فیزیک چیزهای روزمره

فیزیک چیزهای روزمره

علم خارق‌العاده در پسِ یک روز عادی

جیمز کاکالیوس

ترجمه‌ی **واروژان هارطون**

انتشارات مازیار

فهرست مطالب

۱. روزتان را شروع می کنید ۷

۲. در شهر رانندگی می کنید ۲۷

۳. به دکتر می‌روید ۴۵

۴. به فرودگاه می‌روید ۶۶

۵. پرواز می کنید ۸۴

۶. در جلسه کاری شرکت می کنید ۱۰۱

۷. به هتل می‌روید ۱۲۴

۱

روزتان را شروع می‌کنید

صبح زود است، و شما هنوز در بستر خود خوابیده‌اید. تنفس آرام و منظم شما، به همراه ضربان نبض مداوم، گذر زمان را نشان می‌دهد و شما را به لحظه‌ای که باید بیدار شوید و روزتان را شروع کنید، نزدیک و نزدیک‌تر می‌سازد. امروز، روز پرمشغله‌ای خواهد بود، نخست نوبت دکتر دارید، سپس باید برای یک جلسه‌ی کاری به شهری دیگر پرواز کنید. ساعت قدیمی روی دیوار، که یادگار مادربزرگ‌تان است، تیک تاک آرام‌بخشی دارد و آونگ آویخته از آن به‌طور منظم به جلو و عقب تاب می‌خورد. با آن‌که این ساعت، وقت را به‌خوبی نشان می‌دهد، ولی شما برای بیدار شدن به آلارم گوشی هوشمند خود متکی هستید. اما نخستین حس از حواس شما که شروع روزتان را ثبت می‌کند، شنوایی شما نیست، بلکه حس بویایی شماست.

فیزیک باشکوه نوسان آونگ در پسِ کارکرد چه ساعت روی دیوار و چه زمان‌سنج الکترونیکی قهوه‌ساز شما قرار دارد و نقشی حیاتی در بسیاری از ابزارهایی که جهت آماده شدن برای روز استفاده می‌کنید، ایفا می‌کند.

آونگ، وسیله‌ای بسیار ساده است که از یک ریسمان که یک سر آن به تکیه‌گاهی ثابت شده و وزنه‌ای به سر دیگر آن متصل شده، تشکیل شده است. نوسان وزنه‌ی آونگ، تأییدی بصری بر یکی از مهم‌ترین مفاهیم فیزیکی به‌نام اصل پایستگی انرژی است: «انرژی جنبشی»، یعنی انرژی حرکت، تنها می‌تواند به «انرژی پتانسیل» (انرژی مربوط به نیرویی که بر جسمی اثر می‌کند و فاصله‌ای که آن نیرو می‌تواند باعث حرکت شود) تبدیل شود و برعکس. در آونگ، شما می‌توانید انرژی پتانسیل وزنه را با افزایش ارتفاع آن در حالی که ریسمان کشیده است، و انجام کار در مقابل گرانش که وزنه را به پایین می‌کشد،

افزایش دهید. زمانی که وزنه را رها می‌کنید، انرژی پتانسیل آن با حرکت در مسیری نیم‌دایره‌ای شکل، به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود. با حرکت وزنه به سوی دیگر، انرژی جنبشی دوباره به انرژی پتانسیل تبدیل می‌شود. ارتفاع آغاز و پایان حرکت در سوی دیگر با هم برابر است ــ اگر وزنه را رها کنید و آن را هل ندهید، هیچ‌گاه نمی‌تواند به ارتفاعی بیش از ارتفاع آغازین خود برسد.

آونگ برای زمان‌سنجی بسیار مفید است. زمان لازم برای کامل کردن یک چرخه توسط وزنه به جلو و عقب، به وزن وزنه، یا ارتفاع آغازین آن بستگی ندارد (حداقل برای نوسان‌های نسبتاً کوچک به جلو و عقب). هرچه ارتفاع آغازین وزنه بیشتر باشد، طول کمانی که به جلو و عقب نوسان می‌کند بیشتر بوده و انرژی جنبشی و سرعت در پایین کمان بیشتر خواهد بود. مسافت بیشتر و سرعت بیشتر دقیقاً یکدیگر را بی‌اثر می‌کنند و در نتیجه زمان تکمیل یک چرخه، با تغییر ارتفاع آغازین وزنه تغییر نمی‌کند. تنها چیزی که بر طول مدت چرخه اثر می‌گذارد، طول ریسمان است. آونگی که طول ریسمان آن کمی کمتر از ۲۵ سانتی‌متر است، برای یک نوسان کامل به یک ثانیه زمان نیاز دارد. با حرکت آونگ، مقداری از انرژی جنبشی وزنه به هوای اطراف منتقل شده و صرف کنار زدن مولکول‌های هوا از سر راه وزنه می‌شود. بررسی دقیق نشان می‌دهد که مقدار افزایش انرژی جنبشی هوا، دقیقاً برابر با کاهش انرژی کل آونگ است. دلیل آن‌که ساعت‌های مکانیکی پدربزرگ‌های ما نیاز به کوک دوره‌ای دارند، همین است.

همین مسئله در مورد زمان‌سنج دیجیتال قهوه‌ساز نیز صادق است. برای زمان‌سنجی، نیاز به یک منبع قدرت (هر چیزی، حتی شمارش ثانیه‌ها نیاز به منبع انرژی دارد) و راهی برای تبدیل این انرژی به چرخه‌های متغیر دوره‌ای است. سیم برق قهوه‌ساز به یک پریز متصل است که آن هم به شبکه‌ی برق وصل است. خوش‌بختانه، سازوکار تولید برق در نیروگاه‌ها، نوعی جریان الکتریکی تولید می‌کند که مانند آونگ به جلو و عقب نوسان دارد و از آن می‌توان برای ساخت زمان‌سنج استفاده کرد.

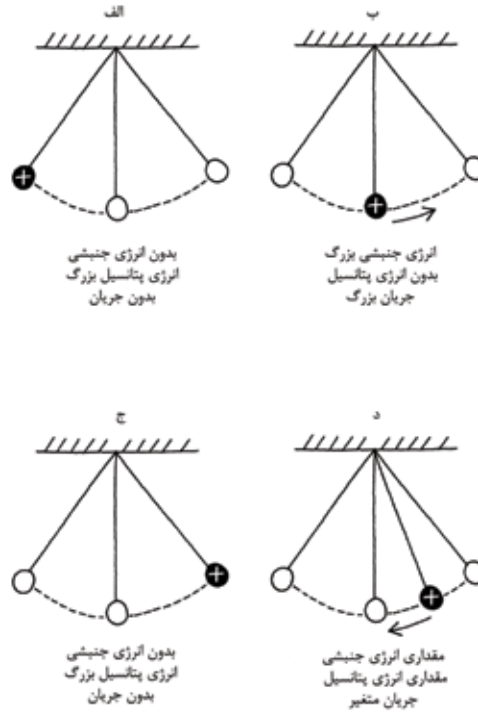
در نیروگاه‌های برق، پیچه‌های سیمی میان قطب‌های آهنرباهای بزرگ چرخانده می‌شوند و برای آن‌که ببینیم این کار چگونه جریان الکتریسیته متغیر تولید می‌کند، باید به آونگ نوسان‌کننده مکانیکی بازگردیم. فرض کنید وزنه‌ی انتهای ریسمان،

مقداری بار الکتریکی دارد که حاصل از تعدادی الکترون اضافه است. حتی اگر نقطه‌ی تکیه‌گاه این آونگ بدون اصطکاک باشد و آونگ در خلاء کامل و در فقدان مقاومت هوا نوسان کند، نهایتاً آهسته شده و متوقف می‌شود. انرژی وزنه کجا می‌رود؟ به امواج الکترومغناطیس تبدیل می‌شود که نشان‌دهنده‌ی تقارنی ژرف میان میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی است که سراسر روز از آن استفاده می‌شود.

«جریان الکتریکی» به‌عنوان حرکت جمعی ذرات باردار الکتریکی تعریف می‌شود، و از آنجایی که وزنه‌ی باردار الکتریکی به جلو و عقب نوسان می‌کند و سرعتش تغییر می‌کند، پس در واقع شبیه به یک جریانی است که دائماً تغییر می‌کند. این جریان در پایین مسیر کمانی شکل، زمانی که وزنه بیشترین سرعت را دارد، بزرگ‌ترین مقدار را دارد و در بالای کمان که وزنه موقتاً متوقف می‌شود، برابر صفر است. بارهای الکتریکی متحرک در یک جریان، میدان مغناطیسی تولید می‌کنند (که به آن قانون آمپر گفته می‌شود) ؛ هرچه بارها سریع‌تر حرکت کنند، میدان مغناطیسی بزرگ‌تری تولید می‌شود. وزنه نوسان‌گر یک جریان متغیر و همچنین یک میدان مغناطیسی متغیر تولید می‌کند. این میدان‌های مغناطیسی متغیر، خود یک میدان الکتریکی متغیر تولید می‌کند (قانون فارادی). این نوسان ریتمیک میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی به‌نام یک «موج الکترومغناطیسی» شناخته می‌شود، که بسامد آن برابر بسامد نوسان وزنه است. این امواج، انرژی حمل می‌کنند، پس برای تولید آن‌ها نیاز به انرژی است. علت متوقف شدن نوسان یک آونگ با وزنه‌ی باردار الکتریکی همین است، زیرا انرژی حرکتی آن به امواج الکترومغناطیسی تبدیل می‌شود. اگر این آونگ بسیار سریع نوسان می‌کرد (مثلا هزار تریلیون بار در ثانیه) می‌توانستیم امواج الکترومغناطیسی را با چشم غیرمسلح ببینیم، زیرا این امواج به شکل نور مرئی ظاهر می‌شدند.

نیروگاه برق با استفاده از فیزیک پایه الکترومغناطیس و چرخاندن پیچه‌ها میان قطب‌های یک آهنربا، ولتاژ موجود در پریز برق را تولید می‌کند. ولتاژ تولید شده توسط نیروگاه برق به‌نرمی از مقدار مثبت به مقدار منفی و دوباره برعکس تغییر می‌کند و موجی را تشکیل می‌دهد که از لحاظ ریاضی یکسان با تغییرات مکان یک آونگ نوسان‌گر است و پی‌آمد طبیعی نحوه‌ی تولید الکتریسیته می‌باشد. (علت نام‌گذاری برق ما به‌عنوان AC یا جریان متناوب

(alternating current) همین است.) نیروگاه برق از قانون فارادی که می‌گوید چگونه یک میدان مغناطیسی متغیر، ولتاژ تولید می‌کند، برای تولید برق استفاده می‌کند. با چرخش پیچه، مقدار میدان مغناطیسی گذر کننده از درون منطقه‌ی دایره‌ای‌شکل پیچه تغییر می‌کند و ولتاژی به وجود می‌آید که باعث ایجاد یک جریان در پیچه می‌شود.[۱] پیچه را مثل یک قرقره نخ بسیار بزرگ درنظر بگیرید. زمانی که سطح پیچه به سمت قطب‌های آهنربا قرار دارد، بیشتر میدان مغناطیسی از درون آن عبور می‌کند (در طول قرقره)، اما با چرخش نود درجه‌ای پیچه، میدان زیادی از سطح پیچه عبور نمی‌کند. چرخش پیچه با سرعت یکنواخت، ولتاژی متغیر نتیجه می‌دهد که به نرمی تغییر می‌کند و دقیقاً شبیه به حرکت آونگ به جلو و عقب تاب می‌خورد. در نیروگاه‌های ایالات متحده پیچه در هر ثانیه شصت دور می‌چرخد که برابر بسامد ولتاژ متناوب تولید شده است.



شکل ۱

این حقیقت که ولتاژ پریز برق به نرمی شصت بار در ثانیه به جلو و عقب تغییر می‌کند، بدان معناست که یک چرخه‌ی کامل آن تنها ۰/۰۱۶۷ ثانیه طول می‌کشد. برای آن‌که این دوره به یک ثانیه افزایش یابد، قهوه‌ساز از تراشه‌های خاصی استفاده می‌کند که بسامد ولتاژ متناوب را تغییر می‌دهند.[۲] یک تراشه، بسامد ورودی را به ده تقسیم می‌کند، پس موج ولتاژ که شصت بار در ثانیه نوسان می‌کرد، حال شش بار در ثانیه نوسان می‌کند. تراشه‌ی دیگر این بسامد را بار دیگر به شش تقسیم می‌کند، پس بسامد شش چرخه در ثانیه، به یک چرخه در ثانیه تقلیل می‌یابد. این موج ولتاژ کندتر، به تراشه‌ای دیگر ارسال می‌شود که تعداد دفعاتی که ولتاژ به حداکثر مقدار مثبت خود می‌رسد را می‌شمارد (این معادل شمارش تعداد دفعاتی است که آونگ به موقعیت آغازین خود بازمی‌گردد).

تراشه «شمارش‌گر» گذر ثانیه‌ها را زیرنظر می‌گیرد، و با اندکی مدارات الکترونیکی دیگر، این اطلاعات را می‌توان بر روی ساعت دیجیتال قهوه‌ساز نشان داد. زمانی که زمان‌سنج قهوه‌ساز را تنظیم می‌کنید، در واقع به یک تراشه دستور می‌دهید که این تراشه‌ی شمارش‌گر را زیرنظر بگیرد، و زمانی که شمارش به مقدار خاصی رسید (یعنی زمانی که برای روشن شدن قهوه‌ساز تعیین کرده‌اید)، ولتاژ دیگری را به بخش دیگری از سامانه‌ی الکترونیکی ارسال می‌کند. این ولتاژ معادل ولتاژی است که با فشردن دستی کلید «روشن» دستگاه تولید می‌شود و فرایند دم کردن قهوه آغاز می‌گردد.

سامانه‌ی اندازه‌گیری زمان، با متصل کردن قهوه‌ساز به پریز برق و تنظیم زمان درست، آغاز می‌شود. اگر قهوه‌ساز را از برق جدا کنید، این تنظیمات از دست می‌رود. اما چگونه زمان‌سنج الکترونیکی، زمانی که قهوه‌ساز به پریز برق وصل نیست، بازهم کار می‌کند؟

بخارات قهوه در اتاق می‌پیچد و مغز شما که هنوز کاملاً بیدار نشده، آن را تشخیص می‌دهد. علاوه بر آن‌که دیشب زمان‌سنج قهوه ساز را به‌کار انداخته‌اید، آلارم گوشی هوشمندتان را هم تنظیم کرده‌اید. آلارم به صدا درمی‌آید و نغمه‌ای که از قبل در تراشه‌ی حافظه گوشی ذخیره شده است را می‌نوازد. غرغرکنان ساعت را نگاه می‌کنید زیرا زودتر از زمان معمول بیدارشدنتان است. وسوسه

می‌شوید گزینه‌ی *SNOOZE* را لمس کنید. اما از آن‌جایی که رایحه‌ی قهوه به مشام شما رسیده است، متوجه کیف‌تان می‌شوید که از شب قبل آن را آماده کرده‌اید و در گوشه‌ی اتاق خواب‌تان گذاشته‌اید. کیف یادآور می‌شود که روز دور و درازی در پیش رو دارید، در نتیجه به‌زور از تخت‌خواب خارج می‌شوید. روی پا می‌ایستید و با انداختن وزن‌تان روی پای چپ، اندکی خم به ابرو می‌آورید. خوب است که امروز آن را نشان دکتر دهید.

مسئله‌ی حفظ زمان در وسیله‌ای که به برق متصل نیست، چیز جدیدی نیست، درواقع داستان آن به قبل از اختراع برق می‌رسد. ساعت‌های شماته‌دار قدیمی از مجموعه‌ای از فنرها استفاده می‌کردند، و زمانی که عقربه‌های ساعت به حالت تعیین شده‌ای درمی‌آمدند، اهرمی حرکت می‌کرد و فنر فشرده‌شده‌ی دیگری را آزاد می‌کرد. این فنر، یک ضربه‌زن را میان دو پوسته‌ی فلزی به نوسان درمی‌آورد و صدای گوش‌خراشی تولید می‌شد که حتی می‌توانست مرده را هم بیدار کند. آلارم گوشی هوشمند شما کوچک‌تر است و صدای بیدارباش آن نیز لطیف‌تر. اما اصول کارکرد آن تقریباً یکسان است.

در گوشی هوشمند شما از چیزی به‌نام بلور پیزوالکتریک به جای فنرهای مکانیکی ساعت‌های شماته‌دار استفاده شده است. بیایید نخست نگاهی به فنرهای ساده بیندازیم و سپس به بلورهای پیزوالکتریک بپردازیم.

از فنرها می‌توان به‌عنوان زمان‌سنج‌های خوبی استفاده کرد. فنرها در برابر کشیده یا فشرده شدن مقاومت می‌کنند، و با اعمال نیرویی که با تغییر طول آن‌ها مقابله می‌کند، واکنش نشان می‌دهند. هرچه فنر بیشتر کشیده یا فشرده شود، این نیروی مخالف بیشتر می‌شود. فنری را از سقف آویزان کرده و به انتهای آن یک وزنه وصل کنید. فنر به پایین کشیده می‌شود، درحالی که نیرویی رو به بالا وارد می‌کند و با کشیده شدن مقابله کرده و توازنی با کشش گرانشی رو به پایین وزنه برقرار می‌کند. اگر وزنه را کمی به پایین بکشید و رها کنید، نیروی رو به بالای فنر بیشتر از نیروی وزنِ رو به پایین می‌شود و وزنه به بالا حرکت می‌کند و از موقعیت اصلی خود نیز عبور می‌کند. با عبور وزنه از موقعیت اصلی، فنر فشرده می‌شود و با نیرویی رو به پایین نسبت به فشرده شدن واکنش نشان می‌دهد و

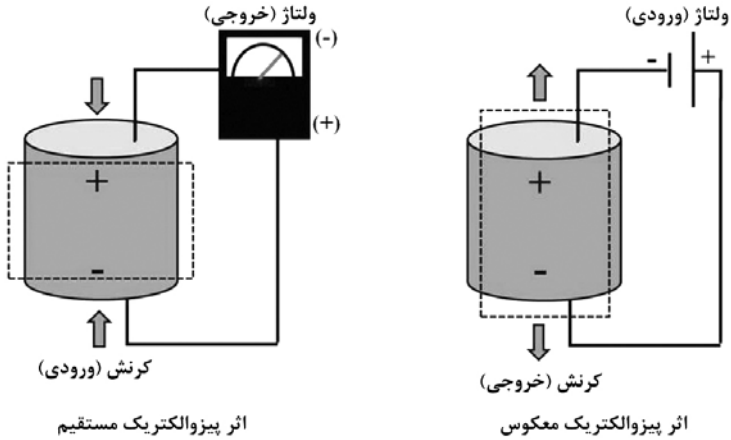
وزنه را به‌سوی موقعیت آغازین خود هُل می‌دهد. وزنه متناوباً به بالا و پایین حرکت می‌کند و این حرکت هیچ تفاوتی با حرکت آونگ و ولتاژ متناوب برق ندارد. بسامد طبیعی نوسان فنر (تعداد چرخه‌های بالا ـ پایین آن در ثانیه) با سفتی آن و همچنین مقدار وزنی که از آن آویزان است تعیین می‌شود.

منشأ نیرو در فنری که در مقابل کشیده یا فشرده شدن مقاومت می‌کند با بلور پیزوالکتریک در گوشی هوشمند شما یکسان است ــ الکتریسیته. اتم‌ها در همه‌ی جامدات با نیروهای الکتریکی در موقعیتی خاص در کنار یکدیگر باقی می‌مانند. اگر دو اتم مجاور در یک جامد زیاد به یکدیگر نزدیک شوند، نیروی دافعه‌ی میان الکترون‌های این دو اتم، آن‌ها را از هم دور می‌کند. اتم‌ها را در بلور مانند توپ‌هایی فرض کنید. بیایید پیوند شیمیایی که اتم‌ها را در کنار یکدیگر نگاه می‌دارد را همانند فنرهایی متصل در هرطرف اتم درنظر بگیریم. اگر اتمی را از موقعیت طبیعی خود در جامد دور کنیم، الکترون‌های آن به الکترون‌های اتم‌های یک‌طرف نزدیک، و از الکترون‌های اتم‌های طرف دیگر دور می‌شوند. این امر موجب ایجاد یک نیروی نامتعادل می‌شود که اتم را به موقعیت تعادلی خود می‌کشاند. با بازگشت اتم به مکان طبیعی خود در بلور، این نیرو کاهش می‌یابد اما چون اتم انرژی جنبشی دارد، از این موقعیت عبور کرده و به اتم‌های مجاور در طرف دیگر نزدیک می‌شود. این اتم حول موقعیت ترجیحی خود در بلور نوسان می‌کند و دامنه‌ی این نوسان به دمای جامد، و بسامد آن به جرم اتم و سفتی پیوندهای شیمیایی که اتم را در جای خود نگاه می‌دارند بستگی دارد. این ارتعاش اتم‌ها، در همه‌ی جامدات، ازجمله این کتاب، یا صندلی که روی آن نشسته‌اید و حتی بدن شما وجود دارد.

زمان‌سنج‌های الکترونیکی مانند یک ساعت مچی دیجیتالی و گوشی هوشمند، از یک نوسان‌گر خاص استفاده می‌کنند که بسیار دقیق‌تر از فنر عمل می‌کند ــ بلور کوارتز.

کوارتز جامدی است که از واحدهای مولکولی دی‌اکسید سیلیسیم، یعنی ترکیب شیمیایی شن، ساخته شده است. بلورهای کوارتز ویژگی خاصی دارند. زمانی که این بلور در یک جهت فشرده می‌شود، بارهای الکتریکی واحدهای مولکولی به‌خط می‌شوند و یک میدان الکتریکی خالص در طول جامد به وجود

می‌آورند. به این نوع ماده، پیزوالکتریک گفته می‌شود. پیزو در زبان یونانی به معنای «فشردن» می‌باشد و ماده‌ی پیزوالکتریک جامدی است که زمانی که فشرده می‌شود، ولتاژ تولید می‌کند. در برخی مواد و ساختارهای بلوری خاص، زمانی که دو سطح جامد باهم فشرده می‌شود، همه‌ی اتم‌ها به‌گونه‌ی درستی با یکدیگر اتصال برقرار می‌کنند و یک میدان الکتریکی خالص و بزرگ به وجود می‌آورند.



برای استفاده از بلور پیزوالکتریک به‌عنوان زمان‌سنج، این فرایند را به‌طور معکوس انجام می‌دهیم. بدین ترتیب که ولتاژی به جامد اعمال می‌کنیم و در نتیجه سطوح بلور فشرده می‌شود، درست مثل این‌که یک نیروی خارجی به‌آن وارد شده باشد. اگر ولتاژ قطع شود، بلور منبسط می‌شود و با بسامد طبیعی خود شروع به نوسان می‌کند. بسامد این نوسان به اندازه و شکل بلور بستگی دارد و می‌تواند از چند هزار تا چند صد میلیون چرخه در ثانیه برسد. در اثر نوسان بلور کوارتز، ولتاژی با همین بسامد طبیعی تولید می‌شود که از آن می‌توان برای حفظ ارتعاش بلور استفاده کرد. تراشه‌های رایانه‌ای، مانند زمان‌سنج‌های دیجیتالی، بسامد بالای بلور کوارتز را به یک چرخه در ثانیه تقلیل می‌دهند. وقتی که زمان تعیین شده فرامی‌رسد، یک سیگنال ولتاژ به تراشه‌ای دیگر ارسال می‌شود. این تراشه‌ی دوم در قهوه‌ساز، فرایند دم کردن قهوه را آغاز می‌کند و همچنین در گوشی شما پخش آهنگ از پیش تعیین شده‌ای را موجب می‌شود.

زمان‌سنجی، فارغ از آلارم ساعت، اهمیت زیادی برای گوشی‌های هوشمند

دارد. هر دستورالعملی که توسط رایانه اجرا می‌شود (گوشی‌های هوشمند نیز یک رایانه کوچک هستند)، عملیاتی هستند که در آن زمان دخیل است. فرایند همانند قطعه‌ای از موسیقی آغاز و پایان دارد. به‌علاوه ــ باز هم شبیه به قطعه‌ی موسیقی ــ برای کسب نتیجه‌ی مطلوب، نُت‌ها باید در توالی مناسب و در زمانی مناسب نواخته شوند. برای آن‌که یک سمفونی نتیجه‌ی درستی حاصل دهد، نوازندگان باید رهبر ارکستر چیره‌دستی داشته باشند که ضرب‌آهنگ را مشخص می‌کند و مثلاً تعیین می‌کند که ساز هورن (horn) در موومان چهارم نباید بنوازد درحالی که سازهای زهی باید برجسته‌تر ظاهر شوند. در رایانه که شامل میلیون‌ها ترانزیستور، عناصر منطقی، و سلول‌های حافظه است که همگی باید در توالی درست عمل کنند، «رهبر ارکستر» تراشه‌ای به‌نام واحد پردازش مرکزی یا CPU است. CPU با استفاده از یک بلور نوسان‌گر، ضرب‌آهنگ را حفظ می‌کند ــ که در این مورد بسیار سریع است ــ تا هماهنگی میان اجزاء را در زمانی کمتر از یک نانوثانیه ایجاد کند.

پس از آن‌که حال‌تان جا آمد، گوشی هوشمندتان را از کنار تخت‌خواب برداشته و به‌سوی آشپزخانه می‌روید. مقداری نان و کره از یخچال درمی‌آورید و روی کانتر می‌گذارید تا کمی گرم شوند. در گوشی خود به دنبال پادکَستی که دانلود کرده‌اید می‌گردید و در حالی که به آن گوش می‌دهید آماده می‌شوید. این پادکست درباره‌ی ویولون‌سازهای معروف هم‌دوره‌ی استرادیواریوس است. در میان ارائه‌ی زندگی‌نامه‌ی این هنرمندان، نمونه‌هایی از قطعات موسیقی کلاسیک که با سازهای فوق‌العاده‌ی آن‌ها نواخته شده، پخش می‌شود. برای آن‌که این قطعات کوچک موسیقی را بهتر بشنوید، گوشی خود را به یک جفت بلندگوی کوچک اما باکیفیت روی کانتر آشپزخانه وصل می‌کنید.

گوشی شما برای پخش پادکست یا هر فایل صوتی ذخیره شده در حافظه‌ی خود، باید یک کد عددی را به امواج صوتی، که تغییرات در چگالی (و از این‌رو فشار) هوا هستند، تبدیل کند. ذخیره‌سازی موسیقی به قبل از دوران الکترونیک بازمی‌گردد. در آن زمان جعبه‌های موسیقی کوکی قطعات کوچکی از موسیقی تک‌صدا را پخش می‌کردند، همچنین پیانوهای خودکار می‌توانستند

یک آهنگ کامل را بنوازند. روش ذخیره‌سازی اطلاعات توسط این دستگاه‌ها بسیار متفاوت از امروز بود، اما وجه مشترک میان جعبه‌ی موسیقی، پیانوی خودکار و گوشی هوشمند آن است که برای شنیده شدن صدا باید ارتعاشاتی در هوا تولید شود.

پخش‌کننده‌های MP3 [۳] از دستورهای دیجیتالی شبیه به سوراخ‌های روی غلتک پیانوهای خودکار بهره می‌برند. پیانوهای خودکار دارای سازوکاری داخلی هستند که مستقلاً کلیدی که باید فشرده شود را از طریق غلتکی از کاغذ که سوراخ‌هایی هوشمندانه روی آن ایجاد شده، مشخص می‌کند. مکان این سوراخ‌ها و فواصل آن‌ها از یکدیگر بر روی این کاغذ طویل، کُدی را دربر دارند که زمانی که توسط سازوکار پیانو تفسیر می‌شود، آهنگ خاصی نواخته می‌شود. اطلاعات دیجیتالی ذخیره شده در گوشی هوشمند شما نیز اساساً یک کد هستند که اگر به‌درستی خوانده شوند، الگویی از ولتاژها تولید می‌کنند. زمانی که این ولتاژها به بلندگوها فرستاده می‌شوند، به امواج صوتی با تُن موسیقایی خاصی تبدیل می‌شوند. داخل بلندگو یک غشاء (یک ورقه پلاستیکی بسیار نازک) وجود دارد که می‌تواند ارتعاش کند. بسته به بسامد و دامنه‌ی ارتعاش این غشاء، امواج فشاری در هوا تولید می‌شوند و همین امواج هستند که ما آن‌ها را می‌شنویم.

چگونه ولتاژهای الکتریکی به ارتعاشات مکانیکی غشاء تبدیل می‌شود که ما می‌توانیم امواج صوتی حاصل را بشنویم؟ این کار توسط آهن‌رباها انجام می‌شود. به این غشاء پیچه‌ی سیمی کوچکی متصل است. ولتاژ، جریانی را در پیچه به وجود می‌آورد، و تغییرات ولتاژ موجب تغییرات جریان می‌شود. تغییرات جریان با استفاده از تقارنی که میان جریان‌های الکتریکی و میدان‌های مغناطیسی وجود دارد، به ارتعاشات مکانیکی غشاء بلندگو تبدیل می‌شود. جریان‌های متغیر الکتریکی، میدان‌های متغیر مغناطیسی حاصل می‌دهند. پیچه روی یک آهن‌ربای دائمی مستقیماً زیر دیافراگم قرار دارد. زمانی که جریان در جهت عقربه‌های ساعت است، یک میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود که قطب شمال آن به طرف خارج، و به سمت قطب شمال آهن‌ربای دائمی است. از آنجایی که قطب‌های هم‌نام یکدیگر را دفع می‌کنند، نیرویی سعی در دور کردن

آهن‌رباها از یکدیگر دارد، و در نتیجه غشاء رو به خارج انعطاف می‌یابد. زمانی که جهت ولتاژ برعکس می‌شود، جهت جریان نیز برعکس می‌شود (خلاف عقربه‌های ساعت) و قطب جنوب میدان مغناطیسی تولید شده با قطب شمال آهن‌ربای دائمی روبرو می‌شود. قطب‌های مخالف یکدیگر را جذب می‌کنند و پیچه به‌سمت آهن‌ربای دائمی کشیده می‌شود و موجب انعطاف غشاء رو به داخل می‌گردد. تغییر بسامد و دامنه‌ی ولتاژ باعث حرکت جلو ــ عقب غشاء می‌شود و امواج صوتی تولید می‌شوند.

در ایرفون‌ها، غشاء ارتعاش‌کننده در نزدیکی پرده‌ی گوش قرار می‌گیرد. در سامانه‌ی استریو، غشاء بلندگو در مرکز یک مخروط قرار دارد که دهانه‌ی مخروط رو به بیرون است و ارتعاشات غشاء را تقویت می‌کند. بلندگوی گوشی‌های هوشمند درون پوسته‌ی آن‌ها قرار دارد، در نتیجه کیفیت و حجم صدای موسیقی پخش شده از آن‌ها تا حدودی پایین است. (یک راه سریع و نه چندان بهداشتی برای تقویت صدای بلندگوی گوشی هوشمند شما، قرار دادن آن در یک کاسه‌ی بزرگِ ترجیحاً چوبی است. بدین ترتیب صدایی توپرتر و ژرف‌تر خواهید گرفت. بسامدهای طبیعی چوب امواج صوتی بازتاب شده را بهبود می‌بخشند، برای همین است که در ساخت آلات موسیقی زهی از چوب استفاده می‌شود.)

پادکست قطعه‌ای سرزنده پخش می کند و ذهن شما را کاملاً درگیر خود می سازد. نوازنده را تصور می کنید که آرشه‌ی ویولون را هنرمندانه روی سیم‌ها به جلو و عقب حرکت می‌دهد. حرکت آرشه ناگهان به شما یادآور می‌شود که هنوز مسواک نزده‌اید. صدای بلندگوها را افزایش می‌دهید و سریعاً به دست‌شویی می‌روید و مسواک برقی را از پایه‌ی نگهدارنده آن که شارژر باتری آن هم هست برمی‌دارید.

برای آن‌که فرچه‌ی مسواک برقی شما به جلو و عقب حرکت کند، از یک موتور الکتریکی کوچک بهره گرفته شده که به یک باتری قابل شارژ متصل است. تبدیل انرژی پتانسیل الکتریکی ذخیره شده در باتری به انرژی جنبشی چرخشی، زیربنای بسیاری از فناوری‌هایست که روزانه با آن‌ها سر و کار داریم. باتری باعث ایجاد جریانی در پیچه‌ی موتور می‌شود. این پیچه میان دو قطب

شمال و جنوب یک آهن‌ربای کوچک قرار دارد. جریان درون سیم‌ها یک میدان مغناطیسی تولید می‌کند که از یک قطب آهن‌ربا دفع شده و به قطب دیگر جذب می‌شود و بدین ترتیب پیچه می‌چرخد. پیچه به یک میله خارج از مرکز متصل است که با چرخش پیچه، آن هم می‌چرخد. با استفاده از یک سوئیچ هوشمندانه، می‌توان جهت جریان مستقیم باتری (DC، در مقابلِ جریان متناوب AC پریز برق) را در هر نیم‌دور عوض کرد، پس پیچه دائماً از یک قطب آهن‌ربای ثابت دفع شده و به قطب دیگر جذب می‌شود. با استفاده از آن میله‌ی خارج از مرکز، حرکت دورانی موتور داخلی به حرکت عقب‌ــجلو تبدیل می‌شود و موجب حرکت نوسانی فرچه‌ی مسواک در مقابل دندان‌های شما می‌گردد.

موتور برخی از مسواک‌های برقی با سرعت چندصد دور در ثانیه می‌چرخد و صدای وزوزی که حین مسواک زدن می‌شنوید به همین دلیل است. بعضی از مسواک‌ها در بسامدهای بسیار بالای ۱/۶ چرخه در ثانیه (اما با دامنه‌ی بسیار کم) کار می‌کنند. این ارتعاشات بسامد بالا، با استفاده از تشدید کننده‌های بسامد (همان‌طور که در زمان‌سنج‌های دیجیتالی دیدیم) و یک بلور پیزوالکتریک (که در زمان‌سنج گوشی هوشمند شما نیز موجود بود) تولید می‌شوند.

منبع انرژی الکتریکی مسواک شما یک باتری است که از یک واکنش شیمیایی برای جمع کردن بارهای مثبت بر روی یک میله‌ی فلزی (به‌نام الکترود) و بارهای منفی بر روی الکترودی دیگر، بهره می‌برد. این اختلاف بار باعث ایجاد یک جریان از میان پیچه‌ی موتور (یا موجب ارتعاش یک بلور کوارتز پیزوالکتریک) می‌شود. واکنش شیمیایی نهایتاً به جایی می‌رسد که دیگر نمی‌توان هیچ باری به الکترودها اضافه کرد. در باتری‌های قابل شارژ، ولتاژی به دو پایانه‌ی باتری اعمال می‌شود و واکنش شیمیایی را وادار به انجام در جهت عکس می‌کند. با شارژ شدن باتری، واکنش شیمیایی اصلی می‌تواند دوباره الکترودها را با بار پر کند و باتری آماده‌ی استفاده‌ی مجدد شود.

اما چگونه باتری‌های دستگاهی که بنابر طراحی آن تقریباً زیر آب برده می‌شود به منبع برق متصل می‌کنند؟ بسیاری از مسواک‌های برقی دارای یک دسته‌ی پلاستیکی هستند که درون یک شارژر استوانه‌ای شکل‌ــزمانی که به

برق متصل است ــ قرار گرفته است و خودِ آن نیز از پلاستیک محکم ساخته شده است. پلاستیک عایق الکتریسیته است، الکترون‌های اتم‌های آن همگی صرف نگاه داشتن اتم‌ها در کنار هم شده است و هیچ الکترونی برای حمل جریان در پاسخ به ولتاژ خارجی وجود ندارد. پس چگونه اتصال پلاستیک به پلاستیک شارژر به دسته‌ی مسواک انرژی الکتریکی مورد نیاز برای باتری‌های قابل شارژ را فراهم می‌آورد؟ با همان قانون فیزیکی که توضیح می‌دهد چگونه یک میدان مغناطیسی متغیر، جریان الکتریکی به وجود می‌آورد.

در پایه‌ی شارژر مسواک یک پیچه وجود دارد. زمانی که شارژر را به پریز برق متصل می‌کنید، جریان متناوب وارد پیچه می‌شود. جهت این جریان، مثل حرکت عقب‌ـجلوی آونگ، پیوسته در جهت‌های ساعت‌گرد و پادساعت‌گرد تغییر می‌کند. میدان مغناطیسی تولید شده توسط این جریان هم پیوسته تغییر جهت می‌دهد، و نخست قطب شمال آن به‌سمت پایین شارژر است و سپس در نیم‌چرخه‌ی بعدی قطب جنوب آن در این وضعیت قرار دارد. در پایه‌ی مسواک برقی پیچه‌ی دیگری وجود دارد و طوری قرار گرفته که میدان مغناطیسی شارژر (یا بیشتر آن) از میان سطح دایره‌ای این حلقه‌ی سیم می‌گذرد. قدرت و جهت میدان مغناطیسی گذرنده از این پیچه‌ی دوم پیوسته تغییر می‌کند و از این‌رو طبق همان سازوکاری که برای تولید برق در نیروگاه‌ها استفاده می‌شود، یک جریان القاء می‌گردد. این جریان تولید شده توسط القای مغناطیسی در پیچه‌ی مسواک، از حالت متناوب به مستقیم تبدیل شده و برای شارژ مجدد باتری دستگاه استفاده می‌شود. دستگاهی که در آن جریان در یک پیچه موجب القای جریان در پیچه‌ی دوم می‌شود، حتی با آن‌که پیچه‌ها مستقیماً به یکدیگر متصل نیستند، «مبدل» نام دارد و کاربردهای بسیاری به‌جز شارژ باتری مسواک برقی شما دارد.

اگر تعداد دور سیم پیچه‌ی شارژر (مثل نخ پیچیده شده در یک قرقره) و همچنین قطر آن یکسان با پیچه‌ی موجود در پایه‌ی مسواک برقی باشد، جریان القاء شده در پیچه‌ی مسواک با جریان پیچه‌ی اولی برابر خواهد بود (البته با این فرض که کل میدان مغناطیسی پیچه‌ی شارژر از پیچه‌ی پایه‌ی مسواک می‌گذرد). اما اگر پیچه‌ی دوم تعداد دور سیم بیشتر یا کمتری داشته باشد، جریان القاء شده به‌ترتیب کمتر یا بیشتر از جریان پیچه‌ی اول خواهد بود. [۴]

از این موضوع می‌توان سود برد، زیرا ولتاژ جریان برق (در بعضی کشورها. م) حدود ۱۱۰ ولت است که برای شارژ باتری مسواک بسیار زیاد است. از مبدل‌ها، هم برای افزایش ولتاژ در خطوط انتقال برق به‌منظور افزایش بازده انتقال نیرو، یا کاهش ولتاژ تا مقدار ایمن حدود ۱۲۰ ولت (در بعضی کشورها. م) مناسب برای دستگاه‌های خانگی استفاده می‌شود.

به آشپزخانه بازمی‌گردید و نان خود را به دو نیم تقسیم می‌کنید. هر دو نیمه را در توستر قرار می‌دهید و اهرم آن را پایین می‌کشید. فنر داخل توستر که نان‌ها را بالا نگاه‌می‌دارد فشرده شده و نان به داخل توستر می‌رود و سیم‌ها داغ شده و قرمز می‌شوند. کره هنوز مقداری سفت است، پس آن را در یک ظرف قرار داده و بالای توستر می‌گذارید. گرما، کره را نرم‌تر کرده و مالیدن آن روی نان را آسان‌تر خواهد کرد.

فناوری توستر برای پدرِپدربزرگ شما هم آشنا خواهد بود. زمانی که تکه نانی را در توستر قرار می‌دهید و اهرم آن را به پایین فشار می‌دهید، علاوه بر پایین بردن نان، مداری را نیز می‌بندید که اجازه‌ی عبور جریان برق از سیم‌های مجاور نان را می‌دهد. پس از حدود نیم دقیقه، سیم‌ها گرم شده و سپس به رنگ قرمز درمی‌آیند. چرا؟ درک چگونگی تبدیل انرژی الکتریکی به گرما و نور توسط توستر، مستلزم درک ترمودینامیک، الکترومغناطیس و مکانیک کوانتومی است. بله، همه‌ی اینها برای برشته کردن یک تکه نان است!

توستر از قانون اول ترمودینامیک استفاده می‌کند که می‌گوید در همه‌ی سامانه‌های بسته، مقدار کل کار و گرما همواره ثابت است. زمانی که مدار را با پایین بردن اهرم توستر می‌بندید، جریان وارد سیم‌ها می‌شود و به لطف مقاومت الکتریکی سیم‌ها، انرژی الکتریکی به گرما تبدیل می‌شود.

بگذارید از خودِ سیم‌های فلزی شروع کنیم. برای آن‌که ماده‌ای رسانای خوب الکتریسیته باشد، باید تعداد زیادی بار الکتریکی آزاد داشته باشد که بتوانند آزادانه حرکت کنند. فلزات مقدار زیادی الکترون آزاد دارند که آن‌ها را رسانای عالی جریان الکتریسیته می‌سازد، درحالی که در عایق‌هایی مثل

پلاستیک‌ها و شیشه، الکترون‌ها درگیر پیوندهای شیمیایی میان اتم‌ها هستند. آرایش و برهم‌کنش‌های دقیق اتم‌ها در جامدات که تابع قوانین مکانیک کوانتومی هستند، تعیین کننده‌ی رسانا یا عایق بودن یک ماده می‌باشند.

سیم‌های توستر از آلیاژی متشکل از نیکل و کروم (به‌نام نیکروم) ساخته می‌شوند که هر دوی این فلزات رسانای جریان الکتریسیته هستند. برای برشته کردن سریع نان، سیم‌ها باید رسانای خوب جریان الکتریسیته باشند— اما نه بیش از حد خوب. ترکیب دو فلز متفاوت در سیم‌های نیکروم و همچنین وجود عیوب یا ناپیوستگی‌ها در ساختار میکروسکوپی سیم‌ها، موجب عملکرد مطلوب آن‌ها می‌شود.

سیم‌های توستر را مثل راه‌پله‌ای بزرگ تصور کنید که جمعیت بزرگی قصد پایین آمدن هم‌زمان از آن را دارند. هرچه تعداد افراد بیشتری در پایین پله‌ها خارج شوند، و هرچه سریع‌تر حرکت کنند، مقدار جریان بزرگ‌تر است. ولتاژ، که در اینجا شیب راه‌پله است، نخستین عامل حرکت جمعیت به پایین است. شیب بسیار زیاد، که به‌شکل یک ولتاژ زیاد تعبیر می‌شود، باعث می‌شود افراد با سرعت بیشتری از پایین پله‌ها خارج شوند. پله‌ها، متناظر با اتم‌های فلز هستند. پایین رفتن از پله‌ها به‌ویژه اگر در جمعیت بزرگی باشید، با هم‌خط شدن افراد در عرض راه‌پله و پایین رفتن هم‌آهنگ پله به پله، آسان‌تر خواهد بود. با خروج یک ردیف از افراد در پایین، ردیف دیگر در بالا به‌راه می‌افتد و راه‌پله بیشترین بازده کاری خود را خواهد داشت.

با این حال، مردم در راه‌پله، مثل الکترون‌ها در سیم، به‌جای حرکت هم‌آهنگ، تا حدودی حرکات تصادفی انجام می‌دهند. به‌علاوه، راه‌پله‌های واقعی (و همچنین سیم‌های واقعی) کمی غیریکنواختی دارند. اگر یک پله وجود نداشته باشد (که در سیم، متناظر با فقدان یک اتم است) و افراد تا زمانی که قدم بر آن نگذارند، متوجه آن نشوند، آشفتگی بزرگی در جمعیت به وجود خواهد آمد و باعث کاهش بازده و طولانی‌تر شدن کل حرکت خواهد شد — که (در مورد سیم توستر) به‌معنای جریان کمتر است.

این در فلزات باعث ایجاد «مقاومت» می‌شود. عوامل هندسی نیز در مقاومت دخیل هستند. مثلاً عبور جریان از یک سیم بلند و نازک دشوارتر از عبور جریان

از یک سیم کوتاه و ضخیم است. در برخی کاربردها، مقاومت مشکل بزرگی است. اما در تهیه صبحانه کاملاً مفید واقع می‌شود.

مقاومت سیم موجب انتقال انرژی جنبشی جریان به اتم‌های سیم شده و باعث می‌شود ارتعاش آن‌ها نسبت به قبل بیشتر شود، به این فرایند «گرمایش ژول» [۵] گفته می‌شود. علت استفاده از آلیاژ نیکروم در توستر همین است ــ این آلیاژ برای عبور جریان، رسانایی خوبی دارد، اما مقاومت زیادی نیز دارد که موجب بیشینه شدن گرمایش ژول می‌شود. با انتقال کافی انرژی جنبشی، اتم‌های نزدیک به عیوب چنان مرتعش می‌شوند که نور تولید می‌کنند. علت درخشش سیم‌های توستر همین است.

زمانی که یک اتم به ارتعاش درمی‌آید، الکترون‌ها شبیه به وزنه‌ی آویزان از فنر، به جلو و عقب نوسان می‌کنند و یک جریان الکتریکی ایجاد می‌کنند که درون اتم افت و خیز پیدا می‌کند. این جریان الکتریکی یک میدان مغناطیسی تولید می‌کند. از آنجایی که این جریان پیوسته اندازه و جهت خود را تغییر می‌دهد، میدان مغناطیسی نیز دائماً تغییر می‌کند و میدان‌های مغناطیسی متغیر، میدان‌های الکتریکی ایجاد می‌کنند. آونگ باردار نشان داده شده در شکل ۱ــ۱ را درنظر بگیرید. میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی که به‌طور دوره‌ای تغییر می‌کنند، با یکدیگر ترکیب می‌شوند و یک موج الکترومغناطیسی نوسان‌کننده به‌نام «نور» تولید می‌کنند.

برای برشته کردن کامل نان، گرمای سیم توستر (که دمای آن می‌تواند به بیش از ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد برسد) به نان منتقل می‌شود. در سشوارها و برخی از بخاری‌های برقی، مولکول‌های هوا با عبور از میان سیم‌های داغ، انرژی جنبشی اضافه‌ای بدست می‌آورند، اما در فضای بسته‌ی دستگاه توستر، گرمایش عمدتاً از طریق تابش فروسرخ انجام می‌شود. زمانی که سطح نان به دمای تقریباً ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد، در قندها و نشاسته‌ها یک واکنش شیمیایی رخ می‌دهد و رنگ آن‌ها قهوه‌ای می‌شود، همچنین طعم و بافت آن‌ها نیز تغییر می‌کند. کلید «تنظیمات توست» درواقع یک مقاومت قابل تنظیم است که جریان گذرکننده از سیم‌های توستر را تغییر می‌دهد. از یک زمان‌سنج یا حسگر دما برای باز کردن مدار الکتریکی و متوقف ساختن فرایند توست قبل

از سوختن نان شما، استفاده می‌شود.

ظرف را قبل از آب شدن کره از بالای توستر برمی‌دارید. چند لحظه بعد نان از توستر بیرون می‌زند، درحالی که به‌خوبی برشته شده است. با آن‌که راحت نشستن و نوشیدن قهوه در آرامش وسوسه‌انگیز است، ولی نوبت دکتر دارید. برای خود یک لیوان آب پرتقال می‌ریزید و درحالی که به پادکست گوش می‌دهید، صبحانه خود را تمام می‌کنید. یادآور تقویم گوشی شما به‌صدا درمی‌آید و گوش‌زد می‌کند که تا یک ساعت دیگر نوبت دکتر دارید. بشقاب خود را تمیز می‌کنید، آب پرتقال و قهوه خود را سر می‌کشید، ظروف را در دستگاه ظرف‌شویی می‌گذارید و بطری آب پرتقال و کره را به یخچال بازمی‌گردانید.

توستر از قانون اول ترمودینامیک استفاده می‌کند و کار انجام شده ناشی از عبور دادن جریان از درون سیم، به گرما تبدیل می‌شود. قانون دوم ترمودینامیک به ما می‌گوید که تا چه حدی می‌توانیم این فرایند را در جهت معکوس انجام دهیم و مثل یخچال گرما را از محیط خارج کنیم و با آن کار انجام دهیم.

توسعه‌ی ترمودینامیک، تفکر معمول را که در آن نخست تحقیقات علوم پایه انجام می‌شد و سپس کاربردهای عملی به ثمر می‌رسید، برهم زد. مثلاً موتورهای بخار—یکی از کاربردهای این علم نه‌چندان درک شده— نخست ساخته شدند و سپس دانشمندان با انگیزه‌ی افزایش بازده‌ی آن‌ها، مبانی فیزیکی آن‌ها را کشف کردند. موتورها گرما را به کار مفید تبدیل می‌کنند، مثل سوختن گازوئیل در موتورهای احتراق داخلی. اما یخچال موتوری است که در جهت عکس کار می‌کند و برای خارج کردن گرما از سامانه کار انجام می‌دهد.

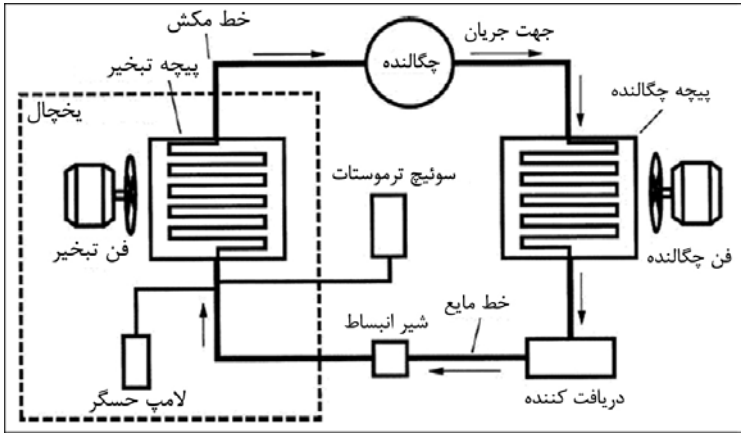
یخچال، دمای داخلی خود را با همان مبانی فیزیکی که با آن قهوه‌ی داغ صبح‌گاهی خود را سرد می‌کنید، یعنی دمیدن یا سرد کردن تبخیری، کاهش می‌دهد. دما معیاری از انرژی جنبشی متوسط مولکول‌ها در قهوه است. این بدان معناست که انرژی جنبشی برخی از مولکول‌ها کمتر از میانگین، و انرژی جنبشی برخی دیگر بسیار بیشتر از میانگین می‌باشد. این مولکول‌های پرانرژی‌تر، بخار بالای فنجان قهوه شما را تشکیل می‌دهند و انرژی جنبشی کافی برای آغاز تغییر فاز و تبدیل از حالت مایع به بخار را دارند. وقتی که قهوه خود را فوت

می‌کنید، درواقع این مولکول‌های پرانرژی‌تر را از فنجان دور می‌کنید تا دوباره به فنجان بازنگردند و انرژی خود را به مایع داخل فنجان ندهند. با حذف این مولکول‌های پرانرژی از سامانه‌ی مایع ــ بخار، حال انرژی جنبشی میانگین مولکول‌ها از قبل کمتر است که متناظر با دمای کمتر قهوه‌ی شما می‌باشد.

یخچال شما نیز اساساً بر همین مبنا کار می‌کند، منتهی از مایع دیگری به‌جای قهوه استفاده می‌کند. سابقاً در یخچال‌ها از گاز فرئون استفاده می‌شد اما امروزه با تترافلوروِاتان جایگزین شده است. [۶] از یک موتور الکتریکی برای به‌کار انداختن یک پمپ مکانیکی استفاده می‌شود که مایع خنک‌کننده را از یک لوله‌ی فلزی باریک عبور می‌دهد. فلزات رسانای خوب گرما هستند (دریای الکترون‌های آزاد می‌توانند علاوه بر جریان الکتریکی، انرژی را نیز منتقل کنند)، و این ارتباط گرمایی خوبی میان مایع خنک‌کننده و دیواره‌ی یخچال را موجب می‌گردد. پمپ، مایع خنک‌کننده را وادار به عبور از یک شیر انبساطی می‌کند که طی آن خنک‌کننده از لوله باریک به حجمی بزرگ‌تر منبسط می‌شود و از حالت مایع به بخار تغییر فاز می‌دهد. برای تبدیل یک مایع به بخار، باید به آن انرژی بدهید (جوشاندن آب را درنظر بگیرید)، و این انرژی باید از جایی تأمین شود. [۷] بخار بالای فنجان قهوه، انرژی جنبشی را از قهوه‌ی مایع می‌گیرد و تترافلوروِاتان نیز گرما را از دیواره‌های داخلی یخچال کسب می‌کند. مایع خنک‌کننده از میان یک لوله عبور می‌کند که در چندین جا به‌شکل S خم شده است تا سطح تماس با دیواره‌های یخچال بیشینه شود. تراکم خم‌های S شکل در بخش فریزر یخچال بیشتر است تا گرمای بیشتری از این بخش خارج شود.

پس با گاز پرانرژی بعد از آن‌که گرما را از یخچال گرفت چه کنیم؟ برای تکرار این فرایند و سرد نگاه داشتن دائمی یخچال، از پمپ برای فشرده کردن مجدد گاز و تبدیل آن به مایع استفاده می‌شود. زمانی که بخار به مایع تبدیل می‌شود،گرمایی را که برای تبدیل از حالت مایع به بخار را گرفته است، بازمی‌گرداند. از آنجایی که برای به‌کار انداختن پمپ نیاز به انرژی است، کارکرد یخچال مستلزم صرف انرژی می‌باشد. لوله‌های مربوط به این بخش از سامانه‌ی بسته، در پشت یخچال و در مجاورت دیواره آن قرار داده شده‌اند تا گرما را دوباره به درون یخچال منتقل نکنند. زمانی که یک حسگر دما، رسیدن

به دمای مطلوب داخلی را تشخیص می‌دهد، پمپ خاموش می‌شود. مقداری گرما از محل آب‌بندی درب‌های یخچال و فریزر وارد یخچال می‌شود، اما با ساخت بهتر و استفاده از مواد مرغوب‌تر این مسئله کمتر می‌شود. اگر درب یخچال را باز کنید و به درون آن زل بزنید و به حقایق ژرف گیتی بیندیشید، موجب گرم شدن داخل یخچال خواهید شد. سپس صدای روشن شدن پمپ یخچال را خواهید شنید.



یادداشت‌ها:

[۱] از بخار فشار بالا برای چرخاندن پیچه استفاده می‌شود و این بخار از طریق جوشاندن آب با سوزاندن ذغال‌سنگ، گاز طبیعی، مواد زیستی، یا انرژی واکنش‌های هسته‌ای تولید می‌شود. صرف نظر از نوع سوخت مصرفی، همه‌ی نیروگاه‌های برق از مبانی فیزیکی یکسانی برای تولید الکتریسیته بهره می‌گیرند.

[۲] این تراشه‌ها ضرب‌آهنگ را با اضافه کردن یک بسامد دیگر به سیگنال اول (فرایندی به نام «هترودایننگ») تولید می‌کنند. در نتیجه دو نوسان وجود دارد، یکی در بسامد بالاتر، که حاصل جمع دو نوسان است، و دیگری در بسامد پایین‌تر که حاصل تفاضل آن‌هاست. با استفاده از یک فیلتر، می‌توان بسامد پایین‌تر را انتخاب کرد.

[۳] از این کلمه‌ی اختصاری برای توصیف نرم‌افزار فشرده‌سازی موسیقی که در آن به یک و صفرهای کمتری برای ارسال دستورات به بلندگوها لازم است، استفاده می‌شود.

[۴] توان الکتریکی از لحاظ ریاضی به‌شکل حاصل‌ضرب جریان در ولتاژ تعریف می‌شود و جریان بزرگ‌تر در پیچه‌ی دوم بدین معناست که ولتاژ کمتر خواهد بود.