چگونگی رسیدن به دماهای خیلی پایین:

تدوین قانون سوم ترمودینامیک مدیون کوشش‌هائی است که در راه رسیدن به دماهای بسیار پایین به عمل آمده است. این کوشش‌ها از دهه ۱۸۶۰ آغاز شد. در آن دهه، شیوه‌های سردسازی تا آن اندازه پیشرفت کرده بود که مایع کردن گازها به کمک انبساط ژول- تامسون ممکن شده بود. چنان که، مایع کردن هوا و جدا کردن نیتروژن و اکسیژن از آن نیز عملی شده بود. نیتروژن مایع در $۷۷K$ و اکسیژن مایع در K ۹۰ می‌جوشد. نیتروژن مایع در حال حاضر به آسانی در معیار تجارتی تهیه می‌شود و از این‌رو، پژوهشگران برای رسیدن به دمای K ۷۷ مشکلی ندارند.

هیدروژن مایع که در K ۲۰ می‌جوشد در ۱۸۹۸ توسط جیمز دوئر تهیه شد. برای تهیه هیدروژن مایع، بایستی نخست آن را به کمک نیتروژن مایع تا زیر دمای وارونگیش، K ۱۹۳ سرد کرد و آنگاه آن را در انبساط ژول- تامسون شرکت داد تا سرد و مایع شود. به دنبال کار دوئر هلیم مایع که در K ۴/۲ می‌جوشد از همین راه در سال ۱۹۰۸ تهیه شد. از راه کاستن فشار روی هلیم مایع و تبخیر ملایم آن می‌توان دما را تا حدود K ۰/۸ پایین برد، اما این کار به پمپ‌های خلأ بسیار عظیم و فضای بسیار بزرگی برای بیرون راندن حجم‌های زیادی از گاز هلیم نیاز دارد، گذشته از آن مشکلات فنی زیاد دیگری نیز بر سر راه وجود دارد.

کوشش‌های زیادی نیز برای رسیدن به دماهای پایین‌تر از K ۱ به عمل آمده است. برای این کار، یا از خواص ویژه ایزوتوپ‌های هلیم $\left({}^{4}He\ ,\ {}^{3}He\right)$ سود می‌جویند و یا آن‌که از خواص مغناطیسی مواد استفاده می‌کنند. خواص مغناطیسی مواد زاییده وجود ممان مغناطیسی اتمی (ناشی از الکترون‌های زوج نشده) و یا ممان مغناطیسی هسته‌ای است.

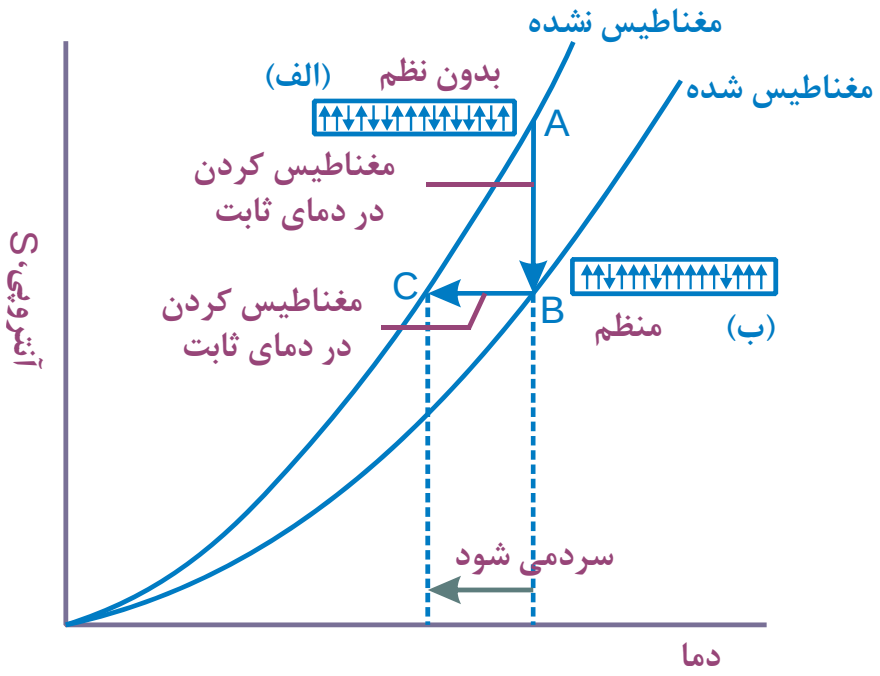
هر الکترون زوج نشده در یک جسم پارامغناطیس دارای یک ممان مغناطیسی است و از این نظر همچون یک مغناطیس کوچک عمل می‌کند. جهت‌گیری ممان‌ها در غیاب میدان مغناطیسی خارجی تصادفی است و از

شبکه رشد - شبکه ملی مدارس ایران
Olympiad.roshd.ir
www.ShimiPedia.ir

این‌رو، یک جسم پارامغناطیس، در چنین شرایطی، فاقد یک ممان مغناطیسی کلی است. اما هرگاه جسم پارامغناطیس در زیر تأثیر یک میدان مغناطیسی خارجی قرار گیرد، مغناطیس‌های اتمی ناشی از الکترون‌های فرد، خود را با میدان هماهنگ کرده و منظم می‌شوند. بدین ترتیب می‌توان گفت آنتروپی یک جسم پارامغناطیس وقتی که در زیر تأثیر یک میدان مغناطیسی خارجی قرار دارد کمتر از موقعی است که میدانی روی آن تأثیر نکند (به شکل خوب توجه کنید).

بر همین اساس بود که سرد کردن از راه مغناطیس‌زدایی آدیاباتیک، نخستین بار در سال ۱۹۳۹ توسط ژیوک مورد استفاده قرار گرفت. در این روش نخست یک جسم پارامغناطیس مانند سولفات گادولینیم با هشت آب تبلور را که تا حد امکان سرد شده است تحت تأثیر یک میدان مغناطیسی خارجی قرار می‌دهند و میدان را به تدریج بالا می‌برند. مغناطیس‌های اتمی به تدریج منظم می‌شوند و از این راه آنتروپی نمونه کاهش می‌یابد. این فرایند، فرایندی گرماده است و اگر گرمای آزاد شده، جبران نشود دمای نمونه بالا می‌رود. برای جبران گرمای آزاد شده و ثابت نگهداشتن دما، نمونه را در یک حمام هلیم مایع با دمای ثابت قرار می‌دهند. بدین ترتیب گرمای آزاد شده از فرایند مغناطیس شدن، به مصرف بخار کردن مقداری هلیم مایع می‌رسد و در نتیجه آن، دمای نمونه ثابت می‌ماند.

شبکه رشد – شبکه ملی مدارس ایران
Olympiad.roshd.ir
www.ShimiPedia.ir



از فن مغناطیس‌زدایی آدیاباتیک برای رسیدن به دماهای بسیار پایین استفاده می‌شود. منحنی رویی تغییر آنتروپی یک سیستم پارامغناطیس را در غیاب میدان خارجی نشان می‌دهد. منحنی زیری تغییر آنتروپی نمونه را در موقعی که زیر تأثیر یک میدان مغناطیسی خارجی قرار دارد نشان می‌دهد، مغناطیسهای الکترونی در این حالت منظم‌تر هستند. مرحله مغناطیس کردن در دمای ثابت از A تا B است، مرحله مغناطیس‌زدایی آدیاباتیک (در آنتروپی ثابت) از B تا C است.

در مرحله بعدی، ارتباط نمونه را با هر منبعی که بتواند با آن گرما مبادله کند قطع کرده و میدان مغناطیسی خارجی را به آهستگی کاهش می‌دهند. بدین ترتیب حذف کردن میدان مغناطیسی تا حدودی به طور برگشت‌پذیر و آدیاباتیک انجام می‌شود و دما از این راه کاهش می‌یابد. تا سال ۱۹۵۰، رسیدن به دمای ۰/۰۰۱ K با استفاده از این فن ممکن شده بود.

برای رسیدن به دماهای باز هم پایین‌تر، بایستی از اجسامی مانند مس که دارای ممان مغناطیسی هسته‌ای هستند استفاده کرد. مانند آنچه که گذشت نمونه‌ای از مس سرد شده را در دمای ثابت، زیر تأثیر یک میدان مغناطیسی خارجی قرار می‌دهند و میدان را به تدریج بسیار بالا می‌برند، آن‌گاه میدان را در شرایط آدیاباتیک و نسبتاً برگشت‌پذیر حذف می‌کنند تا دما از این راه باز هم پایین‌تر رود. رسیدن به دمای در حدود $10^{-5}\,K$ با

Olympiad.roshd.ir
www.ShimiPedia.ir
شبکه رشد – شبکه ملی مدارس ایران

استفاده از این روش بدون اشکال زیادی عملی است. در هر حال، در حال حاضر بـا اسـتفاده از فنهـای پیـشرفته و میدان‌های فوق‌العاده قوی، رکورد دماهای پایین را به ۲۰ nK یا $2\times10^{-8}\,K$ رسانده‌اند که در واقع دمائی بسیار پایین است.

هر چند که تا رسیدن به ۰ K ، تنها ۲۰ nK یا $2\times10^{-8}\,K$ مانده است، اما قانون سوم ترمودینامیک بر آن است که حذف کامل همین مقدار بسیار اندک دمای باقیمانده و رسیدن به دمای ۰ K ناممکن اسـت. در واقـع کارآیی فنهای سردسازی در دماهای پایین‌تر کمتر می‌شود. هر اندازه دما به ۰ K نزدیکتر شود، کارآیی فن به کـار رفته برای سرد کردن کمتر می‌شود، به طوری که در نزدیکی صفر مطلق کارآیی تقریبـاً صـفر مـی‌شـود. از ایـن‌رو، رسیدن به دمای صفر مطلق (۰ K) ناممکن است و این خود بیانی از قانون سوم ترمودینامیک است.

قانون سوم: رسیدن به دمای $T = 0\ K$ از راه یک تعداد مرحله‌های متناهی سردسازی ناممکن است.

شبکه رشد – شبکه ملی مدارس ایران
Olympiad.roshd.ir
www.ShimiPedia.ir