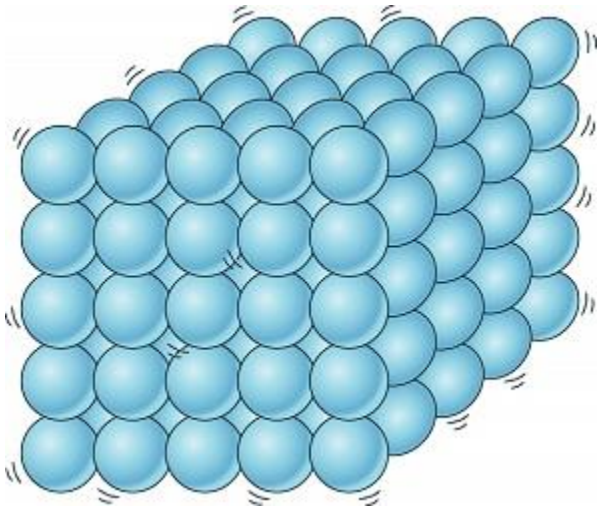
جامد

در مواد جامد(Solids) ، اتم‌ها به طور نسبتاً محکمی با یکدیگر پیوند برقرار کرده‌اند. مواد جامد، حالت و موقعیت خود را حفظ کرده و برای نگه‌داری آن‌ها نیازی به ظرف نیست. دقت داشته باشید که قدرت پیوند در مواد جامد مختلف نیز با یکدیگر متفاوت است. در اینجا منظور از پیوند محکم، این است که اتم‌ها به راحتی از یکدیگر جدا نمی‌شوند و یک ساختار منسجم را پدید می‌آورند. به طور مثال آهن و ژله (پاستیلی یا خمیری) هر دو جامد هستند، اما با اعمال نیرو به جسمی ژله‌ای می‌توان فرم آن را آسان‌تر از آهن تغییر داد. قدرت پیوند بین اتم‌ها یکی از مهم‌ترین پارامترهایی است که حالت ماده را مشخص می‌کند.



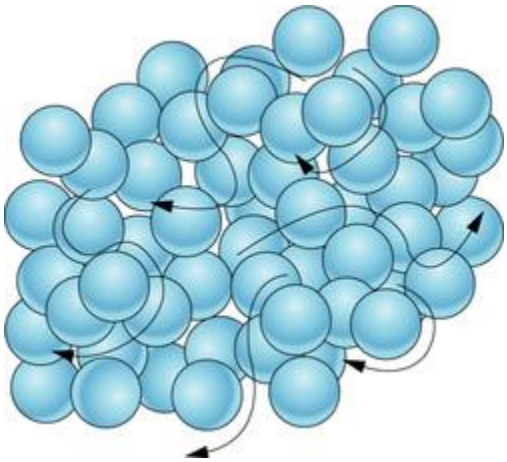
شکل (۱): شماتیک نمایش مواد حالت جامد. خط‌های اطراف شکل به معنی نوسان اتم‌ها است.

مایع

دادن حرارت به یک جسم جامد، باعث می‌شود که انرژی لازم جهت شکستن پیوندهای بین اتم‌ها فراهم شود و در نتیجه از یکدیگر جدا شوند. در این صورت ماده جامد به مایع تبدیل می‌شود. توجه داشته باشید که میزان حرارت داده شده به جسم باید به حدی باشد که دمای جسم به دمای ذوب خود نزدیک شود. بدیهی است که دمای ذوب مواد جامد بر اساس ساختار اتمی‌ها با یکدیگر متفاوت است.

در مایعات(Liquids) ، اتم‌ها به طور تصادفی کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند، پیوندهای بین اتمی ضعیف بوده و اتم‌ها به راحتی می‌توانند از کنار یکدیگر عبور کنند و با اتمی دیگر پیوند (ضعیف) برقرار کنند. دلیل اینکه مایعات شکل خاصی نداشته و منسجم نیستند، همین امر است. مایعات به راحتی شکل ظرفی که در آن قرار دارند را به خود می‌گیرند.

بدیهی است که گرفتن گرما از مایعات، یعنی کاهش دمای آن‌ها باعث می‌شود که اتم‌ها آزادی عمل خود را از دست داده و پیوندهای قوی‌تری با یکدیگر برقرار کنند. کاهش دمای مایعات تا نقطه انجماد، باعث تبدیل حالت آن‌ها به جامد می‌شود.

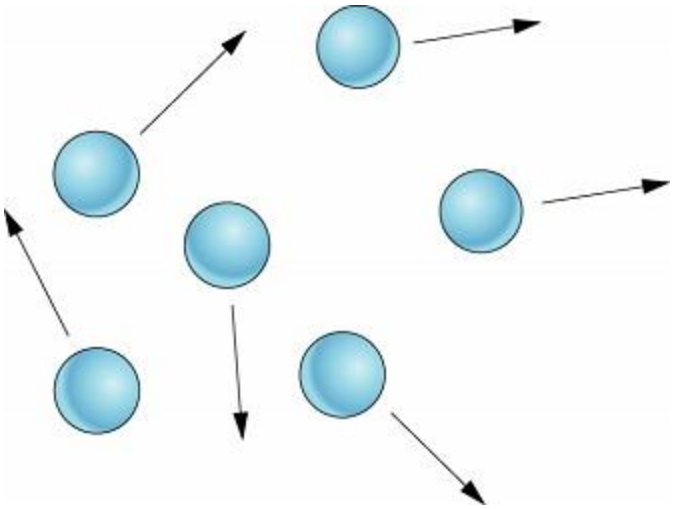


شکل (۲): شماتیک نمایش حالت مایع

گاز

حال اگر به مایعات گرما دهیم، یعنی دمای آن‌ها را تا **نقطه جوش** بالا ببریم، انرژی لازم جهت جدا شدن کامل اتم‌ها از یکدیگر فراهم می‌شود. در این صورت حالت ماده از مایع به گاز (Gas) تبدیل می‌شود.

اتم‌ها و مولکول‌ها در حالت گازی، به صورت تصادفی قرار گرفته و نیروی بسیار ضعیفی بین آن‌ها برقرار است. در واقع در یک گاز، اتم‌ها آزادانه به هر سمتی حرکت می‌کنند. به عبارت دیگر، اتم‌ها حرکتی کاتوره‌ای دارند. اگر گازها را تحت فشار خیلی زیاد نگه دارید یا بتوانید دمای آن‌ها را یکباره پایین بیاورید، اتم‌های آن‌ها می‌توانند دوباره با یکدیگر پیوند تشکیل دهند و در نتیجه تبدیل به مایع یا جامد شوند.



شکل (۳): شماتیک حالت گاز که در آن مولکول‌ها آزادانه حرکت می‌کنند.

تبدیل حالت های ماده

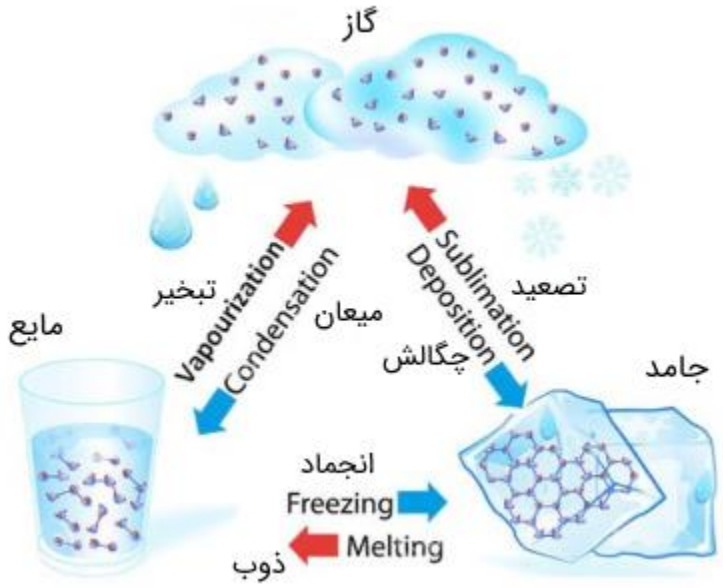
همان‌طور که در بخش قبل اشاره کردیم، با تغییر فشار و دما می‌توان به حالت های مختلف ماده دست پیدا کرد. البته به طور طبیعی فشار هوا روی کره زمین تغییرات چشمگیری (البته نه برای موجودات زنده!) نداشته و در نتیجه نمی‌تواند همانند دما روی حالت های ماده اثر بگذارد. دما در اتمسفر کره زمین به طور گسترده‌ای تغییر می‌کند. بسیاری از مواد که مهم‌ترین آن‌ها آب است، در این گسترده دمایی می‌توانند در سه حالت جامد، مایع و گاز وجود داشته باشند (با فرض فشار اتمسفر.(

برای آنکه بتوانید حالت‌های مختلف یک ماده را پدید بیاورید، نیاز است تا تغییرات شدیدتری در دما و فشار ایجاد کنید. به عبارت دیگر به طور طبیعی در شرایط آب و هوایی کره زمین شما نمی‌توانید مواد نظیر آب را در ۳ حالت گاز، مایع و یا جامد یکباره داشته باشید. مگر اینکه با صرف کار به آن‌ها انرژی بدهید یا انرژی بگیرید.

به طور مثال اگر به ظرف حاوی آب گرما دهیم رفته رفته شروع به تبخیر شدن می‌کند. توجه داشته باشید که دمای جوش و انجماد مواد، دمای ثابتی نبوده و در فشارهای مختلف تغییر می‌کند. به طور مثال ممکن است که آب در مکانی که فشار هوا کم‌تر است، در دمای ۹۸ درجه سانتی‌گراد به جوش آید. لازم به ذکر است که دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد که عموماً آن را نقطه جوش استاندارد آب می‌دانند، در فشار هوای نزدیک سطح دریا (10^5 Pa105 Pa) به عنوان یک استاندارد تعیین شده است.

همچنین به یاد داشته باشید عمل تبخیر تنها در دمای جوش رخ نمی‌دهد. به طور مثال اگر دقت کرده باشید، در حمام آب گرم با دمایی بین ۴۰ تا ۶۰ درجه نیز بخار آب موجود است. دلیل این امر این است که مولکول‌های سطحی آب می‌توانند با انرژی کمتری پیوندشان را با سایر مولکول قطع کرده و از آب جدا شوند. روند تبخیر در نقطه جوش با بالاترین سرعت ممکن اتفاق می‌افتد.

در شکل زیر طرح‌واره تبدیل حالت های ماده به یکدیگر آمده است. لازم به ذکر است که برخی منابع عبارت **تغییر فاز** را به جای عبارت **تغییر حالت** به کار می‌برند.



شکل (۴): شماتیکی از نمایش تبدیل حالت‌های ماده به یکدیگر

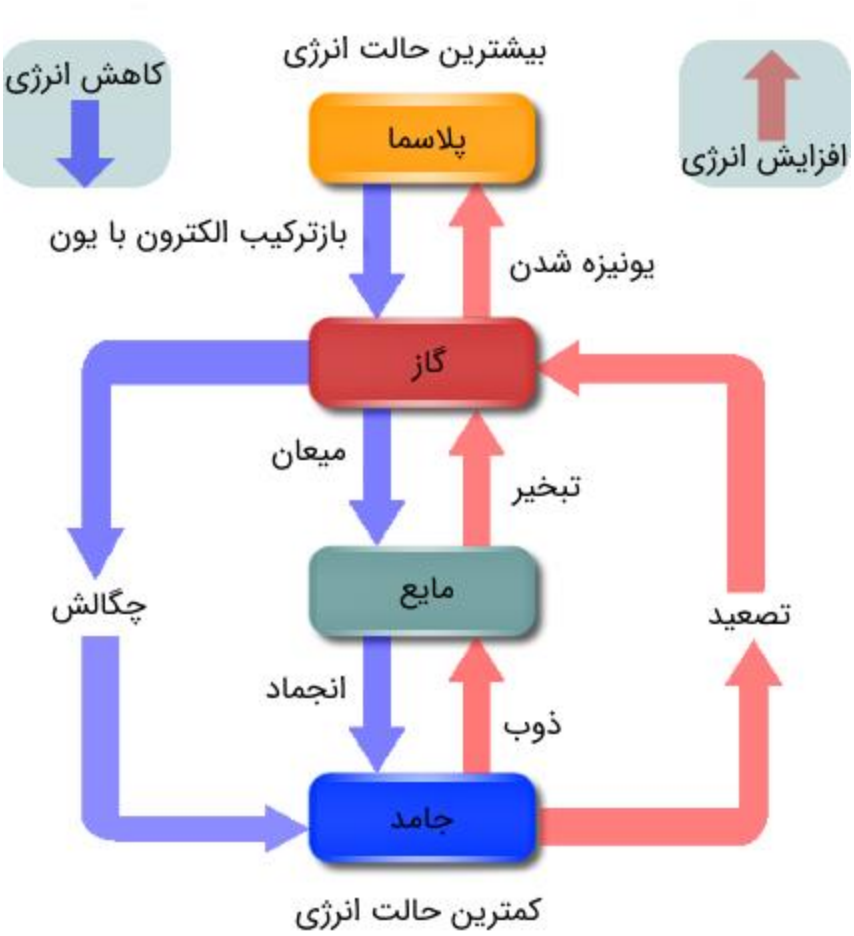
شکل فوق را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- **ذوب (Melting):** تبدیل حالت جامد به مایع
- **انجماد (Freezing):** تبدیل حالت مایع به جامد
- **تبخیر (Evaporation):** تبدیل حالت مایع به گاز
- **میعان (Condensation):** تبدیل حالت گاز به مایع
- **تصعید (Sublimation):** تبدیل حالت جامد به گاز
- **چگالش (Deposition):** تبدیل حالت گاز به جامد

حالت چهارم ماده: پلاسما

شاید شنیده باشید که حالت های ماده تنها جامد، مایع و گاز نبوده و حالت دیگری موسوم به حالت چهارم ماده یا پلاسما وجود دارد. دیدیم که با دادن انرژی (گرما) می‌توانیم جامد را به مایع و مایع را گاز تبدیل کنیم. حال اگر به دادن انرژی ادامه دهیم چه اتفاقی می‌افتد؟

با افزایش دمای یگ گاز، الکترون‌های اتم‌های آن می‌توانند انرژی لازم جهت جدا شدن از اتم‌ها را به دست آورده و در نتیجه از قید هسته رها شوند. در این صورت اتم‌های گاز تبدیل به **یون‌های مثبت** می‌شوند. به اتمی که تعداد الکترون‌هایش کمتر از تعداد پروتون‌های هسته آن باشد، یون مثبت گفته می‌شود. همچنین اگر اتمی، الکترونی اضافی داشته باشد، به آن یون منفی می‌گویند. به بیانی ساده، **مخلوطی** از یون‌های مثبت و الکترون‌ها را پلاسما می‌گویند. در واقع برخی مراجع برای گازهای یونیزه شده، به این علت که دارای خواص متفاوتی با گازها هستند، عبارت حالت چهارم ماده یا پلاسما را به کار می‌برند. جهت آشنایی بیشتر با پلاسما به مقاله» **پلاسما در فیزیک — به زبان ساده** «مراجعه فرمایید. پلاسما به صورت مصنوعی غالباً از **گازهای نجیب** تهیه می‌شود.

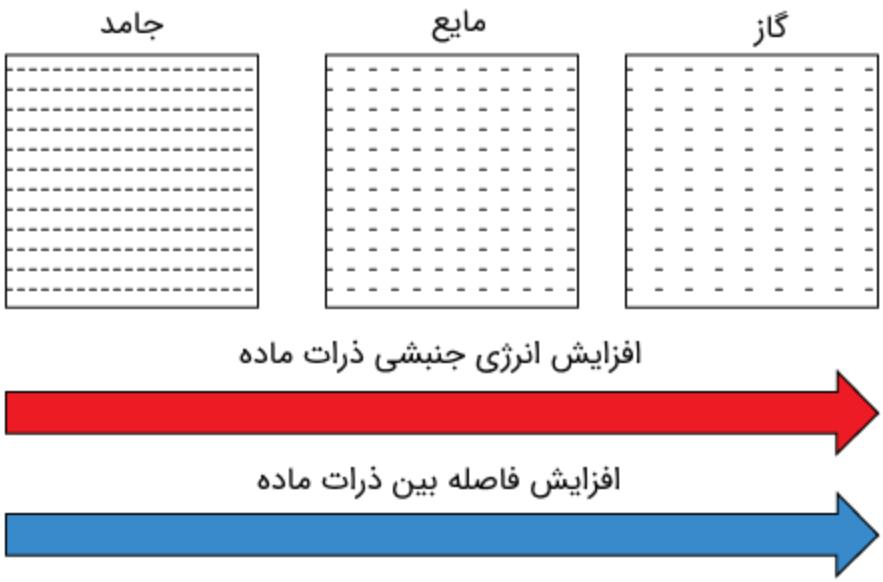


شکل (۵): با افزایش انرژی، اتم‌های یک گاز یونیزه شده و در نتیجه تبدیل به پلاسما می‌شوند.

نظریه جنبشی

یکی از راه‌های درک و بررسی حالت های ماده (نظیر جامد، مایع، گاز و حتی پلاسما)، بررسی مقدار انرژی موجود در آن‌ها است. یک بادکنک پر شده از گاز نظیر هلیوم (نوعی گاز نجیب) را در نظر بگیرید. مولکول‌های گاز درون بادکنک مدام در حال حرکت و برخورد با یکدیگر هستند. دقت داشته باشید که می‌توان دیواره بادکنک را در حال تعادل در نظر گرفت؛ چرا که نیرویی که مولکول‌های گاز به دیواره داخلی وارد می‌کنند، با نیرویی که مولکول‌های هوا به دیواره خارجی وارد می‌کنند، برابر است. به عبارت دیگر می‌توان گفت که فشار گاز داخل بادکنک با فشار هوای بیرون در تعادل است.

بیان کردیم که مولکول‌های گاز مدام در حال حرکت و جنب و جوش هستند. بدیهی است که این مولکول‌ها هم جرم دارند و هم سرعت، در نتیجه دارای انرژی جنبشی هستند. حال رفته رفته بادکنک را گرم می‌کنیم. با این کار، مولکول‌های گاز انرژی گرمایی را جذب کرده و انرژیشان بیشتر می‌شود. در نتیجه سرعت حرکتشان بیشتر شده و در نتیجه فشار بیشتری به دیواره‌های داخلی بادکنک وارد می‌کنند. با این کار بادکنک منبسط می‌شود. در جهت عکس نیز، با قرار دادن یک بادکنک پر از گاز یا هوا در محیطی سرد، می‌توانید آن را کمی منقبض کنید، چرا که انرژی مولکول‌ها کاهش یافته و در نتیجه انرژی جنبشی و سرعت حرکت آن‌ها کاهش می‌یابد.



شکل (۶): توضیح حالت های ماده بر اساس انرژی جنبشی

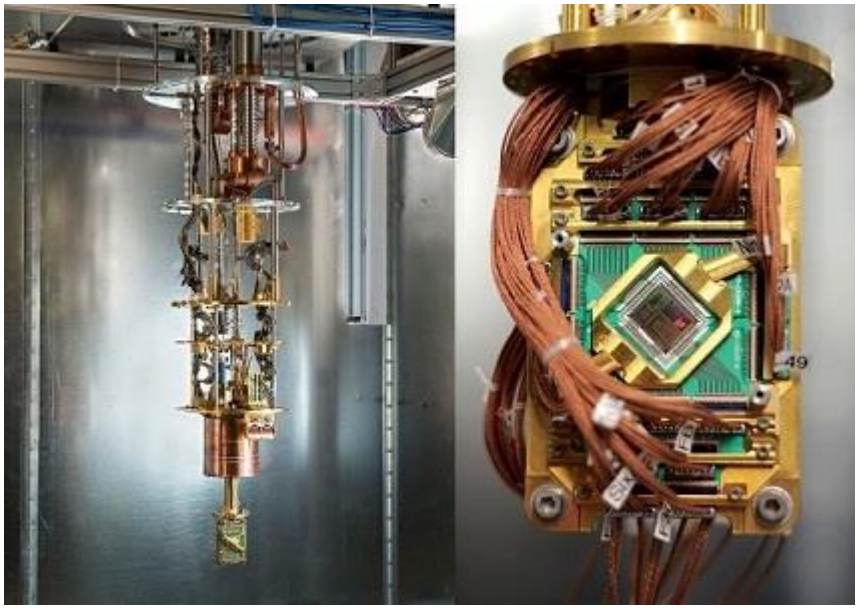
درک و بررسی چگونگی رفتار مواد جامد، مایع، گاز و پلاسما از نقطه نظر گرمایی به نظریه جنبشی ماده (Kinetic Theory of Matter)موسوم است. لازم به ذکر است که نظریه جنبشی در علمی جامع‌تر به نام فیزیک آماری بررسی و فرمول‌بندی می‌شود.

مفهوم صفر مطلق

اتم‌های تمامی مواد مدام در حال حرکت هستند. حتی در مواد جامد نیز، اتم‌ها کمی حرکت دارند. البته بهتر است بگوییم که اتم‌ها در مواد جامد حول نقطه‌ای ثابت در ساختار شبکه‌ای نوسان می‌کنند. حرکت و جنب‌وجوش اتم‌ها و در نتیجه مولکول‌ها تابعی از

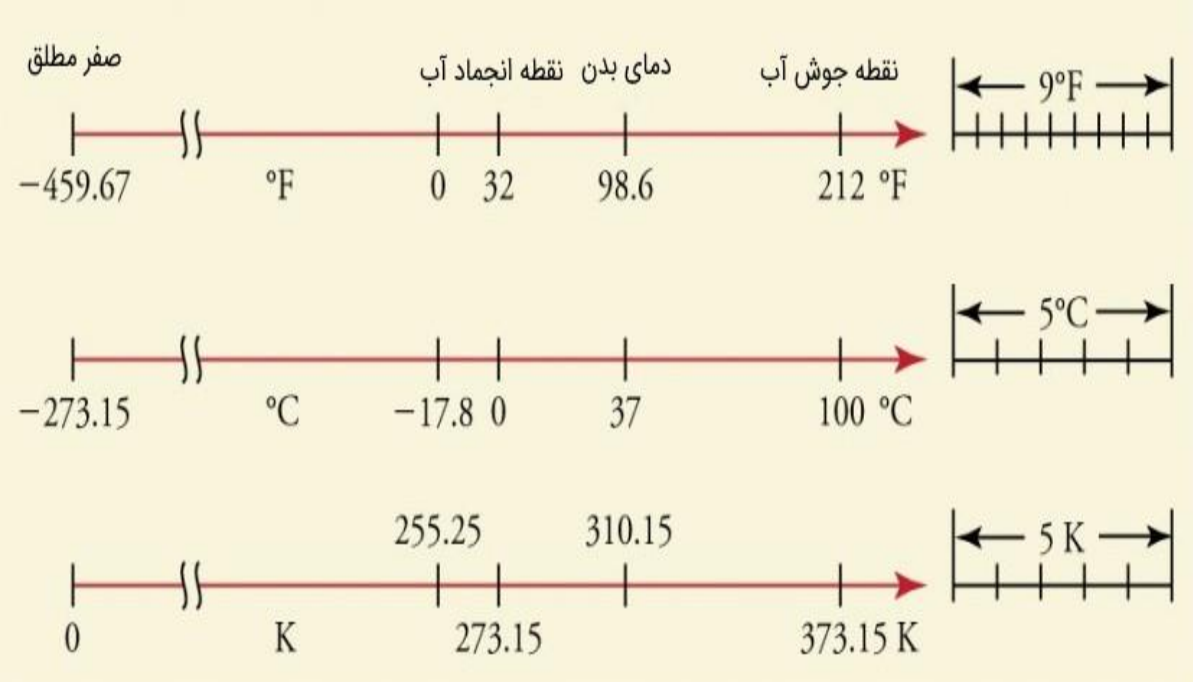
دما و انرژیشان است. بیان کردیم که با دادن گرما جنب‌وجوش بیشتر شده و در نتیجه حرکت مولکول‌های ماده سریع‌تر انجام می‌شود. همچنین با گرفتن گرما و کاهش دما، جنب‌وجوش اتم‌ها و مولکول‌ها کاهش پیدا می‌کند. حال اگر به فرآیند سرد کردن ادامه دهیم، چه اتفاقی می‌افتد؟ آیا امکان دارد تا اتم‌ها از حرکت و نوسان باز بایستند؟

از نقطه نظر تئوری این امر امکان‌پذیر است. فیزیک آماری بیان می‌کند که اگر دمای جسمی به عدد منفی ۲۷۳,۱۵ درجه سانتی‌گراد (سلسیوس) برسد، اتم‌های تشکیل دهنده آن ماده، هیچ حرکت یا نوسانی نخواهند داشت. این عدد به صفر مطلق معروف است. صفر مطلق کمترین دمایی است که یک جسم می‌تواند داشته باشد. البته تا به امروز دمای هیچ ماده‌ای به این مقدار نرسیده است. در حال حاضر سردترین مواد روی کره زمین، **ابررسانا** هستند که در شرایط خاص آزمایشگاهی می‌توانند به دماهایی نزدیک به صفر کلوین برسند. یکی از سردترین مواد موجود در کره زمین، ابررسانای استفاده شده در **کامپیوتر کوانتومی** شرکت D-Waveاست که دمای آن 0.015 K0.015 K است.



تصویر (۷): کامپیوتر کوانتومی ساخت شرکت کانادایی D-Wave بر اساس فیزیک ابررسانا. این تراشه در دمایی ۰,۰۱۵ کلوین بالای صفر مطلق کار می‌کند.

لازم به ذکر است که عدد منفی ۲۷۳,۱۵ درجه سانتی‌گراد، صفر مقیاس کلوین است. به عبارت دیگر به صفر مقیاس کلوین، صفر مطلق گفته می‌شود.



شکل (۸): مقیاس دمایی کلوین و مقایسه آن با مقیاس سلسیوس و فارنهایت