

مهره‌های جهنده-مدلی برای گذار فاز و ناپایداری (۱۰ نمره)

لطفاً راهنمای کلی موجود در پاکت جداگانه را قبل از شروع این مسئله بخوانید.

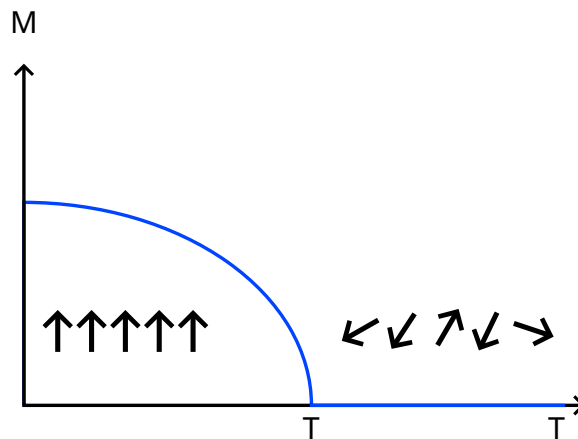
مقدمه

گذارهای فاز در زندگی روزمره پدیده‌های شناخته شده‌ای هستند، نظیر آب که به حالت‌های مختلفی مانند جامد، مایع و بخار در می‌آید. این حالت‌های مختلف به وسیله‌ی گذار فاز از هم جدا می‌شوند و رفتار جمعی ملکول‌ها از یک حالت به حالت دیگر تغییر می‌کند. گذار فاز همیشه وابسته به یک دمای گذار است که در این حالت ماده تغییر می‌کند، به عنوان مثال دماهایی که آب در آن یخ می‌زند یا می‌جوشد.

گذارهای فاز در سیستم‌های دیگری نظیر آهنرباها یا ابررساناها نیز اتفاق می‌افتد. به طور نمونه در آهنرباها تغییر حالت ماکروسکوپی از پارامغناطیس به فرومغناطیس و در ابررساناها از یک رسانای معمولی به ابررسانا در دمایی زیر یک دمای بحرانی انجام می‌شود.

همه‌ی این گذارهای فاز در یک چارچوب واحد با معرفی کمیتی به نام پارامتر نظم قابل توصیف‌اند. مثلاً در یک نمونه مغناطیسی، پارامتر نظم به هم‌سویی ممان‌های مغناطیسی (گشتاور دوقطبی مغناطیسی) اتم‌ها با یک مغناطش ماکروسکوپی وابسته است.

در گذارهای فاز پیوسته، پارامتر نظم همواره بالای دمای بحرانی صفر است و زیر دمای بحرانی به طور پیوسته افزایش می‌یابد، که برای یک آهنربا به طور شماتیک در شکل ۱ نشان داده شده است. شکل، همچنین نظم میکروسکوپی در یک آهنربا را در حالت فرومغناطیس که ممان‌های مغناطیسی با هم، هم‌سو شده‌اند، نشان می‌دهد. این هم‌سویی منجر به یک مغناطش ماکروسکوپی می‌شود. از سوی دیگر جهت‌گیری تصادفی و یا بی‌نظمی آن‌ها در فاز پارامغناطیس منجر به مغناطش ماکروسکوپی صفر می‌شود.



شکل ۱: نمایش شماتیک وابستگی پارامتر نظم M به دما در یک گذار فاز. زیر دمای بحرانی T_{crit} ، پارامتر نظم غیر صفر است و با کاهش دما افزایش می‌یابد در حالی که بالای دمای T_{crit} صفر است.

برای گذارهای فاز پیوسته، در حالت کلی و در نزدیکی یک گذار، پارامتر نظم از یک قاعده‌ی توانی پیروی می‌کند، به عنوان مثال در مغناطیس، مغناطش M زیر دمای بحرانی، T_{crit} ، با معادله‌ی زیر توصیف می‌شود:

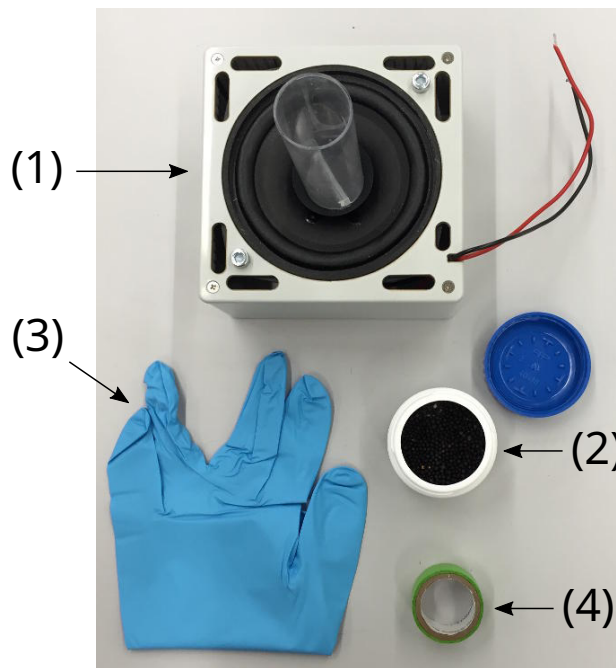
$$M \begin{cases} \sim (T_{crit} - T)^b, & T < T_{crit} \\ = 0, & T > T_{crit} \end{cases} \quad (1)$$

که T دما است. آنچه بیشتر مایه‌ی تعجب است آن است که این رفتار جهان شمول (universal) است بدین معنی که نمای این قاعده‌ی توانی برای بسیاری از گذار فازهای مختلف یکسان است.

هدف

ما مثال ساده‌ای را مطالعه می‌کنیم که در آن بعضی از خواص گذارهای فاز پیوسته قابل بررسی است، مانند این که چگونه یک ناپایداری منجر به رفتار جمعی ذرات و نهایتاً گذار فاز می‌شود یا این که چگونه تغییر ماکروسکوپی به یک برانگیختگی (آشفستگی) از ذرات بستگی دارد. در گذارهای فاز رایج این برانگیختگی معمولاً به وسیله‌ی دما اعمال می‌شود. در مثال ما برانگیختگی، شامل انرژی جنبشی ذراتی است که به وسیله‌ی یک بلندگو به حرکت در می‌آیند. تغییر ماکروسکوپی متناظر با گذار فازی که ما در اینجا مطالعه می‌کنیم این است که ذرات در یک نیمه‌ی استوانه‌ای قرار گیرند که با دیوار کوچکی از نیمه‌ی دیگر جدا شده است. با افزایش دامنه از وضعیتی که ذرات در یک نیمه استوانه توزیع شده‌اند به وضعیتی می‌رسیم که ذرات به طور مساوی در دو نیمه توزیع می‌شوند. این امر متناظر با دادن گرما به سیستم و عبور از دمای بحرانی است. هدف، تعیین نمای بحرانی برای گذار فازی است که در اینجا مشغول مطالعه‌ی آن هستیم.

لیست وسایل



شکل ۲: تجهیزات خاص برای این آزمایش.

۱. بلندگویی که یک استوانه‌ی پلاستیکی بر روی آن نصب شده است.
۲. حدود ۱۰۰ دانه خشخاش یا مهره کوچک (در یک ظرف پلاستیکی)
۳. یک دستکش
۴. نوار چسب

احتیاط مهم

- نیروی جانبی (افقی) به استوانه‌ی پلاستیکی روی بلندگو وارد نکنید. توجه داشته باشید غشاء روی بلندگو یا استوانه پلاستیکی پاره نشود زیرا جایگزینی در اختیار شما قرار داده نمی‌شود.

- بلندگو را زمانی که از آن استفاده نمی‌کنید خاموش کنید تا از مصرف غیر ضروری باتری جلوگیری شود.
- در این آزمایش، یک سیگنال دندانه اره‌ای 4 Hz به وسیله‌ی یک منبع تولید سیگنال به بلندگو اعمال می‌شود.
- دامنه‌ی سیگنال دندانه اره‌ای با استفاده از پیچ تعبیه شده روی پتانسیومتر که با برچسب **amplitude speaker** مشخص شده (شماره ۴) قابل تنظیم است. یک ولتاژ DC که متناسب با دامنه‌ی سیگنال است بر روی صفحه نمایشی که (از طریق سوکت مانیتور - شماره ۶) متصل به **amplitude speaker** است، (نسبت به سوکت زمین GND - شماره ۷) قابل خواندن است. شماره‌های مذکور (۶ و ۷) در شکل ۲ دستورالعمل کلی مشخص شده‌اند.
- غشاء بلندگو ظریف است. مواظب باشید فشار افقی یا عمودی زیاد به آن وارد نکنید.

قسمت A. دامنه‌ی برانگیختگی بحرانی (۳/۳ نمره)

قبل از این که اهداف آزمایش را شروع کنید، سیم بلندگو را به پایانه‌های جانبی مولد سیگنال وصل کنید. مطمئن شوید که قطب‌های مثبت و منفی را درست می‌بندید. تعدادی دانه‌ی خشخاش، مثلاً ۵۰ تا، را داخل استوانه نصب شده روی بلندگو بریزید و با استفاده از یک تکه از دستکش، بالای استوانه را ببندید تا دانه‌ها از استوانه بیرون نریزند. با استفاده از کلید خاموش و روشن، دستگاه را روشن کنید تا دانه‌ها شروع به جهش کنند و سپس با چرخاندن پیچ پتانسیومتر که با برچسب amplitude speaker (شماره ۴) مشخص شده به وسیله‌ی یک پیچ‌گوشتی، دامنه را تنظیم کنید. جمع شدن دانه‌ها در یک نیمه را با تغییرات دامنه مشاهده کنید.

هدف اول تعیین دامنه‌ی برانگیختگی بحرانی این گذار است. برای این منظور شما باید تعداد دانه‌ها، N_1 و N_2 (به نحوی که $N_1 \leq N_2$)، در دو بخش استوانه را به عنوان تابعی از دامنه‌ی جابجایی A_D تعیین کنید، که همان ولتاژ اندازه‌گیری شده در (سوکت شماره ۶) speaker amplitude است. این ولتاژ متناسب با دامنه‌ی سیگنال دندانه‌اره‌ای داده شده به بلندگو است. حداقل ۵ اندازه‌گیری به ازای هر ولتاژ انجام دهید.

راهنمایی:

- برای این که همواره ذرات در حال حرکت برای مطالعه داشته باشید دامنه‌های متناظر با ولتاژهای بیشتر از 0.7 V روی speaker amplitude را بررسی کنید. آزمایش را ابتدا با مشاهده‌ی رفتار سیستم در اثر تغییرات اندک ولتاژ و بدون شمارش مهره‌ها شروع کنید. ممکن است بعضی از مهره‌ها به دلایل الکترواستاتیکی به کف استوانه چسبیده باشند، آن‌ها را در شمارش به حساب نیاورید.

| | | |
|------------|---|-------|
| A.1 | اندازه‌گیری‌های خود از تعداد ذرات N_1 و N_2 در هر یک از دو نیمه‌ی ظرف را به ازای دامنه‌های مختلف A_D در جدول A.1 ثبت کنید. | 1.2pt |
| A.2 | انحراف معیار مربوط به اندازه‌گیری‌های N_1 و N_2 را محاسبه و نتایج را در جدول A.1 لیست کنید. نمودار N_1 و N_2 را به عنوان تابعی از دامنه‌ی A_D نشان داده شده روی صفحه نمایش، به همراه خطای هر یک (در نمودار A.2) رسم کنید. | 1.1pt |
| A.3 | از روی نمودار، دامنه‌ی بحرانی $A_{D,crit}$ را که در آن $N_1 = N_2$ تعیین نمایید، صبر کنید تا یک حالت پایا حاصل شود. | 1pt |

قسمت B. زینه بندی (کالیبراسیون) (۳/۲ نمره)

دامنه‌ی A_D نشان داده شده روی صفحه نمایش متناظر با ولتاژ اعمالی به بلندگو است. اما کمیت فیزیکی جالب، بیشینه‌ی جابجایی نوسان بلندگو، A ، است، زیرا این کمیت است که نشان می‌دهد دانه‌ها با چه قدرتی برانگیخته شده‌اند. در نتیجه نیاز به کالیبره کردن دامنه‌ی نشان داده شده روی صفحه نمایش داریم. برای این منظور می‌توانید از هر یک از مواد یا وسایلی که در اختیار شماست استفاده کنید.

| | | |
|------------|---|-------|
| B.1 | طرحی از روش آزمایشی که از آن برای اندازه‌گیری دامنه‌ی برانگیختگی استفاده می‌کنید بکشید، منظور بیشینه فاصله، A (بر حسب mm) است که بلندگو در یک دوره تناوب جابجا می‌شود. | 0.5pt |
| B.2 | دامنه‌ی A را بر حسب mm با استفاده از تعداد مناسبی نقطه تعیین کنید، یعنی دامنه‌ی A را به عنوان تابعی از دامنه‌ی A_D نشان داده شده روی صفحه نمایش در جدول B.2 ثبت کنید و خطای اندازه‌گیری‌ها را تعیین کنید. | 0.8pt |
| B.3 | نمودار داده‌ها را به همراه خطای آن‌ها در نمودار B.3 رسم کنید. | 1.0pt |
| B.4 | پارامترهای منحنی حاصله را با استفاده از برازش مناسب تعیین کنید و A را به عنوان تابعی از A_D بنویسید. | 0.8pt |

0.1pt

دامنه‌ی برانگیختگی بحرانی A_{crit} دانه‌های خشخاش را تعیین کنید. **B.5**

قسمت C. نمای بحرانی (۳/۵ نمره)

در سیستم ما، دما متناظر با انرژی جنبشی حاصل از برانگیختگی است. این انرژی متناسب با مربع سرعت بلندگو است، یعنی $v^2 = A^2 f^2$ ، که f بسامد نوسان است. ما می‌خواهیم این بستگی را بیازماییم و نمای b در رابطه‌ی توانی حاکم بر رفتار پارامتر نظم را تعیین کنیم (معادله‌ی ۱ را ببینید).

1.1pt

عدم توازن، $\left| \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right|$ ، کاندید خوبی برای پارامتر نظم در سیستم ما است، چرا که بالای دامنه‌ی بحرانی صفر و در برانگیختگی‌های پایین برابر ۱ است. این پارامتر نظم را به عنوان تابعی از دامنه A تعیین کنید. نتایج را در جدول C.1 ثبت کنید. **C.1**

1pt

عدم توازن، $\left| \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right|$ ، را به عنوان تابعی از $|A^2 - A_{\text{crit}}^2|$ در نمودار C.2 که هر دو محور آن دارای مقیاس لگاریتمی است رسم کنید. می‌توانید از جدول C.1 برای محاسبات استفاده کنید. ممکن است به نظر برسد که نقاط روی نمودار رفتار خطی ندارند، لکن یک رگرسیون خطی باید انجام شود تا با فرمول نمای بحرانی همخوانی داشته باشد. **C.2**

1.4pt

نمای بحرانی b را تعیین و خطای آن را برآورد کنید. **C.3**