

Mecânica Estatística - 1º semestre de 2017

Professor: Gabriel Teixeira Landi

Informações gerais

- **Aulas:** 4a das 21 as 23h e 6a das 19 as 21h.
- **Local:** Auditório Sul, Ala Central
- **Página da disciplina:** www.fmt.if.usp.br/~gtlandi
 - Ir em `Lecture Notes` → `Statistical Mechanics`
 - As notas de aula, listas de exercício e materiais suplementares serão colocados todos nesta página.

Contato

- Sala 211, conjunto Alessandro Volta, Bloco C.
- Ramal: 916776.
- e-mail: gtlandi@if.usp.br
 - Sinta-se a vontade para passar na minha sala sempre que quiser. Em geral a probabilidade de me encontrar é maior durante o dia.
- Monitora: Marli Cantarino.
 - Horário de atendimento: a ser determinado.

Sobre a mecânica estatística

Mecânica estatística é atualmente uma teoria muito bem estabelecida, com ramificações nas mais diversas áreas da ciência, indo de cosmologia à física de partículas e da biologia à economia. Historicamente, no entanto, a mecânica estatística foi desenvolvida como parte da *física da matéria condensada*. E este é um bom ponto de partida para procurarmos uma motivação.

Física da matéria condensada é o nome que damos para todas as teorias que descrevem a matéria no nível macroscópico e mesoscópico, indo desde sólidos, líquidos e gases, até nanoestruturas e moléculas biológicas. De uma forma simplificada, podemos imaginar que este mundo macroscópico é caracterizado por um conjunto de *números*. Por exemplo, temos a viscosidade de um fluido, a resistividade de um fio metálico, a magnetização do ferro, e assim por diante. O principal objetivo da física da matéria condensada é **entender** estes números. Por que o cobre conduz eletricidade melhor que

o grafite? Por que o ferro é magnético e o cromo não? Por que o nióbio se torna supercondutor a baixas temperaturas e o ouro não?

Hoje nós sabemos que para entender estes números precisamos olhar para o mundo *microscópico*, habitado por prótons, elétrons, átomos e moléculas. Nós entendemos os “macro-números” como sendo **propriedades emergentes** das complexas interações entre estes constituintes fundamentais.¹ O conceito de propriedades emergentes é extremamente importante e permeia grande parte da pesquisa feita atualmente em física e outras disciplinas: quando se trata de sistemas interagentes, o todo deixa de ser a soma das partes. Um átomo de ferro sozinho não é ferromagnético. Pelo contrário, o ferromagnetismo surge da *interação* entre um conjunto enorme de átomos de ferro. Da mesma forma, não é o comportamento de um neurônio que rege as ações de um indivíduo, mas sim o comportamento coletivo de diversos neurônios interagentes.

Surge desta discussão, portanto, a necessidade de se estabelecer uma **ponte** entre o mundo microscópico e o mundo macroscópico. Ou seja, uma rota para se extrair propriedades macroscópicas, dadas as interações microscópicas básicas. Eu não preciso nem dizer que, em geral, encontrar tal conexão é uma tarefa impossível. Afinal, o mundo microscópico é habitado por mols de partículas, todas elas interagindo de maneira extremamente complexa. Apesar disso, por mais incrível que possa parecer, em certas ocasiões tal ponte pode ser estabelecida. Mecânica estatística é o nome que damos para uma dessas pontes.

A principal idéia da mecânica estatística é explorar a **aleatoriedade** do mundo microscópico afim de extrair padrões emergentes. A primeira vista pode parecer estranho que, de uma bagunça total, algo simples e ordeiro possa emergir. No entanto, você vivencia isso todos os dias. Tome como exemplo um copo d’água. Você já parou para pensar o quão complicado é um copo d’água? Ele é composto por mols e mols de moléculas, todas interagindo umas com as outras através de forças complicadas e altamente caóticas. Mesmo assim, todos nós sabemos que podemos descrever as propriedades de um copo d’água usando apenas algumas variáveis, como volume, pressão, temperatura, etc.

Essa idéia, de que algo simples pode emergir de algo extremamente complicado, é a base de toda a mecânica estatística. Nós a encontraremos diversas vezes durante esse curso.

Sobre o curso

A primeira parte deste curso será dedicada a um estudo mais aprofundado da teoria da probabilidade, que forma a base da mecânica estatística. Em seguida passaremos a discutir as propriedades de sistemas em equilíbrio térmico, com um foco em aplicações. Entre elas mencionamos um estudo

¹Estas idéias foram discutidas de maneira brilhante por P. W. Anderson no artigo “More is different”, *Science*, **177**, 393 (1972).

sobre gases, paramagnetismo, radiação de corpo negro e vibrações da rede cristalina. Estudaremos também a teoria do ferromagnetismo e a teoria de Landau de transições de fase. Na última parte do curso focaremos em gases quânticos e discutiremos aplicações importantes como a condensação de Bose-Einstein e o gás de elétrons. Veja a seguir a lista detalhada de tópicos que iremos abordar:

1. Teoria da probabilidade.
 - (a) Variáveis aleatórias discretas e contínuas.
 - (b) Transformações de variáveis.
 - (c) Função característica e cumulantes.
 - (d) Cadeias de Markov.
2. Sistemas em equilíbrio térmico.
 - (a) Fundamentos e exemplos simples.
 - (b) Gases ideais; gases com estrutura interna.
 - (c) Paramagnetismo.
 - (d) Fótons; radiação de corpo negro.
 - (e) Fônons; vibrações da rede cristalina.
3. Transições de fase, ferromagnetismo e gases quânticos
 - (a) Teoria de campo médio.
 - (b) Modelo de Ising em 2D; método de Monte Carlo.
 - (c) Teoria de Landau e histerese.
 - (d) Gás de elétrons livres e a distribuição de Fermi-Dirac.
 - (e) Condensados de Bose-Einstein.

Avaliação

A avaliação do curso será baseada em duas provas e listas de exercícios, a serem entregues periodicamente.

- **Prova 1:** dia 07/04/2017 (sexta-feira). Peso: 20%
- **Prova 2:** dia 12/05/2017 (sexta-feira). Peso: 20%
- **Prova 3:** dia 23/06/2017 (sexta-feira). Peso: 20%
- **Listas.** Peso: 40%.

A nota das listas só será incluída na média final se o aluno obtiver uma média ≥ 5 nas duas provas. Ou seja,

$$\text{Média final} = \begin{cases} 0.2P_1 + 0.2P_2 + 0.2P_3 + 0.4L, & \text{se } \frac{P_1+P_2+P_3}{3} \geq 5 \\ \frac{P_1+P_2+P_3}{3}, & \text{se } \frac{P_1+P_2+P_3}{3} < 5 \end{cases}$$

onde L é a média aritmética das listas. Será considerado aprovado o aluno com média final ≥ 5 .

- **Dica de sucesso:**

- Se você não está interessado em fazer as listas, não perca tempo com esse curso.
- Passar no curso sem fazer as listas é quase impossível.

- **Prova substitutiva:**

- *Somente* para quem perdeu alguma das provas.
- Versa sobre todo o conteúdo do semestre.
- Substitui a nota da prova perdida.
- Não precisa justificar o motivo da falta.
- **Data:** 30/06/2017 (sexta-feira).

- **Recuperação**

- Para os estudantes com média entre 3 e 5.
- Forma de avaliação: uma prova versando sobre todo o conteúdo do curso.
- **Data:** 14/07/2017 (sexta-feira).
- A média final será calculada como

$$\text{Média final} = 0.6P_{\text{rec}} + 0.4L$$

- **Atenção:** a nota das listas também influencia na Rec.
- Será considerado aprovado o aluno com média final ≥ 5 .

Listas de exercício e honestidade acadêmica

As listas de exercício são, ao meu ver, a parte mais importante do curso. São nelas que vocês terão a oportunidade de digerir o conteúdo discutido em sala.

Colaborações são fundamentais e espera-se que você discuta os problemas com seus colegas. Mas eu gostaria de fazer um apelo: tente fazer *sozinho* alguns problemas. Não copie os cálculos de um colega ou de um livro. Quando fazemos isso aprendemos de forma superficial e logo esquecemos. Mas quando

suamos a camisa para resolver um problema, fixamos a idéia de forma muito mais duradoura. É importante que você pense por conta própria sobre os problemas (O aprendizado é um processo traumático!).

Como eu disse, recomendo que discuta as listas de exercício com os colegas. No entanto, **a redação final deve ser individual**. Copiar a lista de um colega é **inaceitável**. Copiar a lista é trapacear. É corrupção. Além disso, é injusto com quem fez a lista de forma honesta. Portanto, não diga que eu não avisei:

Lista copiada = zero no curso (volte no próximo ano).

É zero para quem copiou e é zero para quem *deixou* copiar. Portanto não deixe as outras pessoas copiarem de você.

Bibliografia

Neste curso não vamos seguir um único livro. Eu tradicionalmente preparo notas de aula que eu vou disponibilizar na internet. Recomendo que usem essas notas como guias de estudo. Em cada uma das notas, eu vou incluir também os livros que você pode consultar para uma leitura adicional. A bibliografia básica será:

- F. Reif, *Fundamentals of Statistical and Thermal Physics*.
- S. R. A. Salinas, *Introdução à física estatística*.
- L. D. Landau e E. M. Lifshitz, *Statistical Physics, part 1*.

Para a primeira parte, sobre teoria da probabilidade, recomendo também,

- S. Ross, *Probabilidade, um curso moderno com aplicações*.

Mathematica

É importante que você saiba utilizar alguma ferramenta de cálculo numérico/teórico. Essencialmente existem quatro: Mathematica, MatLab, Maple e Scipy/Numpy. Você pode ficar a vontade para escolher qual você preferir mas recomendo fortemente que saiba usar pelo menos uma. O Scipy/Numpy é open source, o MatLab é fácil de aprender a usar, o Maple é um lixo e o Mathematica é bonito, charmoso, elegante e possui uma ótima licença com a USP. Portanto, eu recomendo usar o Mathematica.

Você pode baixar o Mathematica e instalar no seu computador pessoal. Para tal entre no site

<http://www.cce.usp.br/atendimento/software/mathematicaStudent/>

e siga as instruções. Eu sugiro você fazer o seu cadastro no Wolfram User Portal. De lá você consegue baixar a versão mais recente.

Uma fonte útil de instruções iniciais sobre como usar o Mathematica pode ser encontrada em

<https://www.wolfram.com/language/elementary-introduction/>