور x را در شکل ۱-۳ مشاهده می‌کنید.



شکل ۱-۳. حرکت جسمی که نوسانات هماهنگ ساده‌ای را در امتداد محور x دارد و به‌صورت یک تابع سینوسی نسبت به زمان حرکت می‌کند را در نمودار می‌بینید.

همان‌گونه که در شکل ۱-۳ می‌بینید و در رابطه ۱-۴ ملاحظه می‌کنید، حرکت جسم

یک حرکت دوره‌ای است که در هر $\frac{2\pi}{\omega}$ تکرار می‌شود.

خودآزمایی ۱

دیمانسیون (معادله ابعادی) ثابت دی‌الکتریک را به‌دست آورید.

۱-۲-۱ سرعت نوسانگر

گفتیم که A دامنه حرکت جسم است که در شکل فاصله عمودی هر نقطه بر منحنی حرکت از محور افقی زمان می‌باشد و بیشینه دامنه را بعد حرکت گویند. دامنه A را

حرکت نوسانی ۵

می‌توان برحسب بسامد طبیعی یا آزاد ω و سرعت اولیه v_0 یا $\dot{x}_0$ نیز به‌دست آورد. اگر فرض کنیم که در $t=0$ جسم از $x_0=A$ شروع به نوسان نموده است آن‌گاه با توجه به رابطه ۴-۱ می‌توان سرعت جسم را به‌صورت زیر نوشت:

$$\dot{x} = \frac{dx}{dt} = A\omega \cos(\omega t + \theta_0) \quad (۶-۱)$$

که در $t=0$ می‌توان سرعت اولیه $(\dot{x}_0)$ ، حرکت را برحسب A و ω به‌دست آورد:

$$\dot{x}_0 = A\omega \quad (۷-۱)$$

از طرفی در جایی که $x=x_0$ است جسم بیشترین سرعت و در نقاط برگشتی کم‌ترین سرعت (سرعت صفر) را دارد. بنابراین می‌توان دامنه A و نیز فاز اولیه حرکت جسم را برحسب x_0 ، ω و $\dot{x}_0$ به‌دست آورد:

$$A = \left(x_0^2 + \left(\frac{\dot{x}_0}{\omega} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (۸-۱)$$

$$\tan \theta_0 = \frac{x_0 \omega}{\dot{x}_0} \quad (۹-۱)$$

فراموش نشود که موارد بحث شده در بالا را می‌توان در حرکت نوسانی جسم در امتداد قائم نیز نوشت. یعنی تصور نشود که وجود نیروی گرانش بر جسم یا همان نیروی وزن mg بر شکل روابط به‌دست آمده تأثیر می‌گذارد. به دلیل آن که نیروی وزن با نیروی ایستایی $k\delta$ فنر جبران می‌شود و این افزایش طول را می‌توان به‌صورت نقطه‌ای شروع حرکت نوسانی جسم در نظر گرفت. برای آن که بهتر منظور از عبارت بالا را دنبال کنیم به شکل ۴-۱ توجه نمایید.

بنابراین می‌توان رابطه ایستایی حرکت را با برقرار کردن نیروی وزن جسم با افزایش طول فنر به‌دست آورد که از لحاظ بزرگی می‌توان نوشت:

$$mg = k\delta \quad (۱۰-۱)$$

و از آنجا به بعد، جسم حرکتی نوسانی دارد که از قانون هوک پیروی می‌کند یعنی

$$F = -k \Delta y = -k \delta \quad (۱۱-۱)$$

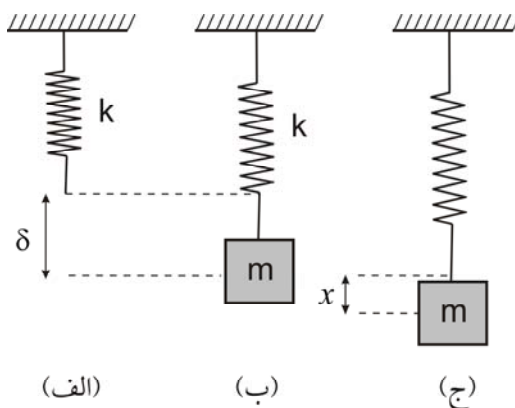
رابطه (۱۱-۱) به وضوح نشان می‌دهد که جسم در غیاب هرگونه نیروی اتلافی محیط می‌تواند حرکت نوسانی هماهنگ ساده را داشته باشد و اهمیتی ندارد که امتداد حرکت جسم را افقی (محور x) و یا عمودی (محور y) در نظر بگیریم.

خودآزمایی ۲

اعتبار قانون هوک در فنر شکل ۴-۱ را بررسی کنید.

۲-۲-۱ شتاب حرکت نوسانگر

پیشتر به شتاب حرکت نوسانگر اشاره شد و آن را به صورت مشتق دوم جابه‌جایی نسبت به زمان بیان کردیم. می‌توان آن را به زبان ریاضی به صورت زیر نوشت:



شکل ۴-۱. (الف) فنری با ثابت فنر k از نقطه‌ای آویزان شده است. (ب) جرم m طول فنر را به اندازه $k\delta$ تغییر داده است که $mg = k\delta$. (ج) نقطه شروع حرکت را از مکانی که جسم شروع به نوسان می‌کند اختیار می‌کنیم که رابطه $F = -k\delta$ برقرار می‌باشد.

$$\ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2} \quad (۱۲-۱)$$

دوباره تأکید می‌کنیم که نوسانگر هماهنگ ساده به سامانه‌ای مثل سامانه ساده جرم + فنر گفته می‌شود که در آن از جرم فنر صرف‌نظر می‌شود. از نیروی گرانش و نیز نیروی اصطکاک چشم‌پوشی می‌شود و تنها نیرویی که بر جسم m کنش دارد نیروی فنر می‌باشد. یعنی اگر جسم در حالت نامتعادل به سر برد نیروی بازگرداننده فنر بر آن وارد و جسم را وادار می‌کند تا به سوی وضعیت تعادل برگردد. اما لختی در حرکت جسم باعث می‌شود در وضعیت تعادل توقف نکند و از آن خارج شود و این حرکت رفت و برگشت یا عقب – جلو را تکرار می‌کند و در غیاب اصطکاک، برای همیشه در نوسان به سر می‌برد.

لازم به ذکر است که جسم m می‌تواند به صورت مجموعه‌ای از جرم‌های قفل یا چفت شده به هم باشد. به عنوان نمونه می‌توان مجموع جرم دو نفری که میله عمودی متصل به فنر را می‌گیرند و همانند کانگورو با هم به بالا و پایین پرش می‌کنند را به صورت جرم m در نظر گرفت.

حال اگر بتوان رفتار نوسانی جسم را تنها با یک متغیر جابه‌جایی x (در امتداد افق) و یا y (در امتداد عمود) بیان کرد آن‌گاه جابه‌جایی x (یا y) را درجه آزادی سامانه نوسانگر هماهنگ ساده جرم + فنر می‌نامند. به عبارتی حرکت جسم را می‌توان تنها با یک درجه آزادی تشریح کرد. بنابراین به تعداد مختصه‌های مستقل از هم (در اینجا یک مختصه مستقل جابه‌جایی) که برای تشریح حرکت جسم نوسانگر لازم است درجه آزادی جسم گویند. بدین ترتیب می‌توان شتاب حرکت جسم را با توجه به رابطه‌های (۴-۱) و (۱۲-۱) به دست آورد:

$$\ddot{x} = -A\omega^2 \sin(\omega t + \theta_0) \quad (۱۳-۱)$$

و یا

$$\ddot{x} = -\omega^2 x \quad (۱۴-۱)$$

که نشان می‌دهد جهت شتاب در خلاف جهت جابه‌جایی نوسانگر است.

۳-۱ بررسی حرکت نوسانگر با روش انرژی

تا اینجا با استفاده از نیروی وارد بر جسم به بررسی حرکت جسم نوسانگر پرداخته شد، اما نیرو یک کمیت برداری است و در حل مسائل مربوط به آن جدای از بزرگی آن می‌بایست همواره جهت آن را نیز مدنظر قرار داد در عوض انرژی کمیتی نرده‌ای است و با توجه به پایداری انرژی می‌توان معادله حرکت جسم که همان رابطه (۲-۱) است را به‌دست آورد.

انرژی کل جسم نوسانگر را می‌توان برابر مجموع انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل جسم دانست. انرژی جنبشی جرم m از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$E_K = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 \quad (15-1)$$

با استفاده از رابطه سرعت ۱-۶ داریم:

$$E_K = \frac{1}{2} m A^2 \omega^2 \cos^2(\omega t + \theta) \quad (16-1)$$

می‌دانیم که انرژی پتانسیل را می‌توان از نیروی اعمالی بر جسم به‌دست آورد زیرا می‌دانیم:

$$F = -\frac{dV}{dx} \quad (17-1)$$

و یا

$$V = -\int F(x) dx \quad (18-1)$$

که در نتیجه با استفاده از (۱-۱) با $X=0$ می‌توان انرژی پتانسیل ذخیره شده در سامانه ($V = E_p$) را به‌صورت زیر نوشت:

$$E_p = \frac{1}{2} k x^2 \quad (19-1)$$

برای جسم نوسانگر m رابطه (۱۹-۱) را با استفاده از رابطه (۴-۱) به‌صورت زیر در می‌آوریم:

$$E_P = \frac{1}{2} k A^2 \sin^2(\omega t + \theta_0) \quad (20-1)$$

بدین ترتیب می‌توان انرژی کل E_t جسم را که مجموع انرژی جنبشی E_K در رابطه (۱۶-۱) و انرژی پتانسیل E_P در رابطه (۲۰-۱) است نوشت:

$$E_t = E_K + E_P \quad (21-1)$$

آن‌گاه

$$E_t = \frac{1}{2} A^2 \left[m \omega^2 \cos^2(\omega t + \theta_0) + k \sin^2(\omega t + \theta_0) \right]$$

با توجه به $\omega = (k/m)^{1/2}$ می‌توان E_t را به صورت زیر خلاصه کرد:

$$E_t = \frac{1}{2} k A^2 \quad (22-1)$$

این معادله بیان می‌دارد که انرژی با مجذور دامنه حرکت متناسب است.

خودآزمایی ۳

اگر ثابت کشسانی فنر را بجای یک فنر نرمال، فنر نرم و یا سخت در نظر بگیریم، چه رابطه‌ای بین انرژی و دامنه حرکت پیش‌بینی می‌کنید؟

همان‌گونه که اشاره شد می‌توان معادله حرکت جسم را از انرژی حرکت جسم استخراج کرد. برای این هدف فرض می‌کنیم که انرژی کل نوسانگر ثابت است که البته بیانی از اصل پایستگی انرژی می‌باشد و پس از آن برحسب x رابطه انرژی را بازنویسی می‌کنیم. به عبارتی:

$$E_t = \text{const} \quad (23-1)$$

$$E_t = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 + \frac{1}{2} k x^2$$

چون انرژی E_t ثابت است بنابراین مشتق زمانی آن باید صفر باشد یعنی:

$$\frac{de}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m \dot{x}^2 + \frac{1}{2} k x^2 \right) = \frac{d}{dt} (cont) = 0 \quad (24-1)$$

با مشتق‌گیری از رابطه (۲۴-۱) خواهیم داشت:

$$m\ddot{x} + kx\dot{x} = 0$$

و یا

$$\dot{x}(m\ddot{x} + kx) = 0$$

و چون $\dot{x} \neq 0$ است در نتیجه

$$m\ddot{x} + kx = 0 \quad (25-1)$$

که همان معادله حرکت نوسانگر است.

بنابراین می‌توان با استفاده از انرژی، معادله حرکت جسم را به دست آورد و رفتار سامانه نوسانی را مورد مطالعه و بررسی قرار داد. نکته دیگری که وجود دارد به رابطه بین انرژی و مربع دامنه حرکت جسم بر می‌گردد که در رابطه ۲۲-۱ آمده است و آن هم به تعیین A بر حسب انرژی E بر می‌گردد:

$$A = \sqrt{\frac{2E_t}{k}} \quad (26-1)$$

توجه دارید که رابطه بین انرژی پتانسیل و جابه‌جایی یک رابطه خطی نیست و انرژی پتانسیل با مربع جابه‌جایی متناسب است و این شکل سهمی را مطابق شکل ۵-۱ می‌دهد.

گفته شد که در نقاط برگشت که با بیشینه x در شکل ۵-۱ نشان داده شده است سرعت جسم به صفر می‌رسد که با توجه به رابطه (۱۵-۱) می‌توان نتیجه گرفت که انرژی جنبشی جسم در این نقاط صفر است و در عوض بیشینه مقدار انرژی جنبشی جسم در $x=0$ است، جایی که جسم کمینه انرژی پتانسیل را دارا است. بنابراین