

FÍSICA MODERNA IIA

CONSTRUINDO O MODELO
PADRÃO DA FÍSICA DE
PARTÍCULAS

AULA 1

APRESENTAÇÃO DA DISCIPLINA

MARCELO MUNHOZ

RENAN MILNITSKY

JULIEN MINERBO



PROPOSTA DA DISCIPLINA

Construindo o Modelo
Padrão da Física de
Partículas

O FAMOSO QUADRO DO MODELO PADRÃO

- 1 **ESTRUTURA**
Interações Fortes
- 2 **DECAIMENTOS**
Interações Fracas
- 3 **INTERAÇÕES**
Fortes, Fracas e Eletromagnéticas
- 4 **ORIGEM DAS MASSAS**
Quebras de simetria

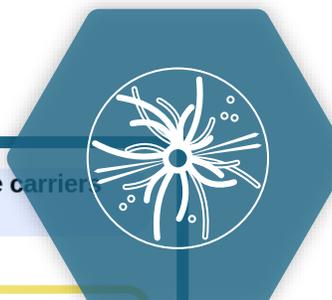
	three generations of matter (fermions)			interactions / force carrier (bosons)	
	I	II	III		
mass	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
	u up	c charm	t top	g gluon	H higgs
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	

QUARKS

LEPTONS

GAUGE BOSONS
VECTOR BOSONS

SCALAR BOSONS



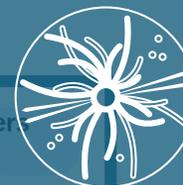
COMO

esse quadro foi construído?

O QUE

esse quadro representa?

	three generations of matter (fermions)			interactions / force carrier (bosons)	
	I	II	III		
mass	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
QUARKS	u up	c charm	t top	g gluon	H higgs
	$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0	
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
LEPTONS	$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$	
	-1	-1	-1	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
	$< 1.0 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 18.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 80.360 \text{ GeV}/c^2$	
	0	0	0	± 1	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
					GAUGE BOSONS VECTOR BOSONS
					SCALAR BOSONS



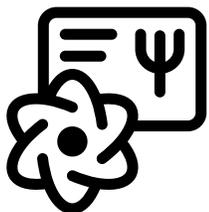
INSPIRANDO A DISCIPLINA

Bachelard e a Física do séc. XX

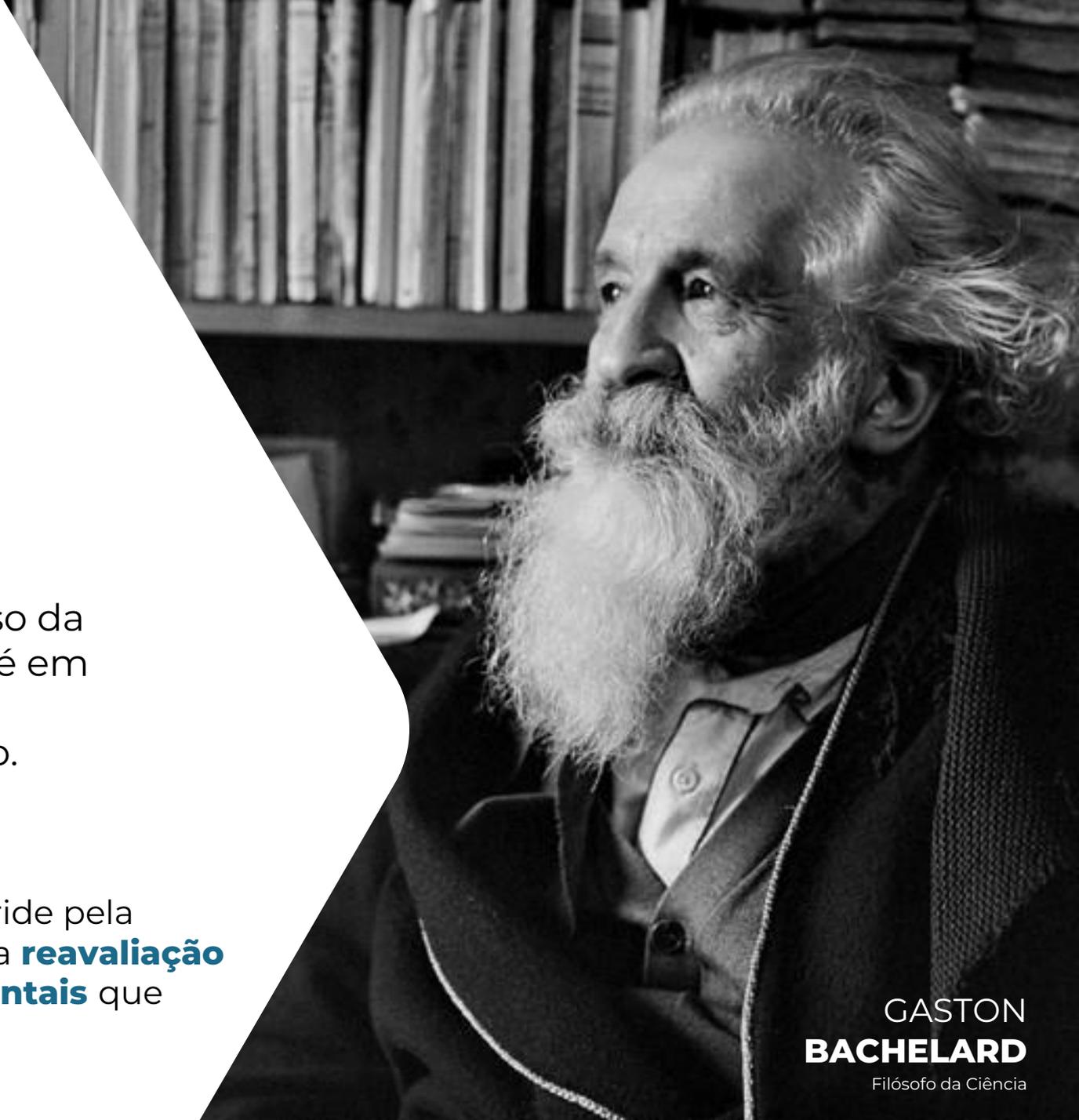


Quando se avalia as condições de progresso da ciência, logo se chega à conclusão de que é em **termos de obstáculos que o problema do conhecimento científico** deve ser colocado.

Bachelard (1938, p.17)



Segundo Bachelard, a ciência progride pela superação de obstáculos, isto é, pela **reavaliação dos aspectos teóricos e experimentais** que guiam seu desenvolvimento.

A black and white portrait of Gaston Bachelard, an elderly man with a long, full white beard and hair, looking thoughtfully to the left. He is wearing a dark jacket over a light-colored shirt. The background shows a bookshelf filled with books.

GASTON
BACHELARD
Filósofo da Ciência

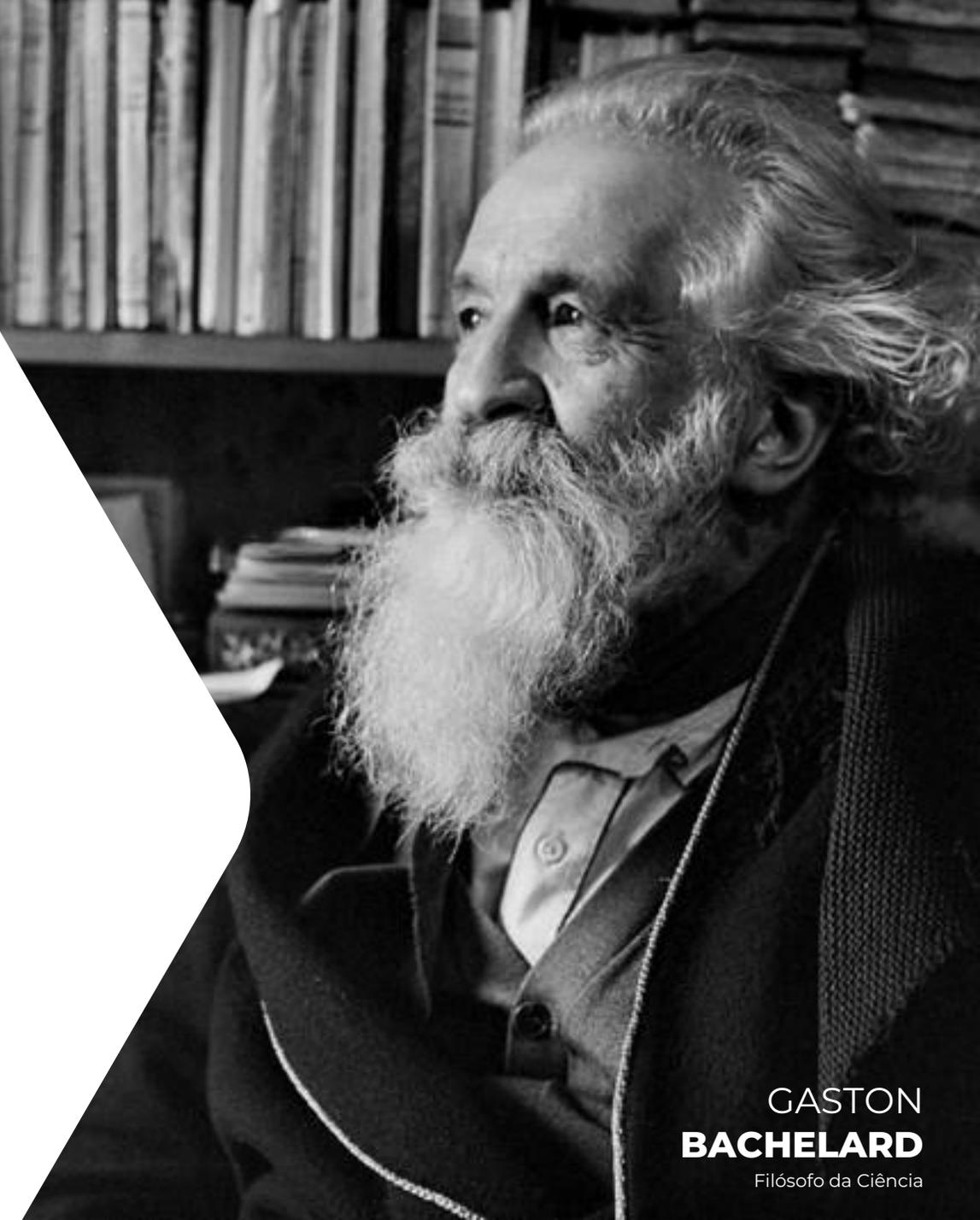
INSPIRANDO A DISCIPLINA

Bachelard e a Física do séc. XX

“

Acompanhando a atividade da física do século XX com atenção, vemos um **diálogo filosófico entre o experimentador dotado de instrumentos rigorosos e o matemático que ambiciona de perto a experiência.** [...] será preciso que o experimentador se informe sobre o aspecto teórico [...] será também necessário que o teórico se informe sobre todas as circunstâncias da experimentação.

Bachelard (1949, p. 7)



“

Acompanhando a atividade da física do século XX com atenção, vemos um **diálogo filosófico entre o experimentador dotado de instrumentos rigorosos e o matemático que ambiciona de perto a experiência.** [...] será preciso que o experimentador se informe sobre o aspecto teórico [...] será também necessário que o teórico se informe sobre todas as circunstâncias da experimentação.

Bachelard (1949, p. 7)

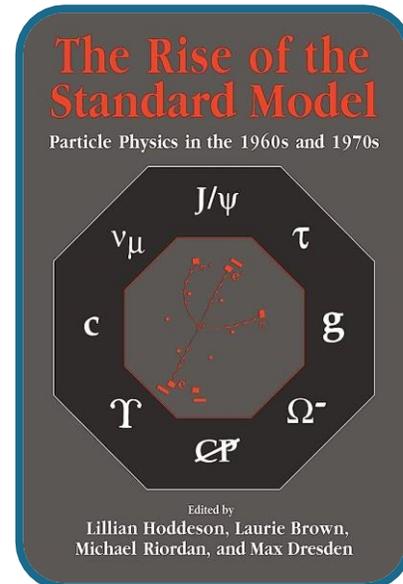




INSPIRANDO A DISCIPLINA

Two Previous Standard Models

2006

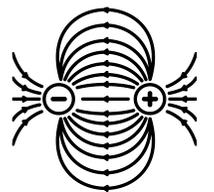


“

Gostaria de discutir duas teorias físicas que poderiam ser **consideradas os modelos padrão** de suas épocas.

Heilbron (2006, p.45)

Sobre antigas **vertentes interpretativas** do que hoje conhecemos como **equações de Maxwell**

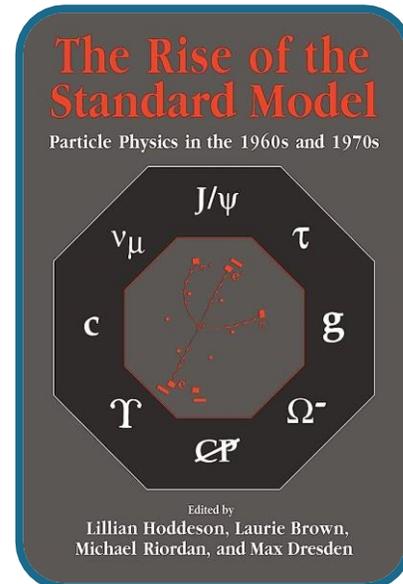




INSPIRANDO A DISCIPLINA

Two Previous Standard Models

2006



“

Meu propósito é revelar que outros contextos também tiveram os impulsos intelectuais que movem a física de partículas atualmente, e que, assim como hoje, **eles revelaram evidências persuasivas para apoiar o “modelo padrão” de seu próprio tempo.**

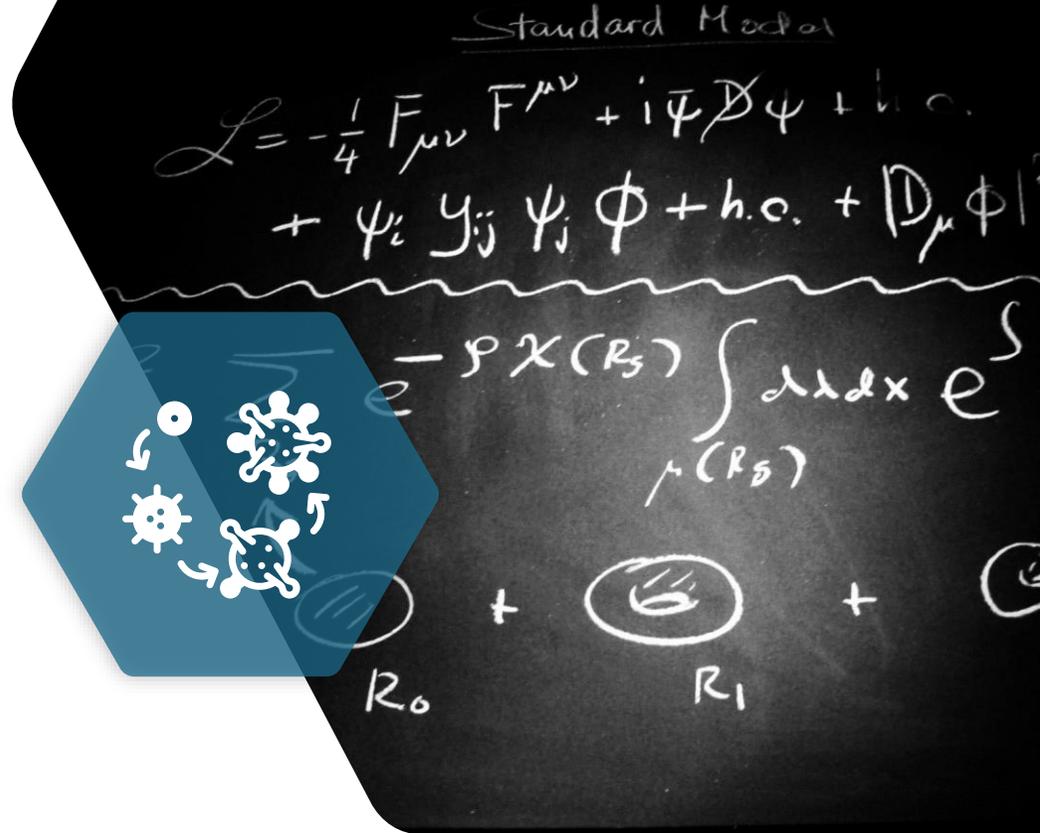
Heilbron (2006, p.45)

MODELO PADRÃO DA FÍSICA DE PARTÍCULAS



1964 - Atual

Three generations of matter (fermions)			Interactions / force carriers (bosons)	
	I	II	III	
QUARKS	u up	c charm	t top	g gluon
	d down	s strange	b bottom	γ photon
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson
LEPTONS	ν _e electron neutrino	ν _μ muon neutrino	ν _τ tau neutrino	W W boson
				H higgs
				SCALAR BOSONS



CONSTRUINDO O MODELO PADRÃO

Como seriam os modelos em diferentes momentos da história da Física de Partículas e como eles nos permitem entender o modelo atual?

MODELO ESTRUTURAL ATÔMICO
1890 - 1935

p	n	e ⁻
v	e ⁺	
γ		

Interações Fortes e Eletromagnéticas Interações Fracas e Eletromagnéticas

MODELO QUÂNTICO DE INTERAÇÕES
1935 - 1947

p	n	e ⁺	e ⁻
π ⁺	π ⁻	μ ⁺	μ ⁻
γ	v	v̄	

Interações Eletromagnéticas

MODELO SIMETRIAS E CONSERVAÇÕES
1947 - 1964

e [±]	v	p	n	γ
μ [±]	v̄	Σ [±]	Λ ⁰	
K [±]	K ⁰	Ξ ⁻	Ξ ⁰	
π [±]	π ⁰	Ω ⁻		

Mésons Bárions

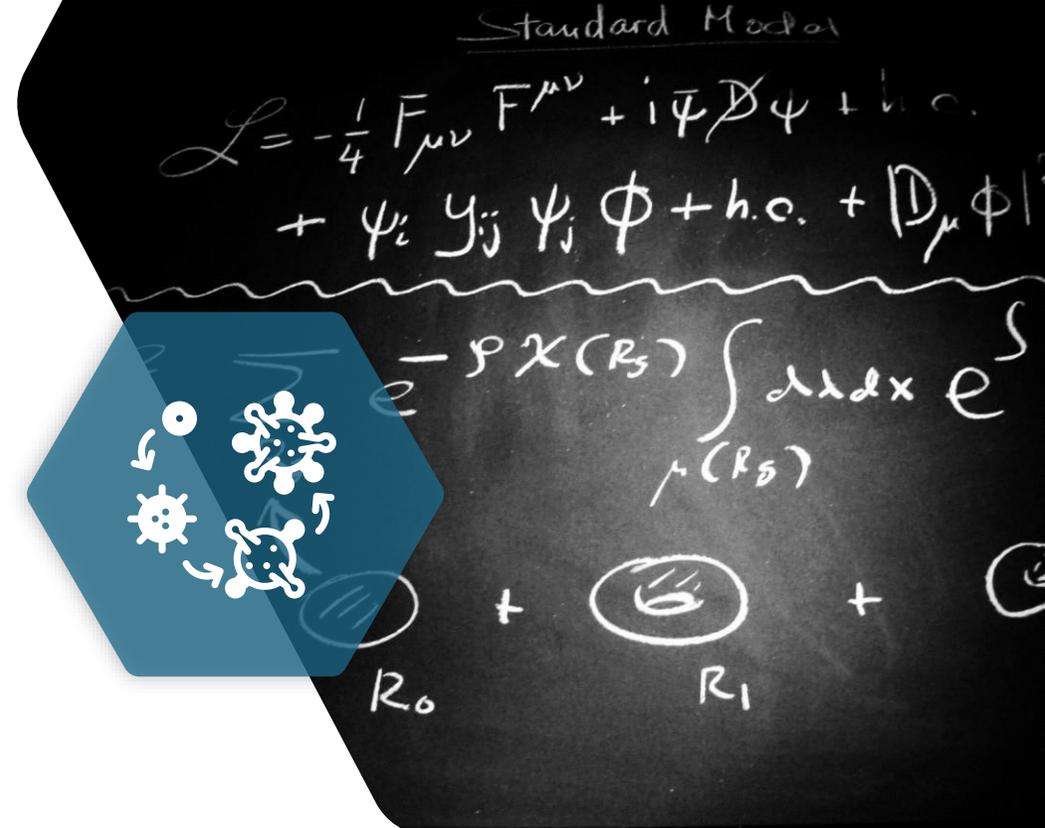
PRELÚDIO AO MODELO PADRÃO
1964

u	e	γ	H
d	μ	g	
s	v	W [±]	

Quarks Léptons Bóson Vetorial Bóson Escalar

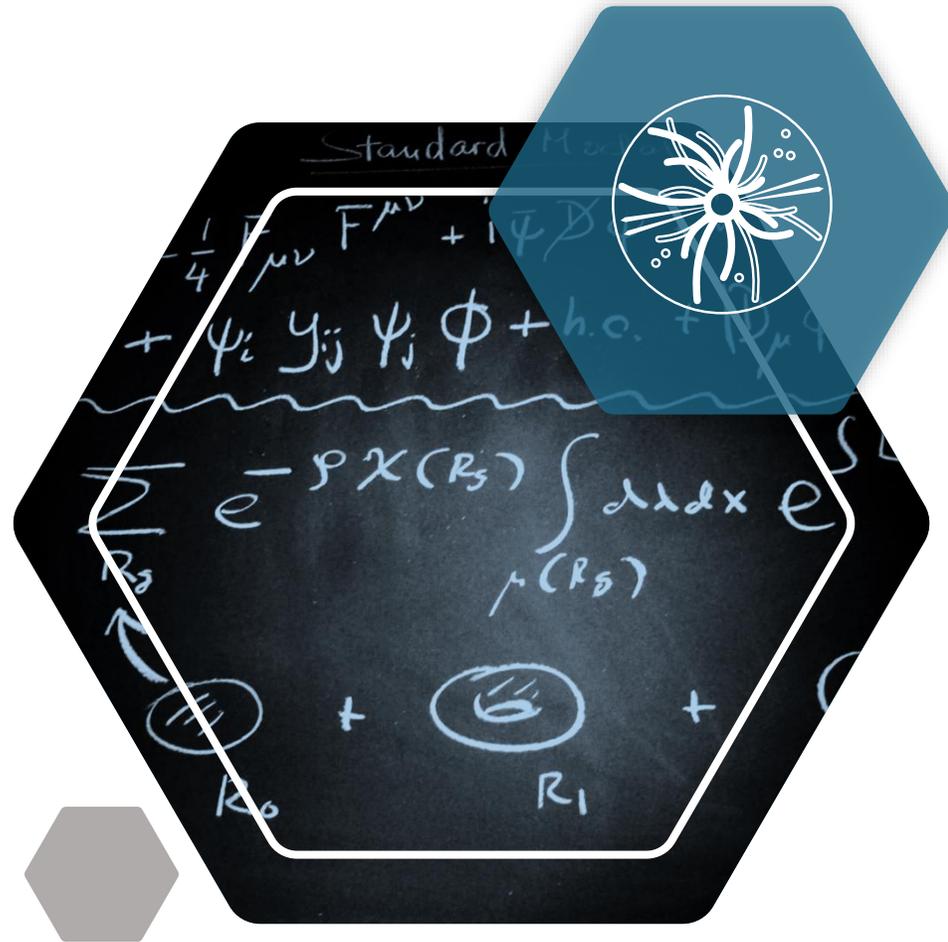
MODELO PADRÃO DA FÍSICA DE PARTÍCULAS
1964 - Atual

LEPTONS	three generations of matter (fermions)			interactions (force carriers) (bosons)	
	I	II	III	GAUGE BOSONS (vector bosons)	SCALAR BOSONS
e ⁻ electron	u ⁺ up	c ⁺ charm	t ⁺ top	g ⁺ gluon	H ⁺ Higgs
ν _e electron neutrino	d ⁺ down	s ⁺ strange	b ⁺ bottom	γ ⁺ photon	
μ ⁻ muon	ν _μ muon neutrino	ν _τ tau neutrino	W ⁺ W boson	Z ⁰ Z boson	
ν _μ muon neutrino	ν _τ tau neutrino	W ⁻ W boson			



CONSTRUINDO O MODELO PADRÃO

Como seriam os modelos em diferentes momentos da história da Física de Partículas e como eles nos permitem entender o modelo atual?



PROPOSTA DA DISCIPLINA

Proposta Geral, Objetivos,
Ementa e Cronograma
de Aulas


FÍSICA MODERNA

A disciplina terá um total de 31 aulas de discussão: científica, epistemológica

19 AULAS **Discussão Científica** Prof. Marcelo Munhoz
5 AULAS

CRONOGRAMA - A

AULA	TEM
Aula 1 (07/8)	Apresentação da proposta da ava
Aula 2 (10/8)	Encont Apresentação da pro
Aula 3 (14/8)	O que é pensar a estrut Da antiguidade
Aula 4 (17/8)	Da Equação de Schroeding
Aula 5 (21/8)	Equação de Dirac
Aula 6 (24/8)	Paradoxo de Klein, Antimatér
Aula 7 (28/8)	Câmaras de Nuvem e
Aula 8 (31/8)	Do Mar de Dirac: significado físico e


FÍSICA MODERNA II
CALENDÁRIO DE AVALIA

INSTRUMENTO	SET.
Estudo de Caso 1	11/9
Resenha Dirigida 1	17/9
Estudo de Caso 2	
Resenha Dirigida 2	
Estudo de Caso 3	
Resenha Dirigida 3	
Plano de aula 1º Minicurso	
1º Minicurso para EM	
Plano de aula 2º Minicurso	
2º Minicurso para EM	

BIBLIOGRAFIA

Acompanhamento Notas de aula: produzidas a partir d

Física de Partículas GRIFFITHS, D. Introduction to Elem MARTIN, B.R. & SHAW, G. Particle I

História da Física de Partículas BROWN, L.M. & HODDESON, L. Th BROWN, L.M. & HODDESON, L. Pio HODDESON, L. et al. The Rise of ti

Epistemologia da Física de Partículas PATY, M. A Matéria Roubada, 1995.


FÍSICA MODERNA II
AVALIAÇÃO E COMPOS

A disciplina contará com três instrumentos apresentados no esquema abaixo:

Estudos de Caso (30%) Resenhas Dirigidas (40%)

1. Estudos de Casos - Dimensão Concei (Em grupo)

Resolução de uma situação problema p aplicação dos conceitos, formalismos teó experimental estudadas ao longo de um blo 3 estudos de caso referentes aos blocos discussão epistemológica conduzidas pelo F Este instrumento pretende avalia e evidências exp

2. Resenhas Dirigidas - Dimensão Epis (Individual)

Elaboração de resenhas inspiradas na lei síntese de discussão epistemológica. A es uma questão proposta que buscará prom construção dos conhecimentos discutidos, articula seus pensamentos sobre eles. entregues ao final da semana de ca epistemológica.

Este instrumento pretende sobre a construção dos

3. Minicurso de Física de Partículas - D (Em grupo)

Elaborar e aplicar uma aula contempla Partículas que será oferecida como parte estudantes de Ensino Médio. As aulas sábado, dia 25/11 ou 02/12, e contará ministradas por grupos formados por estud conduzirá encontros periódicos para apr produção das aulas.

Este instrumento compõe as Práticas como promover uma reflexão sobre o Confe


FÍSICA MODERNA II
EMENTA

O curso será ministrado em 5 blocos qu elementos que nos permitam ao final compre Padrão da Física de Partículas.

1. Mecânica Quântica Relativística

- Equação de Klein-Gordon
- Equação de Dirac, Antimatéria e Spin
- Barreira de potencial relativística e o par
- Câmaras de Nuvem e a detecção do pósit
- Vácuo Quântico: origens e interpretação

2. As Interações entre Partículas

- Potencial de Yukawa e Partículas Mediaç
- Chuveiro cósmico e cadeia de decaiment
- Diagramas de Feynman: amplitude, vida r
- Interações fortes e fracas: vida média e s

3. Leis de Conservação e Simetrias

- Partículas Estranhas: análise fotográfica
- Massa Invariante e Cinemática Relativist
- Decaimentos β e K , quebra de simetria C
- Isospin e e representações do múltiplo
- Mésons, Bárions, Estranheza e o Caminh

4. Prelúdio ao Modelo Padrão

- Quarks, Confinamento, Liberdade Assint
- Bósons Z e W, correntes eletrofracas e a
- Mecanismo de Higgs, invariância de Gau

5. O Modelo Padrão da Física de Partic

- Modelo Padrão e formalismo lagrangeanc
- LHC e as questões em aberto da Física d


FÍSICA MODERNA IIA

Introdução à Física de Partículas Elementares

DOCENTES RESPONSÁVEIS

Marcelo Gameiro Munhoz - munhoz@if.usp.br
 Renan Milnitsky - renan.milnitsky@usp.br
 Julien Berry Minerbo - julienbminerbo@usp.br

PROPOSTA

A Física de Partículas é um atualmente um dos exemplos mais significativos de pesquisa de fronteira em física teórica e experimental. No entanto, sua apresentação na maioria das vezes tem se restringido ao famoso quadro do Modelo Padrão, o que tem nos permitido compreender pouco sobre questões fundamentais de sua formulação. Buscando ir além da mera apresentação, numa jornada que buscará unir formalismos teóricos às evidências experimentais, procuraremos nesta disciplina reconstruir este famoso quadro. Revelaremos que, assim como a Física Moderna rompeu com bases da Física Clássica, o desenvolvimento da Física de Partículas prescindiu do questionamento e da superação de vários preceitos da própria Mecânica Quântica. Na busca por ampliar o entendimento sobre o que é pensar a estrutura elementar da matéria, superaremos uma tradição atomista que pensa unicamente sobre a estrutura, e passaremos a compreender o papel que as interações, as simetrias e as quebras de simetrias exercem em nosso entendimento sobre o mundo das partículas elementares, construindo as bases daquilo que hoje conhecemos como Modelo Padrão da Física de Partículas e permitindo que possamos fazer reflexões sobre questões associadas ao seu ensino na educação básica.

OBJETIVOS

- Construir uma ponte entre as bases da Mecânica Quântica, discutida nos cursos introdutórios de Física Moderna, e os fundamentos teóricos e experimentais que levaram ao nascimento e desenvolvimento da Física de Partículas.
- Construir um entendimento da Física de Partículas que amplie o questionamento sobre a estrutura da matéria e reconheça o papel de mecanismos associados às interações e simetrias que regem os sistemas de partículas elementares, compreendendo as bases do Modelo Padrão e os processos que levaram à sua construção.
- Promover uma discussão sobre o ensino de Física de Partículas criando uma experiência didática de elaborar e aplicar uma aula sobre a temática para estudantes de Ensino Médio.

DOCUMENTO COMPLETO PARA CONSULTA
DISPONÍVEL NO MOODLE

PROPOSTA GERAL DA DISCIPLINA

Física Moderna IIA

Numa jornada que buscará unir formalismos teóricos às evidências experimentais, procuraremos nesta disciplina **reconstruir famoso quadro do Modelo Padrão da Física de Partículas**. Revelaremos que, assim como a Física Moderna rompeu com bases da Física Clássica, o desenvolvimento da Física de Partículas prescindiu do questionamento e da superação de vários preceitos da própria Mecânica Quântica.

Na busca por ampliar o entendimento sobre o que é pensar a estrutura elementar da matéria, superaremos uma tradição atomista que pensa unicamente sobre a estrutura, e passaremos a **compreender o papel que as interações, as simetrias e as quebras de simetrias exercem em nosso entendimento sobre o mundo das partículas elementares**, construindo as bases daquilo que hoje conhecemos como Modelo Padrão da Física de Partículas e permitindo que possamos fazer **reflexões sobre questões associadas ao seu ensino na educação básica**.

OBJETIVOS DA DISCIPLINA

Física Moderna IIA



Construir uma ponte entre as bases da Mecânica Quântica, discutida nos cursos introdutórios de Física Moderna, e os **fundamentos teóricos e experimentais que levaram ao nascimento e desenvolvimento da Física de Partículas**.



Construir um entendimento da Física de Partículas que amplie o questionamento sobre a estrutura da matéria e reconheça **o papel de mecanismos associados às interações e simetrias que regem os sistemas de partículas elementares**, compreendendo as bases do Modelo Padrão e os processos que levaram à sua construção.



Promover uma discussão sobre o ensino de Física de Partículas criando uma experiência didática de **elaborar e aplicar uma aula sobre a temática para estudantes de Ensino Médio**.

BLOCO 5

BLOCO 1

BLOCO 2

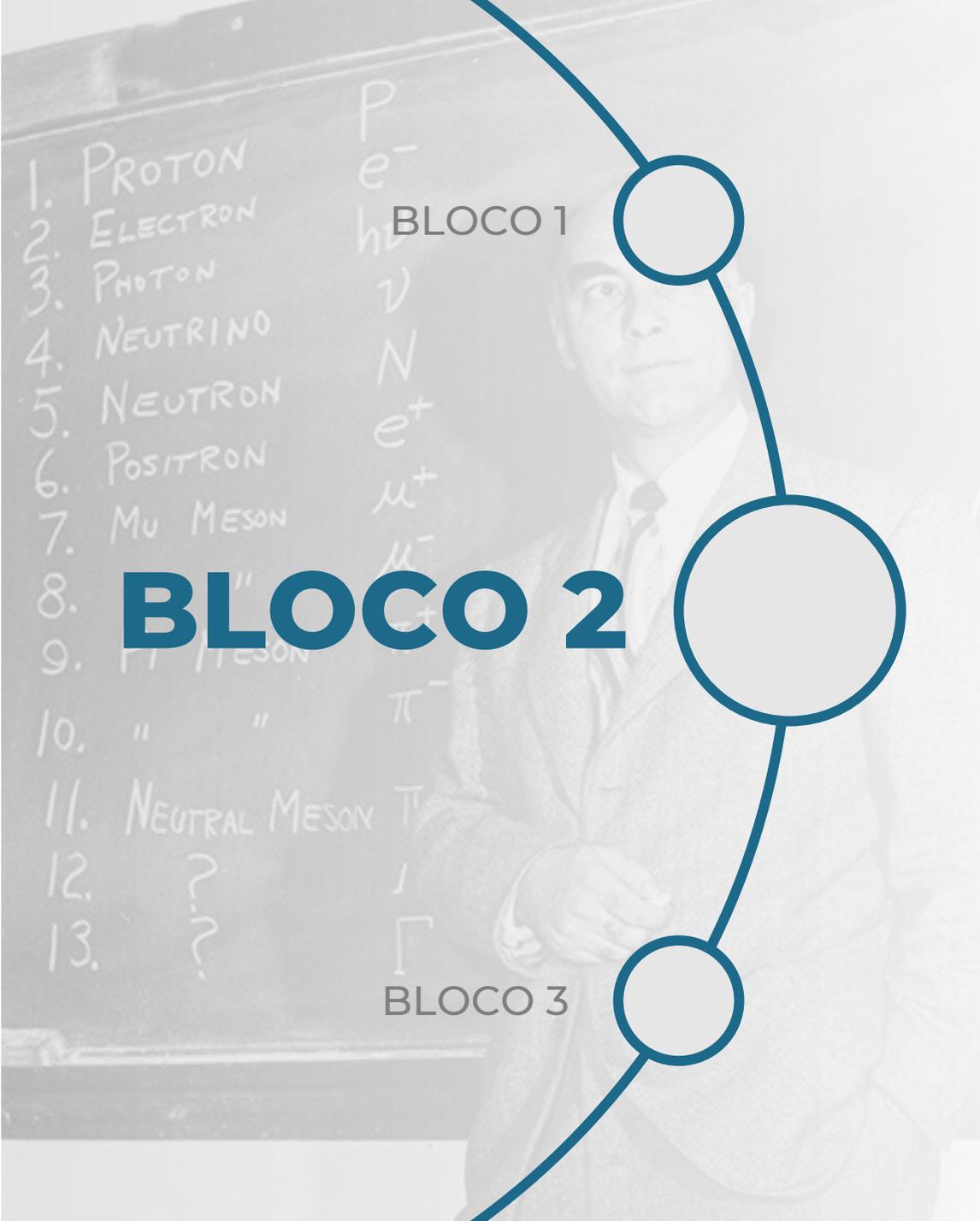
EMENTA

DA DISCIPLINA

Física Moderna IIA

MECÂNICA QUÂNTICA RELATIVÍSTICA

- 1 Equação de Klein-Gordon
- 2 Equação de Dirac, Antimatéria e Spin
- 3 Paradoxo de Klein e Mar de Dirac
- 4 Póstron e Câmaras de Nuvem



BLOCO 1

BLOCO 2

BLOCO 3

EMENTA

DA DISCIPLINA

Física Moderna IIA

PARTÍCULAS E INTERAÇÕES

- 1 Potencial de Yukawa e Partículas Mediadoras
- 2 Chuveiro cósmico e cadeia de decaimento de Píons e Múons
- 3 Diagramas de Feynman: construção, amplitude, vida média e seção de choque
- 4 Interações fortes e fracas: vida média e seções de choque características

BLOCO 2

EMENTA

DA DISCIPLINA

Física Moderna IIA

BLOCO 3

LEIS DE CONSERVAÇÃO E SIMETRIAS

BLOCO 4

- 1 Partículas Estranhas: análise fotográfica de câmaras de nuvem
- 2 Massa Invariante e Cinemática Relativística de Decaimentos
- 3 Decaimentos β e K, quebra de simetria CP e Simetria CPT
- 4 Isospin e representações em multipletos de partículas
- 5 Mésons, Bárions, Estranheza e o Caminho Octeto

BLOCO 3

BLOCO 4

BLOCO 5

EMENTA

DA DISCIPLINA

Física Moderna IIA

PRELÚDIO AO MODELO PADRÃO

1

Quarks, Confinamento, Liberdade Assintótica e a detecção no SLAC

2

Bósons Z e W, correntes eletrofracas e a detecção no SPS

3

Mecanismo de Higgs, invariância de Gauge e a detecção no LHC

BLOCO 4

EMENTA

DA DISCIPLINA

Física Moderna IIA

MODELO PADRÃO DA FÍSICA DE PARTÍCULAS



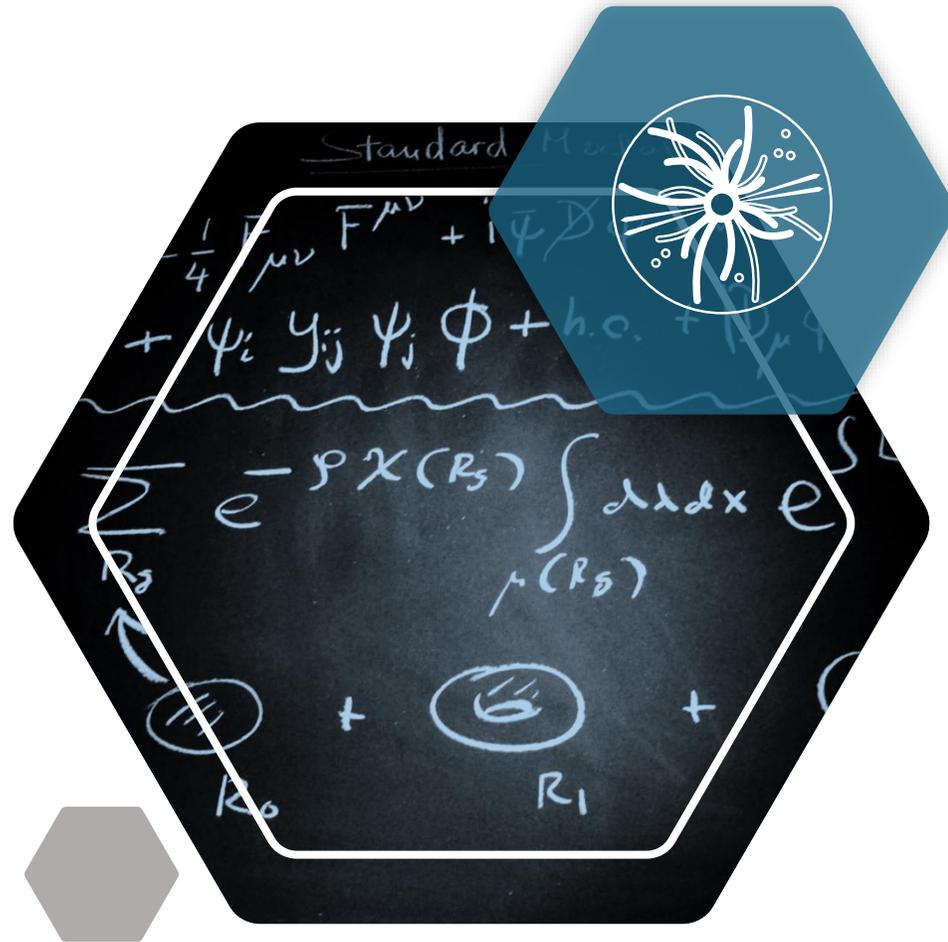
Modelo Padrão e formalismo lagrangeano



LHC e as questões em aberto da Física de Partículas na atualidade

BLOCO 5

BLOCO 1



PROPOSTA DA DISCIPLINA

Instrumentos de
avaliação e calendário
de entrega e aplicação



INSTRUMENTOS DE AVALIAÇÃO

Física Moderna IIA



**Estudos
de Caso**

30%
EM GRUPO

Resolução de 3 estudos de caso envolvendo os conceitos, formalismos teóricos e experimentos estudados ao longo dos blocos de discussões.

Nota mínima 4,0 para aprovação



**Resenhas
Dirigidas**

40%
INDIVIDUAL

Escrita de 3 resenhas inspiradas na leitura de um texto, refletindo sobre a construção dos conhecimentos discutidos na disciplina e como eu (estudante) articulo meus pensamentos sobre eles.

Nota mínima 4,0 para aprovação



**Minicurso
FP no EM**

30%
EM GRUPO

Elaborar e aplicar uma aula de Física de Partículas que será oferecida como parte de um minicurso direcionado a estudantes de Ensino Médio.

Nota mínima 4,0 para aprovação





CALENDÁRIO DE AVALIAÇÃO

Física Moderna IIA

	SET	OUT	NOV	DEZ
Estudo de Caso 1	11/09			
Resenha Dirigida 1	17/09			
Estudo de Caso 2		02/10		
Resenha Dirigida 2		08/10		
Estudo de Caso 3		26/10		
Resenha Dirigida 3		29/10		
Plano de Aula Minicurso 1			19/11	
Minicurso 1			25/11	
Plano de Aula Minicurso 2			26/11	
Minicurso 2				02/12