

**Universidade de São Paulo  
Instituto de Física**

**Manual de Física para Engenharia IV — 4323204**

**Física Moderna para o Ciclo Básico da Escola Politécnica**

<http://fig.if.usp.br/fisica4>

**2<sup>o</sup> Semestre 2023**

# 1 Site do curso

<http://fig.if.usp.br/fisica4>

## 2 Equipe da disciplina

- André Bohomoletz Henriques (andreh@if.usp.br) — Professor Titular do Depto. Física dos Materiais e Mecânica
- Carla Goldman (carla@if.usp.br) — Professora Associada do Depto. de Física Geral
- Émerson Cruz ( )
- Fabrício Marques do Carmo (fabriciomarques@if.usp.br) — Professor do Depto. de Física Matemática
- Fernando Pereira Sabino ( ) — Depto. Física dos Materiais e Mecânica
- Hans Marin Flores (hans@if.usp.br) — Depto. de Física Experimental
- Helena Maria Petrilli (hmpetril@if.usp.br) — Professora Titular do Depto. Física dos Materiais e Mecânica
- Marco Aurélio Brizzotti Andrade (maurelio@if.usp.br) — Professor do Depto. de Física Aplicada

### 3 Introdução

Ao longo dos cursos de Física I, II e III, foram abordados diversos fenômenos físicos que podem ser entendidos utilizando-se a *Mecânica Newtoniana* e o *Eletromagnetismo*. Ainda que não tenhamos feito um estudo mais detalhado e matematicamente completo, foi possível ter uma pequena amostra do conhecimento adquirido e das potencialidades tecnológicas até por volta do início do século XX.

Introduziremos no curso de Física IV o que é convencionalmente denominado “Física Moderna”, dando continuidade aos estudos e aplicações do eletromagnetismo, com ênfase nos fenômenos *ondulatórios* da *radiação eletromagnética*. Em seguida, estudaremos a *Relatividade Restrita* que teve sua origem na incompatibilidade entre a Mecânica Newtoniana e o Eletromagnetismo e levou a uma reformulação profunda dos conceitos de espaço e tempo. Finalmente, não faria sentido encerrar um curso de física básica sem um estudo de conceitos e aplicações da *Teoria Quântica*. As primeiras idéias da Teoria Quântica datam de mais de cem anos (Planck, Bohr e Einstein) e o quadro teórico estava essencialmente completo por volta de 1926 (Born, Heisenberg, Pauli, Schrödinger e Dirac). Sem a Teoria Quântica não seria possível entender e controlar completamente diversos fenômenos físicos, tais como os que ocorrem na escala atômica e sub-atômica. Os conseqüentes avanços tecnológicos decorrentes deste conhecimento continuam a surgir até os dias de hoje <sup>1</sup>. Ao final desse curso teremos abordado, mesmo que superficialmente, uma boa parte do entendimento que temos presentemente da natureza. Obviamente não seria possível ter um quadro completo tanto no aspecto de profundidade como de extensão, tendo em vista as limitações de tempo <sup>2</sup>.

A programação do curso, descrita na próxima seção, bem como a bibliografia e o livro texto principal, procuram enfatizar a intuição física e a habilidade para resolver certos problemas, de maneira compatível para um curso introdutório. A abordagem utilizada não visa um perfil específico de estudantes de engenharia ou estudantes mais inclinados à pesquisa em ciência básica. Na verdade, não devemos supor que, por exemplo, estudantes de física e de engenharia devam se restringir ao aprofundamento e às aplicações, respectivamente. De fato, em um mundo cada vez mais fecundo de novas tecnologias a demanda por engenheiros capazes de aplicar conceitos básicos em situações práticas torna-se cada vez maior. Esse tipo de perfil *versátil* é sem dúvida um importante componente de competitividade profissional. Por outro lado, a ciência básica também se beneficia, uma vez que a grande sofisticação dos instrumentos empregados na pesquisa básica, tanto na física microscópica como na astrofísica, depende cada vez mais de uma engenharia de altíssimo nível tecnológico.

---

<sup>1</sup>Na verdade, é possível que muitos outros avanços tecnológicos surjam nos próximos anos, especialmente aqueles relacionados com *computação quântica*.

<sup>2</sup>Uma das importantes exceções é a *Relatividade Geral de Einstein* (teoria da gravitação) que possui aplicações tecnológicas tão diversas quanto a envolvida nos aparelhos de GPS (“Global Positioning System”).

## 4 Programação

Os números dos capítulos, das seções e dos exercícios são os da 12<sup>a</sup> edição do Física IV de Young e Freedman. Os números entre parênteses se referem aos capítulos e às seções correspondentes da 10<sup>a</sup> edição.

### Capítulo 35(37): Interferência

- Número de aulas: 2 aulas
- Seções do livro texto: 35.1 *Interferência e Fontes Coerentes*; 35.2 *Interferência da Luz Produzida por Duas Fontes*; 35.3 *Intensidade das Figuras de Interferência* e 35.4 *Interferência em Películas Finas (37.1 a 37.5)*.
- Exercícios sugeridos: 35.9(37.11), 35.11(37.9), 35.18(37.8), 35.23(37.13), 35.27(37.19), 35.32(37.26), 35.36(37.24), 35.44(37.38), 35.52(37.46), 35.54(37.46), 35.58(37.50).

### Seção 33.7(34.8): Princípio de Huygens e Capítulo 36(38): Difração

- Número de aulas: 2 aulas
- Seções do livro texto: 33.7(34.8) *Princípio de Huygens* e 36.1 *Difração de Fresnel e Difração de Fraunhofer*; 36.2 *Difração Produzida por uma Fenda Simples*; 36.3 *Intensidade na Difração Produzida por uma Fenda Simples*; 36.4 *Fendas Múltiplas (Duas fendas com larguras finitas)*; 36.6 *Difração de Raios X* e 36.7 *Orifícios Circulares e Poder de Resolução (38.1 até 38.8)*.
- Exercícios sugeridos: 36.18(38.12), 36.21(38.15), 36.36(38.22), 36.53(38.39), 36.62(38.52), 36.72(38.58).

### Capítulo 37(39) Relatividade

- Número de aulas: 4 aulas
- Seções do livro texto: 37.1 *Invariância das Leis Físicas*; 37.2 *Relatividade da Simultaneidade*; 37.3 *Relatividade dos Intervalos de Tempo*; 37.4 *A Relatividade do Comprimento* e 37.5 *As Transformações de Lorentz (39.1 até 39.7)*.
- Exercícios sugeridos: 37.1(39.1), 37.5(39.5), 37.7(39.7), 37.8(39.8), 37.11(39.9 com 55,0 km substituído por 10 km), 37.13(39.11), 37.14(39.14), 37.16(39.16), 37.19(39.21), 37.22(39.22), 37.54(só na 12<sup>a</sup> edição), 37.65(39.57).

**P1 em 14 de setembro às 13:10**

---

Os números dos capítulos, das seções e dos exercícios são os da 12<sup>a</sup> edição do Física IV de Young e Freedman. Os números entre parênteses se referem aos capítulos e às seções correspondentes da 10<sup>a</sup> edição.

### Capítulo 37(39) Relatividade e Seção 32.4(33.5)

- Número de aulas: **3 aulas**
- Seções do livro texto: *37.6 O Efeito Doppler para as Ondas Eletromagnéticas, 37.7 Momento Linear Relativístico; 37.8 Trabalho e Energia na Relatividade; 37.9 Mecânica Newtoniana e Relatividade (39.8 e 39.9 até 39.11); 32.4(33.5) Fluxo do momento linear eletromagnético e pressão de radiação.*
- Exercícios sugeridos: 37.25(39.27), 37.26(39.28), 37.28(só na 12<sup>a</sup> edição), 37.29(39.31), 37.31(39.33), 37.35(só na 12<sup>a</sup> edição), 37.37(só na 12<sup>a</sup> edição), 37.46(39.42), 37.55(só na 12<sup>a</sup> edição), 37.58(39.50), 37.59(só na 12<sup>a</sup> edição), 37.63(39.55), 32.28(33.14), 32.46(33.36), 37.68(39.60).

### Capítulo 38(40): Fótons, Elétrons e Átomos

- Número de aulas: **3 aulas**
- Seções do livro texto: *38.8(40.9) Espectro contínuo; 38.2 O Efeito Fotoelétrico; 38.7(40.8) Efeito Compton e 38.3 Espectro Atômico de Linhas e Níveis de Energia; 38.4 O Núcleo do Átomo e 38.5 O Modelo de Bohr (40.3 a 40.6).*
- Exercícios sugeridos: 38.42(40.36), 38.77(40.65), 38.42(40.36), 38.77(40.65), 38.4(40.2), 38.12(40.8), 38.13(40.7), 38.14(40.9), 38.18(40.12), 38.55(40.47), 38.36(40.32), 38.38(40.30), 38.41(40.33), 38.74(40.64), 38.76(40.59), 38.25(40.19), 38.27(40.21), 38.59(40.49), 38.63(40.55), 38.79(40.67), 38.80(40.68).

### Capítulo 39(41): A Natureza Ondulatória das Partículas

- Número de aulas: **2 aulas**
- Seções do livro texto: *39.1 Onda de de Broglie; 39.2 Difração de Elétrons; (41.1 a 41.3).*
- Exercícios sugeridos: 39.6(41.6), 39.13(41.13), 39.16(41.10), 39.46(41.32), 39.47(41.33).

**P2 em 26 de outubro às 13:10**

Os números dos capítulos, das seções e dos exercícios são os da 12<sup>a</sup> edição do Física IV de Young e Freedman. Os números entre parênteses se referem aos capítulos e às seções correspondentes da 10<sup>a</sup> edição.

### Capítulo 39(41): A Natureza Ondulatória das Partículas

- Número de aulas: **3 aulas**
- Seções do livro texto: 39.3 (41.4) *Probabilidade e Incerteza* e 39.5 (41.6) *A Função de Onda e a Equação de Schrödinger*.
- Exercícios sugeridos: 39.22(41.16), 39.24(41.14), 39.26(41.18), 39.29(41.25), 39.48(41.36), 39.52(41.40), 39.66(41.52), 39.70(41.56).

### Capítulo 40(42): Mecânica Quântica

- Número de aulas: **3 aulas**
- Seções do livro texto: 40.1 *Partícula em uma Caixa*; 40.2 *Poço de Potencial*; 40.3 *Barreira de Potencial e Tunelamento* e 40.4 *O Oscilador Harmônico* (42.1 a 42.6).
- Exercícios sugeridos: 40.2(42.2), 40.6(42.4), 40.8(42.10), 40.11(42.7), 40.15(42.14), 40.19(42.15), 40.26(42.22), 40.27(42.23), 40.38(42.28), 40.43(42.37), 40.47(42.43), 40.52(42.47).

### Capítulo 41(43): Estrutura Atômica

- Número de aulas: **4 aulas**
- Seções do livro texto: 41.1 *O Átomo de Hidrogênio*; 41.2 *O Efeito Zeeman*; 41.3 *O Spin do Elétron* e 41.4 *Átomos com Muitos Elétrons e o Princípio de Exclusão* (43.1 a 43.5).
- Exercícios sugeridos: 41.4(43.2), 41.6(43.4), 41.8(43.6), 41.15(43.13), 41.23(43.21), 41.24(43.24), 41.25(43.25), 41.41(43.35), 41.43(43.37).

**P3 em 07 de dezembro às 13:10**

---

## 5 Divisão das turmas

Turma	Professor	Horários
01	André Henriques	3 <sup>a</sup> feira 13:10 às 14:50 5 <sup>a</sup> feira 15:00 às 16:40
02	André Henriques	3 <sup>a</sup> feira 15:00 às 16:40 5 <sup>a</sup> feira 13:10 às 14:50
03	Marco Aurélio	3 <sup>a</sup> feira 13:10 às 14:50 5 <sup>a</sup> feira 15:00 às 16:40
04	Carla Goldman	3 <sup>a</sup> feira 15:00 às 16:40 5 <sup>a</sup> feira 13:10 às 14:50
05	Fabício Marques	3 <sup>a</sup> feira 13:10 às 14:50 5 <sup>a</sup> feira 15:00 às 16:40
06	Helena Petrilli	3 <sup>a</sup> feira 15:00 às 16:40 5 <sup>a</sup> feira 13:10 às 14:50
07	Fernando Pereira Sabino	3 <sup>a</sup> feira 13:10 às 14:50 5 <sup>a</sup> feira 15:00 às 16:40
08	Émerson Cruz	3 <sup>a</sup> feira 15:00 às 16:40 5 <sup>a</sup> feira 13:10 às 14:50
09	Hans Marin Flores	3 <sup>a</sup> feira 15:00 às 16:40 5 <sup>a</sup> feira 13:10 às 14:50

Obs: Informações sobre as salas de aula estarão disponíveis na Secretaria do Biênio da Poli.

## 6 Critério de avaliação

O número máximo de faltas é 8 (70% de frequência).

A média final  $M$  é a médias aritmética das notas de três provas:

$$M = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3},$$

onde  $P_i$  são as notas das provas escritas.

Está prevista uma prova substitutiva ( $P_{SUB}$ ) versando sobre *toda a matéria do semestre*. A prova substitutiva **não é aberta**. **Somente os alunos que tiverem perdido uma das provas poderão fazer a  $P_S$ .**

**O aluno estará aprovado se a média  $M \geq 5$  e a frequência for maior que 70%. Alunos com  $3,0 \leq M < 5,0$  e com frequência maior do que 70% terão direito a uma prova de recuperação ( $P_{REC}$ ), Neste caso, a média final será calculada segundo a fórmula**

$$M_R = \frac{M + P_{REC}}{2}.$$

**O aluno estará aprovado se  $M_R \geq 5$ .**

**As notas das provas serão divulgadas na página WEB do curso. Seu professor determinará o procedimento de revisão de cada uma das provas.**

## Data e horário das provas

As provas serão realizadas nos dias e horários indicados na tabela abaixo.

Prova	DATA DA PROVA
$P_1$	14 de setembro, quinta-feira, às 13:10hs
$P_2$	26 de outubro, quinta-feira, às 13:10hs
$P_3$	07 de dezembro, quinta-feira, às 13:10hs
$P_{SUB}$	14 de dezembro, quinta-feira, às 13:10hs
$P_{REC}$	a ser definida

Todas as provas terão duração de 100 minutos.

## 7 Bibliografia

O livro-texto da disciplina é *Sears & Zemansky, Física III e Física IV, 12ª edição, Young & Freedman..* Dentre os diversos outros textos de nível introdutório podemos citar

- Volumes 3 e 4 do “Física”, de Raymond A. Serway, 3ª edição (edições mais novas sofreram muitas alterações e não são adequadas para o curso), LTC — Livros Técnicos e Científicos Editora S. A.
- Volumes 3 e 4 do “Curso de Física Básica”, Moysés Nussenzveig, Ed. Edgard Blücher.
- Volumes 1, 2 e 3 do “The Feynman Lectures on Physics”, R. P. Feynman, R. B. Leighton e M. Sands, Addison-Wesley Pub. Co.

## 8 Informações Importantes

- Questões concernentes à pré-requisitos ou revalidação de créditos devem ser encaminhadas à “Comissão de Graduação do Instituto de Física”.
- Alunos não matriculados no curso não terão suas notas guardadas. As matrículas devem ser regularizadas até a data da segunda prova do curso.
- As provas devem ser feitas obrigatoriamente na turma em que o aluno está matriculado. Verifique com a devida antecedência o local em que a prova da *sua turma* será realizada.
- As revisões de provas não serão feitas fora das datas estabelecidas pelo seu professor.
- Quaisquer outras questões, devem ser encaminhadas diretamente ao seu professor.