

მოხტუნავე მარცვლები: ფაზური გადასვლებისა და არასტაბილურობების მოდელი (10 ქულა)

სანამ დაიწყებთ ამოცანის შესრულებას, გაეცანით ზოგად ინსტრუქციას, რომლებიც ცალკე კონვერტშია მოთავსებული.

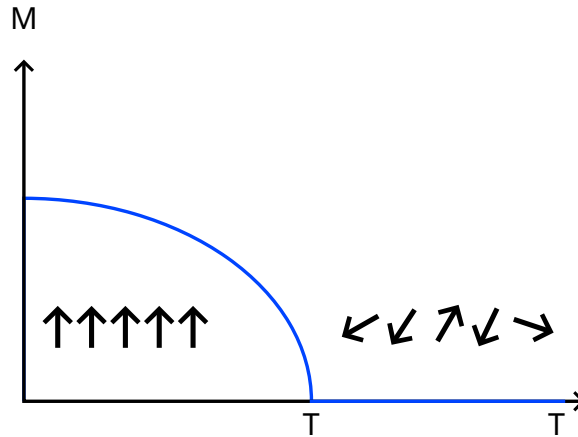
შესავალი

ფაზური გადასვლები კარგადაა ცნობილი ყოველდღიურ ცხოვრებაში, მაგალითად წყალი იღებს სხვადასხვა აგრეგატულ მდგომარეობას - მყარი, თხევადი და აირადი. ეს განსხვავებული მდგომარეობები გაყოფილია ერთმანეთისაგან ფაზური გადასვლებით, სადაც ხდება მოლეკულების კოლექტიური ყოფაქცევის ცვლილება. ასეთი ფაზური გადასვლები ყოველთვის დაკავშირებულია გადასვლის ტემპერატურასთან, რომელზეც ხდება აგრეგატული მდგომარეობის ცვლილება. მაგალითად, წყლის გაყინვისა და ადულების ტემპერატურა ზედა მაგალითებში.

ფაზური გადასვლები უფრო ფართოდაცაა გავრცელებული და ხდება სხვა სისტემებშიც, როგორებიცაა მაგნიტები და ზეგამტარები, რომელთა მაკროსკოპული მდგომარეობა გადასვლის ტემპერატურის ქვევით შესაბამისად იცვლება პარამაგნეტიკიდან ფერომაგნეტიკამდე და ნორმალური გამტარობა ზეგამტარობით.

ყველა ეს გადასვლა შეიძლება აღწერილი იქნას საერთო მიდგომით, თუ შემოვიტანთ ე. წ. მოწესრიგების პარამეტრს. მაგალითად, მაგნეტიზმში მოწესრიგების პარამეტრი დაკავშირებულია ატომების მაგნიტური მომენტების მოწესრიგებასთან და მაკროსკოპული დამაგნიტების გაჩენასთან.

ეგრეთწოდებული უწყვეტი ფაზური გადასვლებისას მოწესრიგების პარამეტრი ყოველთვის ნულის ტოლიაკრიტიკული ტემპერატურის ზემოთ, ხოლო ამ ტემპერატურის დაბლა იწყებს უწყვეტად ზრდას, როგორც ეს ნახ.1-ზე მაგნიტისთვისაა ნაჩვენები. უწყვეტი ფაზური გადასვლის ტემპერატურას ეწოდება კრიტიკული ტემპერატურა. ამ ნახატზე, აგრეთვე, მოცემულია მიკროსკოპული მდგომარეობის სქემატური წესრიგი, როდესაც ცალკეული მაგნიტური მომენტი განლაგდება ერთი მიმართულებით ფერომაგნეტიკში, და უწესრიგობა, მაშინ როცა პარამაგნეტიკში ისინი ორიენტირებული არიან შემთხვევით და ამის გამო მაკროსკოპული დამაგნიტება ნულის ტოლია.



ნახ.1: ფაზური გადასვლისას მოწესრიგების M პარამეტრის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების სქემატური წარმოდგენა. კრიტიკული ტემპერატურის T_{crit} ქვევით მოწესრიგების პარამეტრი იზრდება და არაა ნულის ტოლი, მაშინ როცა კრიტიკული ტემპერატურის მაღლა ის ნულის ტოლია.

უწყვეტი ფაზური გადასვლებისათვის, ზოგადად ნაპოვნია რომ კრიტიკული ტემპერატურის მახლობლობაში მოწესრიგების პარამეტრის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება აღინერება მაჩვენებლიანი ფუნქციით. მაგალითად, T_{crit} კრიტიკული ტემპერატურის ქვევით M დამატებითა მოიცემა ფორმულით

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

სადაც T ტემპერატურაა. უფრო მეტიც, ეს ყოფაქცევა უნივერსალურია და ფაზური გარდაქმნების მრავალი სახე აღინერება ერთი და იმავე ხარისხის მაჩვენებლით.

დავალება

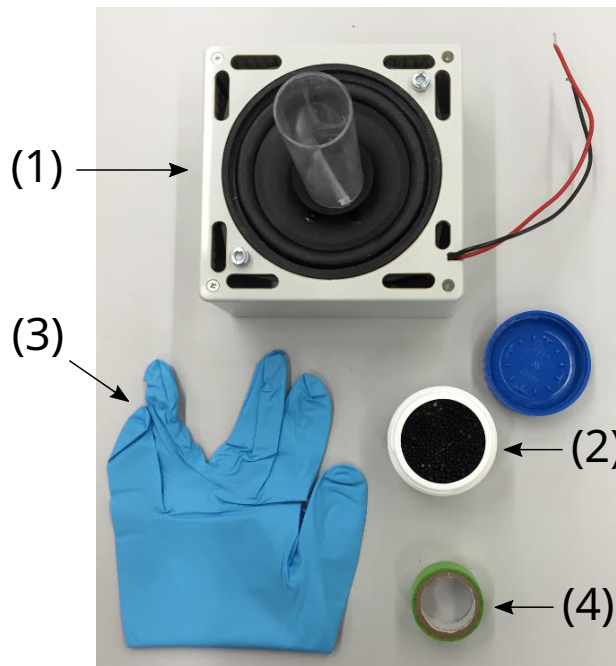
ჩვენ განვიხილვთ მარტივ მაგალითს, რომლის დახმარებითაც შეიძლება შევისწავლოთ უწყვეტი ფაზური გადასვლების ზოგიერთი თვისებები, მაგალითად, თუ როგორ მივყავართ არასტაბილურობას ნაწილაკების კოლექტიურ ქცევამდე და, მაშასადამე, ფაზურ გადასვლამდე ან როგორაა დამოკიდებული მაკროსკოპული ცვლილება ნაწილაკების აღგზნებაზე.

ზოგადად, ფაზურ გადასვლებში ეს აღგზნება გამოწვეულია ტემპერატურის ცვლილებით. ჩვენ მაგალითში ეს აღგზნება შედგება დინამიკით აჩქარებული ნაწილაკების კინეტიკური ენერჯისაგან. მდგომარეობის მაკროსკოპული ცვლილება, რომელიც შეესაბამება მოცემულ დავალებაში ფაზურ გადასვლას, მდგომარეობს მარცვლების დაგროვებაში ჭურჭლის ერთი ნახევრიდან მეორეში, რომლებიც გაყოფილი არიან ერთმანეთისაგან პატარა კედლით.

იმ მდგომარეობიდან, როცა ყველა ნაწილაკი იმყოფება ცილინდრის ერთ მხარეს, ამპლიტუდის თანდათანობითი გაზრდით თქვენ აღმოაჩენთ, რომ ბოლოს და ბოლოს ნაწილაკები თანაბრად განაწილდება ჭურჭლის ორივე მხარეს. ეს განაწილება შეესაბამება კრიტიკულზე ზევით ტემპერატურის გაზრდას.

თქვენ ამოცანას წარმოადგენს აქ შესასწავლი მოდელოური ფაზური გადასვლის კრიტიკული მაჩვენებლის განსაზღვრა.

ხელსაწყოების ჩამონათვალი



ნახ.2: მოცემული ექსპერიმენტის დამატებითი აღჭურვილობა.

1. დინამიკის ნაკრები, ზემოდან დამაგრებული პლასტიკური ცილინდრით
2. პლასტმასის კონტეინერში დაახლოებით 100 მარცვალი
3. ხელთათმანი
4. წებოვანი ლენტა

მნიშვნელოვანი გაფრთხილება

- დინამიკზე დამაგრებულ ცილინდრზე არ იმოქმედოთ დიდი ძალით. გაითვალისწინეთ, რომ აკუსტიკური მემბრანისა და პლასტიკური ცილინდრის დაზიანების შემთხვევაში ისინი არ გამოიყვლება.
- თუ კი დინამიკი არ გამოიყენება გამორთეთ იგი, თავიდან რომ აიცილოთ ბატარეის დაჯდომა.
- ამ ექსპერიმენტში ხერხისმაგვარი 4ჰც-იანი სიგნალი გამოიყვანება დინამიკის მომჭერებზე, რომლებიც განლაგებულია სიგნალების გენერატორის გვერდითა მხარეს.
- ხერხისმაგვარი სიგნალის ამპლიტუდა შეიძლება ვარეგულიროთ მარჯვენა პოტენციომეტრის სახელურის speaker amplitude (4)-ის ბრუნვით. დინამიკის ამპლიტუდის

მონიტორინგის ბუდესა (6) და GND ბუდეს (7) შორის მუდმივი ძაბვა პროპორციულია დინამიკის რხევის ამპლიტუდის. ნუმერაცია შეესაბამება ზოგად ინსტრუქციაში ნახატ 2-ზე ნაჩვენებს.

- დინამიკის მემბრანა მგრძობიარეა. დარწმუნდით, რომ არ იყენებთ ზედმეტ დატვირთვას მასზე.

ნაწილი A. აღზნების კრიტიკული ამპლიტუდა (3.3 ქულა)

სანამ შეუდგებოდეთ დავალების შესრულებას, მიუერთეთ დინამიკი სიგნალის გენერატორის ტერმინალებს (დარწმუნდით, რომ ჰოლუსები სწორადაა შერჩეული). მოათავსეთ რამდენიმე (მაგალითად, 50) მარცვალი დინამიკზე დამონტაჟებულ ცილინდრში და დააფარეთ რეზინის ხელთათმანიდან მოჭრილი ნაჭერი იმისათვის, რომ მარცვლები არ ამოვარდნენ ცილინდრიდან. ჩართეთ აღზნების წყარო ტუმბლერის (8) საშუალებით და არეგულირეთ სიგნალის ამპლიტუდა მარცვენა პოტენციომეტრის სახელურის speaker amplitude (4) ბრუნვით. ამისათვის გამოიყენეთ სახრახნისი. დააკვირდით მარცვლების დაყოფას სხვადასხვა ამპლიტუდის დროს.

თქვენი პირველი დავალებაა განსაზღვროთ ამპლიტუდის ის კრიტიკული მნიშვნელობა, როდესაც მარცვლები იწყებენ ჭურჭლის ერთი ნაწილიდან მეორეში გადახტომას. ამისათვის უნდა იპოვოთ ჭურჭლის ორივე ნახევარში N_1 და N_2 მარცვლების რაოდენობა (აირჩიეთ ნახევრები ისე, რომ $N_1 \leq N_2$) როგორც სიგნალის გენერატორის A_D ამპლიტუდის ფუნქცია. ეს ამპლიტუდა შეესაბამება დაბვის ამპლიტუდას გამოსავალზე «speaker amplitude» (6). ეს დაბვა ხერხისებური სიგნალის ამპლიტუდის პროპორციულია, რომელიც ამუშავებს დინამიკს. გააკეთეთ არანაკლებ 5 გაზომვისა ერთ დაბვაზე.

მითითება:

- იმისათვის, რომ მარცვლები ყოველთვის მოძრაობაში იყვნენ speaker amplitude-ის დაბვა უნდა იყოს 0.7-ზე მაღალი. სისტემის ყოფაქცევაზე დაკვირვება დაიწყეთ დაბვის მცირე ცვლილებით მარცვლების დათვლის გარეშე. შეიძლება აღმოჩნდეს, რომ მარცვლები მიეკვრებიან ფსკერს ელექტრული დამუხტვის გამო. ასეთი მარცვლები მხედველობაში არ მიიღოთ.

A.1 ჭურჭლის ორივე ნახევარში მარცვლების რაოდენობა N_1 და N_2 ჩანერეთ **Table A.1 -ში** A_D ამპლიტუდის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის. 1.2pt

A.2 გამოთვალეთ გაზომილი მარცვლების რაოდენობის N_1 და N_2 -ის საშუალო კვადრატული გადახრა და ჩანერეთ მიღებული შედეგები **Table A.1 -ში**. ააგეთ ცდომილებების გათვალისწინებით მარცვლების N_1 და N_2 რაოდენობების A_D ამპლიტუდაზე დამოკიდებულების გრაფიკი. 1.1pt

A.3 თქვენი გრაფიკის დახმარებით იპოვეთ ამპლიტუდის კრიტიკული მნიშვნელობა $A_{D,crit}$, რომლის დროსაც $N_1 = N_2$ დიდი დროის შემდეგ, როდესაც დამყარდება სტაციონალური მდგომარეობა.. 1pt

ნაწილი B. ყალიბრება (3.2 ქულა)

A_D ამპლიტუდა შეესაბამება დინამიკზე დაბვას. მაგრამ ფიზიკურად საინტერესო სიდიდეს წარმოადგენს დინამიკის რხევების მაქსიმალური წანაცვლება A , ვინაიდან იგი ძლიერაა დაკავშირებული მარცვლების აღზნებასთან. ამიტომ საჭიროა გააკეთოთ ამპლიტუდის ყალიბრება, იპოვოთ მოცემული დაბვის ამპლიტუდას შესაბამისი რხევის ამპლიტუდა. ამისათვის თქვენ შეგიძლიათ გამოიყენოთ თქვენს ხელთ არსებული ნებისმიერი რამ.

B.1	დახატეთ ალგზნების ამპლიტუდის გასაზომი იმ ხელსაწყოს ესკიზი, რომელიც ზომავს რხევის ერთი პერიოდის განმავლობაში დინამიკის მაქსიმალურ წანაცვლებას A (მმ-ში).	0.5pt
B.2	იპოვეთ ამპლიტუდა A მმ-ში წერტილების საჭირო რაოდენობისათვის, ანუ ჩაწერეთ A როგორც A_D -ს ფუნქცია B.2 ცხრილში და მიუთითეთ გაზომვის ცდომილებები.	0.8pt
B.3	თქვენი მონაცემებით და ცდომილებების გათვალისწინებით ააგეთ B.3 გრაფიკი	1.0pt
B.4	საჭირო წირის გამოყენებით მიიღეთ $A(A_D)$ ფუნქციის განმსაზღვრელი პარამეტრები .	0.8pt
B.5	განსაზღვრეთ მარცვლებისათვის A_{crit} კრიტიკული ამპლიტუდა.	0.1pt

ნაწილი C. კრიტიკული მაჩვენებელი (3.5 ქულა)

ჩვენ სისტემაში ტემპერატურა შეესაბამება ალგზნებისთვის გადაცემულ კინეტიკურ ენერგიას. ეს ენერგია პროპორციულია დინამიკის მემბრანის რხევის სიჩქარის კვადრატის $v^2 = A^2 f^2$, სადაც f არის რხევის სიხშირე. ჩვენ ახლა შევამოწმებთ ამ დამოკიდებულებას და ვიპოვით ხარისხის b მაჩვენებელს, რომელიც აღწერს მოწესრიგების პარამეტრს (იხ. განტოლება 1).

C.1	$\left \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right $ შეფარდება კარგი კანდიდატია ჩვენი ამოცანის მოწესრიგების პარამეტრის როლში იმ თვალსაზრისით, რომ იგი ნულის ტოლია კრიტიკული ამპლიტუდის ზევით და ტოლია 1-ის სისტემის მცირე ალგზნებისას. იპოვეთ მოწესრიგების ეს პარამეტრი როგორც A ამპლიტუდის ფუნქცია. ჩაწერეთ თქვენი შედეგები C.1 ცხრილში.	1.1pt
C.2	C.2 გრაფიკზე ააგეთ $\left \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right $ შეფარდების $ A_{crit}^2 - A^2 $ -ზე დამოკიდებულების ფუნქცია. გრაფიკის ღერძებად აიღეთ ლოგარითმული მასშტაბი. გამოთვლებისათვის შეგიძლიათ გამოიყენოთ C.1 ცხრილი. შეიძლება ისე ჩანდეს, რომ გრაფიკის წერტილები არ ემორჩილებიან წრფივ თანაფარდობას. მიუხედავად ამისა უნდა გაკეთდეს წრფივი რეგრესია ფუნქციის ხარისხის მაჩვენებლის კრიტიკული ფორმულის შესაბამისად.	1pt
C.3	განსაზღვრეთ ფუნქციის ხარისხის b მაჩვენებელი და შეაფასეთ გაზომვის ცდომილება.	1.4pt