

## DIDATTICA EROGATA 2025/2026

### Fisica (L-30 R)

Dipartimento: MATEMATICA E FISICA

Codice CdS: 104614

#### INSEGNAMENTI

#### Primo anno

#### Primo semestre

##### 20410405 - AM110 - ANALISI MATEMATICA 1 ( - MAT/05 - 9 CFU - 102 ore - ITA )

*Curricula: Curriculum unico*

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410405 AM110 - ANALISI MATEMATICA 1 in Matematica L-35 R BATTAGLIA LUCA	72	
Mutuato da: 20410405 AM110 - ANALISI MATEMATICA 1 in Matematica L-35 R PROCESI MICHELA	30	

##### 20410010 - ESPERIMENTAZIONI DI FISICA I ( - FIS/01 - 11 CFU - 120 ore - ITA )

*Curricula: Curriculum unico*

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
MATTEI ELISABETTA	120	Carico didattico	
Da assegnare	72	Bando	

##### 20401530 - FISICA GENERALE I ( - FIS/01 - 15 CFU - 128 ore - ITA )

*Curricula: Curriculum unico*

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PETRUCCI FABRIZIO	78	Carico didattico	N0
DI NARDO ROBERTO	50	Carico didattico	N0

##### 20410011 - LABORATORIO DI PROGRAMMAZIONE E CALCOLO ( - INF/01 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

*Curricula: Curriculum unico*

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
Da assegnare	94	Bando	
BUSSINO SEVERINO ANGELO MARIA	46	Affidamento a titolo gratuito	
BUSSINO SEVERINO ANGELO MARIA	20	Carico didattico	

#### Secondo semestre

##### 20430006 - Analisi Matematica II ( - MAT/05 - 6 CFU - 90 ore - ITA )

*Curricula: Curriculum unico*

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Fruito da: 20410388 AM120-ANALISI MATEMATICA 2 in Matematica L-35 R CHIERCHIA LUIGI	90	
Fruito da: 20410388 AM120-ANALISI MATEMATICA 2 in Matematica L-35 R FEOLA ROBERTO	90	

**20410009 - ELEMENTI DI GEOMETRIA ( - MAT/03 - 9 CFU - 90 ore - ITA )**

*Curricula: Curriculum unico*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PONTECORVO MASSIMILIANO	60	Carico didattico	
Da assegnare	30	Bando	

**20410010 - ESPERIMENTAZIONI DI FISICA I ( - FIS/01 - 11 CFU - 120 ore - ITA )**

*Curricula: Curriculum unico*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
MATTEI ELISABETTA	120	Carico didattico	
Da assegnare	72	Bando	

**20401530 - FISICA GENERALE I ( - FIS/01 - 15 CFU - 128 ore - ITA )**

*Curricula: Curriculum unico*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PETRUCCI FABRIZIO	78	Carico didattico	N0
DI NARDO ROBERTO	50	Carico didattico	N0

**Secondo anno**

**Primo semestre**

**20410606 - Analisi Matematica II, Mod.1 ( - MAT/05 - 7 CFU - 78 ore - ITA )**

*Curricula: Curriculum unico*

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20402076 AM210 - ANALISI MATEMATICA 3 in Matematica L-35 R N0 CORSI LIVIA	78	
<b>Fruito da:</b> 20402076 AM210 - ANALISI MATEMATICA 3 in Matematica L-35 R N0 PROCESI MICHELA	78	

**20401116 - ELEMENTI DI CHIMICA ( - CHIM/03 - 6 CFU - 54 ore - ITA )**

*Curricula: Curriculum unico*

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20410066 CHIMICA E LABORATORIO in Scienze geologiche L-34 R TUTI SIMONETTA	54	N0

**20410507 - Filosofia della Scienza ( - M-FIL/02 - 3 CFU - 24 ore - ITA )**

*Curricula: Curriculum unico*

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20702666 FILOSOFIA DELLA SCIENZA in Scienze della Comunicazione L-20 R DORATO MAURO	24	

**20410013 - FISICA GENERALE II ( - FIS/01 - 15 CFU - 128 ore - ITA )**

*Curricula: Curriculum unico*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
MATT GIORGIO	100	Carico didattico	

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
DI MICCO BIAGIO	28	Carico didattico	

## Secondo semestre

### 20410607 - Analisi Matematica II, Mod.2 ( - MAT/05 - 8 CFU - 78 ore - ITA )

**Curricula:** Curriculum unico

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Fruito da: 20410586 AM220-ANALISI MATEMATICA 4 in Matematica L-35 R CORSI LIVIA	78	
Fruito da: 20410586 AM220-ANALISI MATEMATICA 4 in Matematica L-35 R PROCESI MICHELA	78	

### 20410084 - COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD A ( - MAT/07 - 3 CFU - 30 ore - ITA )

**Curricula:** Curriculum unico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
REUVERS ROBIN JOHANNES PETRUS	30	Carico didattico	

### 20410085 - COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD. B ( - MAT/07 - 3 CFU - 30 ore - ITA )

**Curricula:** Curriculum unico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
MARCELLI GIOVANNA	30	Carico didattico	

### 20410023 - ELEMENTI DI FISICA TEORICA CONTEMPORANEA ( - FIS/02 - 3 CFU - 30 ore - ITA )

**Curricula:** Curriculum unico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
LUBICZ VITTORIO	18	Carico didattico	
LUBICZ VITTORIO	5	Affidamento a titolo gratuito	
TARANTINO CECILIA	5	Affidamento a titolo gratuito	
TARANTINO CECILIA	2	Carico didattico	

### 20410014 - ESPERIMENTAZIONI DI FISICA II ( - FIS/01 - 9 CFU - 90 ore - ITA )

**Curricula:** Curriculum unico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
DI NARDO ROBERTO	54	Carico didattico	
Da assegnare	50	Bando	
ORESTANO DOMIZIA	30	Affidamento a titolo gratuito	
ORESTANO DOMIZIA	30	Carico didattico	
URSINI FRANCESCO	24	Carico didattico	

### 20410721 - Esplorazione spaziale e Fisica planetaria ( - FIS/06 - 3 CFU - 30 ore - ITA )

**Curricula:** Curriculum unico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PETTINELLI ELENA	24	Carico didattico	

**20410016 - MECCANICA ANALITICA ( - MAT/07 - 9 CFU - 78 ore - ITA )**

**Curricula:** Curriculum unico

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Fruito da: 20410339 FM210 - MECCANICA ANALITICA in Matematica L-35 R CORSI LIVIA	78	
Fruito da: 20410339 FM210 - MECCANICA ANALITICA in Matematica L-35 R GENTILE GUIDO	78	

**20410499 - Principi di Astrofisica ( - FIS/05 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Curriculum unico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
LA FRANCA FABIO	40	Carico didattico	
MATT GIORGIO	20	Carico didattico	

**20410018 - PRINCIPI DI ASTROFISICA-MODULO A ( - FIS/05 - 3 CFU - 30 ore - ITA )**

**Curricula:** Curriculum unico

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Fruito da: 20410499 Principi di Astrofisica in Fisica L-30 R LA FRANCA FABIO	30	
Fruito da: 20410499 Principi di Astrofisica in Fisica L-30 R MATT GIORGIO	30	

**20410614 - Principi di Fisica delle Particelle e delle Astroparticelle ( - FIS/04 - 3 CFU - 24 ore - ITA )**

**Curricula:** Curriculum unico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
DI NARDO ROBERTO	16	Carico didattico	
DI NARDO ROBERTO	8	Affidamento a titolo gratuito	

**20410720 - Principi di fisica Terrestre e Cambiamenti Climatici ( - FIS/06 - 3 CFU - 30 ore - ITA )**

**Curricula:** Curriculum unico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PETTINELLI ELENA	24	Carico didattico	

**20410498 - Principi di Materia Condensata ( - FIS/03 - 3 CFU - 30 ore - ITA )**

**Curricula:** Curriculum unico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
GALLO PAOLA	20	Carico didattico	
CAPELLINI GIOVANNI	10	Carico didattico	

**Terzo anno**

**Primo semestre**

**20401807 - ESPERIMENTAZIONI DI FISICA III ( - FIS/01 - 6 CFU - 72 ore - ITA )**

**Curricula:** Curriculum unico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
SCHIRRIPA SPAGNOLO GIUSEPPE	120	Carico didattico	N0

### 20410015 - MECCANICA QUANTISTICA ( - FIS/02 - 12 CFU - 120 ore - ITA )

*Curricula: Curriculum unico*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
LUBICZ VITTORIO	102	Carico didattico	
TARANTINO CECILIA	18	Carico didattico	

### 20401813 - METODI MATEMATICI PER LA FISICA ( - FIS/02 - 12 CFU - 102 ore - ITA )

*Curricula: Curriculum unico*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
MELONI DAVIDE	84	Carico didattico	N0
DEGRASSI GIUSEPPE	18	Carico didattico	N0

## Secondo semestre

### 20401227 - ELEMENTI DI FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE ( - FIS/04 - 6 CFU - 66 ore - ITA )

*Curricula: Curriculum unico*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
ORESTANO DOMIZIA	40	Carico didattico	
SALAMANNA GIUSEPPE	26	Carico didattico	

### 20401806 - ELEMENTI DI MECCANICA STATISTICA ( - FIS/02 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

*Curricula: Curriculum unico*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
RAIMONDI ROBERTO	60	Carico didattico	N0

### 20401877 - FISICA ATOMICA E MOLECOLARE ( - FIS/03 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

*Curricula: Curriculum unico*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
LUPI LAURA	60	Carico didattico	N0

### 20401809 - LABORATORIO DI ASTROFISICA ( - FIS/05 - 6 CFU - 62 ore - ITA )

*Curricula: Curriculum unico*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
RICCI FEDERICA	50	Carico didattico	N0
BERNIERI ENRICO	12	Esperto di alta qualificazione retribuito	N0

### 20410716 - Laboratorio di calcolo ad alte prestazioni ( - FIS/04 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

*Curricula: Curriculum unico*

**20410715 - Laboratorio di Diagnostica della Materia dei Materiali ( - FIS/03 - 6 CFU - 74 ore - ITA )**

**Curricula:** Curriculum unico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
BENEDETTO ANTONIO	19	Carico didattico	
TORTORA LUCA	17	Carico didattico	
RUOCCO ALESSANDRO	14	Carico didattico	
OFFI FRANCESCO	12	Carico didattico	

**20410892 - Laboratorio di Fisica della Terra ( - FIS/06 - 6 CFU - 62 ore - ITA )**

**Curricula:** Curriculum unico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PETITTA MARCELLO	38	Carico didattico	
LAURO SEBASTIAN EMANUEL	12	Carico didattico	
MATTEI ELISABETTA	12	Carico didattico	

**20401811 - LABORATORIO DI FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE ( - FIS/04 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Curriculum unico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PETRUCCI FABRIZIO	28	Carico didattico	N0
SALAMANNA GIUSEPPE	10	Carico didattico	N0

**20430003 - Statistica per l'Analisi dei Dati ( - FIS/01 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Curriculum unico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
MARI STEFANO MARIA	60	Carico didattico	

**INCARICHI DIDATTICI DEL CORSO DI LAUREA**

Nominativo	Tot.Ore	Tipo incarico	Ore	Attività didattica
BENEDETTO ANTONIO	19	Carico didattico	19	20410715 - Laboratorio di Diagnostica della Materia dei Materiali
BERNIERI ENRICO	12	Esperto di alta qualificazione retribuito	12	20401809 - LABORATORIO DI ASTROFISICA
BUSSINO SEVERINO ANGELO MARIA	46	Carico didattico	20	20410011 - LABORATORIO DI PROGRAMMAZIONE E CALCOLO
		Affidamento a titolo gratuito	46	20410011 - LABORATORIO DI PROGRAMMAZIONE E CALCOLO
CAPELLINI GIOVANNI	10	Carico didattico	10	20410498 - Principi di Materia Condensata
DEGRASSI GIUSEPPE	18	Carico didattico	18	20401813 - METODI MATEMATICI PER LA FISICA
DI MICCO BIAGIO	28	Carico didattico	28	20410013 - FISICA GENERALE II
DI NARDO ROBERTO	128	Carico didattico	54	20410014 - ESPERIMENTAZIONI DI FISICA II
		Carico didattico	50	20401530 - FISICA GENERALE I
		Carico didattico	16	20410614 - Principi di Fisica delle Particelle e delle Astroparticelle
		Affidamento a titolo gratuito	8	20410614 - Principi di Fisica delle Particelle e delle Astroparticelle
GALLO PAOLA	20	Carico didattico	20	20410498 - Principi di Materia Condensata
LA FRANCA FABIO	40	Carico didattico	40	20410499 - Principi di Astrofisica
LAURO SEBASTIAN EMANUEL	12	Carico didattico	12	20410892 - Laboratorio di Fisica della Terra
LUBICZ VITTORIO	125	Carico didattico	18	20410023 - ELEMENTI DI FISICA TEORICA CONTEMPORANEA
		Affidamento a titolo gratuito	5	20410023 - ELEMENTI DI FISICA TEORICA CONTEMPORANEA
		Carico didattico	102	20410015 - MECCANICA QUANTISTICA
LUPI LAURA	60	Carico didattico	60	20401877 - FISICA ATOMICA E MOLECOLARE
MARCELLI GIOVANNA	30	Carico didattico	30	20410085 - COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD. B
MARI STEFANO MARIA	60	Carico didattico	60	20430003 - Statistica per l'Analisi dei Dati
MATT GIORGIO	120	Carico didattico	100	20410013 - FISICA GENERALE II
		Carico didattico	20	20410499 - Principi di Astrofisica
MATTEI ELISABETTA	132	Carico didattico	120	20410010 - ESPERIMENTAZIONI DI FISICA I
		Carico didattico	12	20410892 - Laboratorio di Fisica della Terra
MELONI DAVIDE	84	Carico didattico	84	20401813 - METODI MATEMATICI PER LA FISICA
OFFI FRANCESCO	12	Carico didattico	12	20410715 - Laboratorio di Diagnostica della Materia dei Materiali
ORESTANO DOMIZIA	70	Carico didattico	40	20401227 - ELEMENTI DI FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE
		Carico didattico	30	20410014 - ESPERIMENTAZIONI DI FISICA II
		Affidamento a titolo gratuito	30	20410014 - ESPERIMENTAZIONI DI FISICA II
PETITTA MARCELLO	38	Carico didattico	38	20410892 - Laboratorio di Fisica della Terra
PETRUCCI FABRIZIO	106	Carico didattico	78	20401530 - FISICA GENERALE I
		Carico didattico	28	20401811 - LABORATORIO DI FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE
PETTINELLI ELENA	48	Carico didattico	24	20410721 - Esplorazione spaziale e Fisica planetaria
		Carico didattico	24	20410720 - Principi di fisica Terrestre e Cambiamenti Climatici
PONTECORVO MASSIMILIANO	60	Carico didattico	60	20410009 - ELEMENTI DI GEOMETRIA
RAIMONDI ROBERTO	60	Carico didattico	60	20401806 - ELEMENTI DI MECCANICA STATISTICA
REUVERS ROBIN JOHANNES PETRUS	30	Carico didattico	30	20410084 - COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD A
RICCI FEDERICA	50	Carico didattico	50	20401809 - LABORATORIO DI ASTROFISICA
RUOCCO ALESSANDRO	14	Carico didattico	14	20410715 - Laboratorio di Diagnostica della Materia dei Materiali
SALAMANNA GIUSEPPE	36	Carico didattico	26	20401227 - ELEMENTI DI FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE
		Carico didattico	10	20401811 - LABORATORIO DI FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE
SCHIRRIPI SPAGNOLO GIUSEPPE	120	Carico didattico	120	20401807 - ESPERIMENTAZIONI DI FISICA III
TARANTINO CECILIA	25	Carico didattico	2	20410023 - ELEMENTI DI FISICA TEORICA CONTEMPORANEA
		Affidamento a titolo gratuito	5	20410023 - ELEMENTI DI FISICA TEORICA CONTEMPORANEA
		Carico didattico	18	20410015 - MECCANICA QUANTISTICA
TORTORA LUCA	17	Carico didattico	17	20410715 - Laboratorio di Diagnostica della Materia dei Materiali
URSINI FRANCESCO	24	Carico didattico	24	20410014 - ESPERIMENTAZIONI DI FISICA II
DOCENTE NON DEFINITO	480	Bando	30	20410009 - ELEMENTI DI GEOMETRIA
		Bando	72	20410010 - ESPERIMENTAZIONI DI FISICA I
		Bando	72	20410010 - ESPERIMENTAZIONI DI FISICA I
		Bando	50	20410014 - ESPERIMENTAZIONI DI FISICA II
		Bando	94	20410011 - LABORATORIO DI PROGRAMMAZIONE E CALCOLO

Nominativo	Tot.Ore	Tipo incarico	Ore	Attività didattica
Totale ore	2134			

## CONTENUTI DIDATTICI

### 20410405 - AM110 - ANALISI MATEMATICA 1

**Docente:** BATTAGLIA LUCA

#### Italiano

##### Prerequisiti

-----

##### Programma

Numeri. Disequazioni. Funzioni esponenziali e logaritmi. Funzioni trigonometriche e loro inverse (vale per recupero OFA); Limiti (successioni, funzioni) e continuità. Derivate. Grafici di funzioni; Integrali. Serie e integrali impropri; Equazioni differenziali: lineari del primo ordine, a variabili separabili, del secondo ordine a coefficienti costanti, non autonome.

##### Testi

"Corso di analisi. Prima parte. Una introduzione rigorosa all'analisi matematica su  $\mathbb{R}$ ", L. Chierchia, McGraw-Hill Education "Analisi Matematica 1", E. Giusti, Bollati Boringhieri

##### Bibliografia di riferimento

"Corso di analisi. Prima parte. Una introduzione rigorosa all'analisi matematica su  $\mathbb{R}$ ", L. Chierchia, McGraw-Hill Education "Analisi Matematica 1", E. Giusti, Bollati Boringhieri

##### Modalità erogazione

-

##### Modalità di valutazione

Prova scritta (o esoneri) e prova orale

#### English

##### Prerequisites

-----

##### Programme

Numbers. Inequalities. Exponential functions and logarithms. Trigonometric functions and their inverses (applies to OFA recovery); Limits (sequences, functions) and continuity. Derivatives. Graphs of functions; Integrals. Series and improper integrals; Differential equations: first order linear equations, with separation of variables, second order equations with constant coefficients, non-autonomous.

##### Reference books

"Corso di analisi. Prima parte. Una introduzione rigorosa all'analisi matematica su  $\mathbb{R}$ ", L. Chierchia, McGraw-Hill Education "Analisi Matematica 1", E. Giusti, Bollati Boringhieri

##### Reference bibliography

"Corso di analisi. Prima parte. Una introduzione rigorosa all'analisi matematica su  $\mathbb{R}$ ", L. Chierchia, McGraw-Hill Education "Analisi Matematica 1", E. Giusti, Bollati Boringhieri

##### Study modes

-

##### Exam modes

-

### 20430006 - Analisi Matematica II

**Docente:** CHIERCHIA LUIGI

#### Italiano

##### Prerequisiti

il corso fruisce dell' insegnamento AM120 Analisi Matematica II, erogato nel CdL in Matematica (corso padre); si vedano pertanto tutte le caratteristiche riportate nella pagina principale dell'insegnamento:

<https://www.uniroma3.it/didattica-erogata/dipartimento-di-matematica-e-fisica//2025-2026/matematica-0580706203500001/>

##### Programma

il corso fruisce dell' insegnamento AM120 Analisi Matematica II, erogato nel CdL in Matematica (corso padre); si vedano pertanto tutte le caratteristiche riportate nella pagina principale dell'insegnamento:

<https://www.uniroma3.it/didattica-erogata/dipartimento-di-matematica-e-fisica//2025-2026/matematica-0580706203500001/>

##### Testi

il corso fruisce dell' insegnamento AM120 Analisi Matematica II, erogato nel CdL in Matematica (corso padre); si vedano pertanto tutte le caratteristiche riportate nella pagina principale dell'insegnamento:

<https://www.uniroma3.it/didattica-erogata/dipartimento-di-matematica-e-fisica//2025-2026/matematica-0580706203500001/>

## Bibliografia di riferimento

the course benefits from the course AM120 Mathematical Analysis II, delivered in the Degree Course in Mathematics (parent course); Therefore, see all the characteristics reported on the main page of the course:  
<https://www.uniroma3.it/didattica-erogata/dipartimento-di-matematica-e-fisica//2025-2026/matematica-0580706203500001/>

## Modalità erogazione

Testi da definire

## Modalità di valutazione

il corso fruisce dell' insegnamento AM120 Analisi Matematica II, erogato nel CdL in Matematica (corso padre); si vedano pertanto tutte le caratteristiche riportate nella pagina principale dell'insegnamento:  
<https://www.uniroma3.it/didattica-erogata/dipartimento-di-matematica-e-fisica//2025-2026/matematica-0580706203500001/>

## English

### Prerequisites

the course benefits from the course AM120 Mathematical Analysis II, delivered in the Degree Course in Mathematics (parent course); Therefore, see all the characteristics reported on the main page of the course:  
<https://www.uniroma3.it/didattica-erogata/dipartimento-di-matematica-e-fisica//2025-2026/matematica-0580706203500001/>

### Programme

the course benefits from the course AM120 Mathematical Analysis II, delivered in the Degree Course in Mathematics (parent course); Therefore, see all the characteristics reported on the main page of the course:  
<https://www.uniroma3.it/didattica-erogata/dipartimento-di-matematica-e-fisica//2025-2026/matematica-0580706203500001/>

### Reference books

-

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20430006 - Analisi Matematica II

**Docente:** FEOLA ROBERTO

## Italiano

### Prerequisiti

Aver frequentato un corso di Analisi 1.

### Programma

Differenziazione e integrazione in piu' dimensioni.

### Testi

Marcellini-Sbordone, Analisi II.

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

lezioni in aula

### Modalità di valutazione

Chi fa bene i due esoneri durante il corso puo' evitare lo scritto alla fine.

## English

### Prerequisites

Freshman Analysis.

### Programme

Integration and differentiation in higher dimension.

### Reference books

Marcellini-Sbordone, Analisi II.

### Reference bibliography

-  
**Study modes**

-

**Exam modes**

-

## 20410606 - Analisi Matematica II, Mod.1

**Docente:** PROCESI MICHELA

### Italiano

#### Prerequisiti

l'insegnamento è fruito da AM210-Analisi Matematica 3 offerto dal CdL in Matematica; si veda la descrizione del corso alla pagina del corso padre: <https://www.uniroma3.it/corsi/dipartimento-di-matematica-e-fisica/l/2025-2026/matematica-0580706203500001/>, alla voce "lista insegnamenti"

#### Programma

l'insegnamento è fruito da AM210-Analisi Matematica 3 offerto dal CdL in Matematica; si veda la descrizione del corso alla pagina del corso padre: <https://www.uniroma3.it/corsi/dipartimento-di-matematica-e-fisica/l/2025-2026/matematica-0580706203500001/>, alla voce "lista insegnamenti"

#### Testi

l'insegnamento è fruito da AM210-Analisi Matematica 3 offerto dal CdL in Matematica; si veda la descrizione del corso alla pagina del corso padre: <https://www.uniroma3.it/corsi/dipartimento-di-matematica-e-fisica/l/2025-2026/matematica-0580706203500001/>, alla voce "lista insegnamenti"

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Testi da definire

#### Modalità di valutazione

l'insegnamento è fruito da AM210-Analisi Matematica 3 offerto dal CdL in Matematica; si veda la descrizione del corso alla pagina del corso padre: <https://www.uniroma3.it/corsi/dipartimento-di-matematica-e-fisica/l/2025-2026/matematica-0580706203500001/>, alla voce "lista insegnamenti"

### English

#### Prerequisites

the course is used by AM210-Mathematical Analysis 3 offered by the Degree Course in Mathematics; See the course description on the page of the parent course:  
<https://www.uniroma3.it/corsi/dipartimento-di-matematica-e-fisica/l/2025-2026/matematica-0580706203500001/>, under "Course List"

#### Programme

the course is used by AM210-Mathematical Analysis 3 offered by the Degree Course in Mathematics; See the course description on the page of the parent course:  
<https://www.uniroma3.it/corsi/dipartimento-di-matematica-e-fisica/l/2025-2026/matematica-0580706203500001/>, under "Course List"

#### Reference books

the course is used by AM210-Mathematical Analysis 3 offered by the Degree Course in Mathematics; See the course description on the page of the parent course:  
<https://www.uniroma3.it/corsi/dipartimento-di-matematica-e-fisica/l/2025-2026/matematica-0580706203500001/>, under "Course List"

#### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410607 - Analisi Matematica II, Mod.2

**Docente:** PROCESI MICHELA

### Italiano

#### Prerequisiti

l'insegnamento è fruito da AM220-Analisi Matematica 4 offerto dal CdL in Matematica; si veda la descrizione del corso alla pagina del corso padre: <https://www.uniroma3.it/corsi/dipartimento-di-matematica-e-fisica/l/2025-2026/matematica-0580706203500001/>, alla voce

"lista insegnamenti"

### Programma

l'insegnamento è fruito da AM220-Analisi Matematica 4 offerto dal CdL in Matematica; si veda la descrizione del corso alla pagina del corso padre: <https://www.uniroma3.it/corsi/dipartimento-di-matematica-e-fisica/l/2025-2026/matematica-0580706203500001/>, alla voce "lista insegnamenti"

### Testi

l'insegnamento è fruito da AM220-Analisi Matematica 4 offerto dal CdL in Matematica; si veda la descrizione del corso alla pagina del corso padre: <https://www.uniroma3.it/corsi/dipartimento-di-matematica-e-fisica/l/2025-2026/matematica-0580706203500001/>, alla voce "lista insegnamenti"

### Bibliografia di riferimento

the course is used by AM220-Mathematical Analysis 4 offered by the Degree Course in Mathematics; See the course description on the page of the parent course: <https://www.uniroma3.it/corsi/dipartimento-di-matematica-e-fisica/l/2025-2026/matematica-0580706203500001/>, under "Course List"

### Modalità erogazione

Testi da definire

### Modalità di valutazione

l'insegnamento è fruito da AM220-Analisi Matematica 4 offerto dal CdL in Matematica; si veda la descrizione del corso alla pagina del corso padre: <https://www.uniroma3.it/corsi/dipartimento-di-matematica-e-fisica/l/2025-2026/matematica-0580706203500001/>, alla voce "lista insegnamenti"

### English

#### Prerequisites

the course is used by AM220-Mathematical Analysis 4 offered by the Degree Course in Mathematics; See the course description on the page of the parent course: <https://www.uniroma3.it/corsi/dipartimento-di-matematica-e-fisica/l/2025-2026/matematica-0580706203500001/>, under "Course List"

#### Programme

the course is used by AM220-Mathematical Analysis 4 offered by the Degree Course in Mathematics; See the course description on the page of the parent course: <https://www.uniroma3.it/corsi/dipartimento-di-matematica-e-fisica/l/2025-2026/matematica-0580706203500001/>, under "Course List"

#### Reference books

the course is used by AM220-Mathematical Analysis 4 offered by the Degree Course in Mathematics; See the course description on the page of the parent course: <https://www.uniroma3.it/corsi/dipartimento-di-matematica-e-fisica/l/2025-2026/matematica-0580706203500001/>, under "Course List"

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410084 - COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD A

**Docente:** REUVERS ROBIN JOHANNES PETRUS

### Italiano

#### Prerequisiti

nessuno

#### Programma

Sistemi dinamici lineari. Oscillatore armonico forzato con o senza attrito. Teoremi di stabilità. Risonanza parametrica. Catena di oscillatori armonici accoppiati: limite del continuo e equazioni della corda vibrante. Diffusione elastica classica. Integrali primi nascosti nel problema dei due corpi e nel problema dell'oscillatore armonico tridimensionale.

#### Testi

V.I. Arnol'd, Metodi Matematici della Meccanica Classica, Editori Riuniti, Roma, 1979 G. Gallavotti, Meccanica Elementare, ed. P. Boringhieri, Torino, 1986 G. Gentile, Introduzione ai sistemi dinamici, 1 (Equazioni differenziali ordinarie, analisi qualitativa e alcune applicazioni) e 2 (Meccanica lagrangiana e hamiltoniana) L.D. Landau, E.M. Lifshitz, Meccanica, Editori Riuniti, Roma, 1976

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

lezioni frontali in aula

## Modalità di valutazione

L'esame consiste nella soluzione di un foglio di esercizi assegnati a lezione, da restituire risolti entro l'esame orale, e un'esame orale.

## English

### Prerequisites

none

### Programme

Linear dynamical systems. Forced harmonic oscillator with or without friction. Stability theorems. Parametric resonance. Chain of coupled harmonic oscillators: continuum limit and equations of vibrating rope. Classic elastic diffusion. Hidden prime integrals in the two-body problem and the harmonic oscillator problem three-dimensional.

### Reference books

V.I. Arnol'd, Metodi Matematici della Meccanica Classica, Editori Riuniti, Roma, 1979 G. Gallavotti, Meccanica Elementare, ed. P. Boringhieri, Torino, 1986 G. Gentile, Introduzione ai sistemi dinamici, 1 (Equazioni differenziali ordinarie, analisi qualitativa e alcune applicazioni) e 2 (Meccanica lagrangiana e hamiltoniana) L.D. Landau, E.M. Lifshitz, Meccanica, Editori Riuniti, Roma, 1976

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410085 - COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD. B

**Docente:** MARCELLI GIOVANNA

## Italiano

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

Angoli di Eulero. Equazioni di Eulero per la dinamica del corpo rigido. Integrabilità del corpo rigido con un punto non sottoposto a forze. Trottola di Lagrange. Sistemi ergodici, caotici e mescolanti. Variabili azione angolo: il teorema di Arnold-Liouville. Teoria delle perturbazioni in meccanica classica: precessione del perielio di Mercurio e cenni alla teoria KAM.

### Testi

V.I. Arnol'd, Metodi Matematici della Meccanica Classica, Editori Riuniti, Roma, 1979 G. Gallavotti, Meccanica Elementare, ed. P. Boringhieri, Torino, 1986 G. Gentile, Introduzione ai sistemi dinamici, 1 (Equazioni differenziali ordinarie, analisi qualitativa e alcune applicazioni) e 2 (Meccanica lagrangiana e hamiltoniana) L.D. Landau, E.M. Lifshitz, Meccanica, Editori Riuniti, Roma, 1976

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

lezioni frontali in aula

### Modalità di valutazione

L'esame consiste nella soluzione di un foglio di esercizi assegnati a lezione, da restituire risolti entro l'esame orale, e in un colloquio orale su una selezione degli argomenti trattati, da concordare col docente

## English

### Prerequisites

none

### Programme

Euler angles. Euler's equations for rigid body dynamics. Integrability of the rigid body with a point not subjected to forces. Lagrange spinning top. Ergodic, chaotic and mixing systems. Action angle variables: the theorem of Arnold-Liouville. Perturbation theory in classical mechanics: precession of the perihelion of Mercury and hints at the KAM theory.

### Reference books

V.I. Arnol'd, Metodi Matematici della Meccanica Classica, Editori Riuniti, Roma, 1979 G. Gallavotti, Meccanica Elementare, ed. P. Boringhieri, Torino, 1986 G. Gentile, Introduzione ai sistemi dinamici, 1 (Equazioni differenziali ordinarie, analisi qualitativa e alcune applicazioni) e 2 (Meccanica lagrangiana e hamiltoniana) L.D. Landau, E.M. Lifshitz, Meccanica, Editori Riuniti, Roma, 1976

### Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20401116 - ELEMENTI DI CHIMICA

Canale:NO

Docente: TUTI SIMONETTA

### Italiano

#### Prerequisiti

Nozioni fondamentali di matematica e algebra, leggi fisiche del moto e legge di Coulomb.

#### Programma

NOMENCLATURA CHIMICA: composti inorganici, formula minima, formula molecolare e di struttura, classi di reazioni chimiche, composti organici: idrocarburi, alcoli ammine (8 H) NATURA ATOMICA DELLA MATERIA: struttura atomica, massa atomica, mole, isotopi, radiazioni elettromagnetiche, struttura elettronica di Bohr e di Schroedinger, proprietà periodiche (8 H) TEORIE DI LEGAME CHIMICO: legame covalente, strutture di Lewis, geometria VSEPR, legame ionico, legami deboli elettrostatici delle fasi condensate (8 H). PROPRIETÀ CHIMICO-FISICHE DELLE TRE FASI DELLA MATERIA: leggi dei gas ideali e reali, proprietà dei liquidi, legge di Clausius Clapeyron, classificazione e proprietà dei solidi, passaggi di fase e diagrammi di stato (8 H). SISTEMI A DUE COMPONENTI: soluzioni, unità di concentrazione, solubilità di gas, liquidi e solidi, proprietà colligative (6 H). TERMODINAMICA E TERMOCHIMICA, energia interna, entalpia, legge di Hess, entropia, principi della termodinamica, spontaneità delle reazioni, energia libera di Gibbs (8 H) EQUILIBRIO CHIMICO: legge di azione di massa, proprietà della costante di equilibrio, legge di Van't Hoff, principio di Le Chatelier (4 H). EQUILIBRI IN SOLUZIONE ACQUOSA: autoprotolisi dell'acqua, pH, acidi e basi forti e deboli, equilibri acido-base, acidi e basi poliprotici, reazioni di idrolisi, reazioni di neutralizzazione, prodotto di solubilità di sali poco solubili(8 H). ESERCITAZIONI NUMERICHE: esercizi scritti e calcoli stechiometrici sugli argomenti del corso (24 H)

#### Testi

"Elementi di Chimica" di Palmisano, Marci, Costantini, Luciani, Schiavello (IIa edizione)- EDISES (testo più sintetico) "Fondamenti di Chimica" di Schiavello, Palmisano(V-VIa edizione)- EDISES (testo più esteso) Possono essere sostituiti da qualsiasi testo di chimica generale purché a livello universitario. "Esercizi di chimica generale" di Alessandro Del Zotto - EDISES Può essere utilizzato qualsiasi testo di stechiometria a livello universitario.

#### Bibliografia di riferimento

non disponibile

#### Modalità erogazione

58 ore di lezioni frontali di teoria in aula, 24 ore di esercitazioni numeriche riguardanti calcoli chimici e risoluzione di problemi di stechiometria.

#### Modalità di valutazione

L'esame scritto consiste nel dimostrare di conoscere la nomenclatura dei composti e nella soluzione di problemi di stechiometria sugli argomenti del corso (2,5-3 h). Il superamento della prova scritta consente l'ammissione alla prova orale. L'esame orale consiste in una prova scritta riguardante 4-5 temi tratti da tutti gli argomenti del corso, seguita da un colloquio.

### English

#### Prerequisites

Fundamental of mathematics and algebra, the physical laws of motion and Coulomb's law.

#### Programme

CHEMICAL NOMENCLATURE: inorganic compounds, minimum formula, molecular and structural formula, classes of chemical reactions, organic compounds: hydrocarbons, alcohols, and amines (8 H) ATOMIC NATURE OF MATTER: atomic structure, atomic mass, mole, isotopes, electromagnetic radiation, Bohr and Schroedinger electronic structure, periodic properties (8 H) CHEMICAL BOND THEORIES: covalent bond, Lewis structures, VSEPR geometry, ionic bond, weak electrostatic bonds (8 H) CHEMICAL-PHYSICAL PROPERTIES OF PHASES OF MATTER: laws of gases, properties of liquids, Clausius Clapeyron's law, classification and properties of solids, phase transitions and state diagrams (8 H) TWO-COMPONENT SYSTEMS: solutions, concentration units, the solubility of gases, liquids and solids, colligative properties (6 H) THERMODYNAMICS AND THERMOCHEMISTRY: internal energy, enthalpy, Hess's law, entropy, principles of thermodynamics, the spontaneity of reactions and the Gibbs energy (8 H) CHEMICAL EQUILIBRIUM: the law of mass action, properties of the equilibrium constant, Van't Hoff's law, Le Chatelier's principle (4 H) EQUILIBRIA IN WATER SOLUTION: water autoprotolysis, pH, strong and weak acids and bases, polyprotic acids and bases, acid-base equilibria, hydrolysis reactions, neutralization reactions, solubility product of slightly soluble salts (8 H) NUMERICAL EXERCISES: numerical calculation of stoichiometry (24 H)

#### Reference books

"Elementi di Chimica" di Palmisano, Marci, Costantini, Luciani, Schiavello (IIa edizione)- EDISES (more concise) "Fondamenti di Chimica" di Schiavello, Palmisano(V-VIa edizione)- EDISES (more in depth) They can be replaced by any college-level general chemistry text. "Esercizi di chimica generale" di Alessandro Del Zotto - EDISES It can be replaced by any college-level stoichiometry text.

#### Reference bibliography

not available

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20401227 - ELEMENTI DI FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE

**Docente:** SALAMANNA GIUSEPPE

### Italiano

#### Prerequisiti

Conoscenza di elementi di meccanica quantistica utilizzo di metodi matematici della fisica, acquisiti mediante la frequenza degli insegnamenti istituzionali del primo semestre del III anno del corso di Laurea in Fisica

#### Programma

Prima parte: Il protone, raggi catodici, l'elettrone, massa e carica elettrica. Spettro del corpo nero, costante di Planck, effetto fotoelettrico, raggi X, effetto Compton, il fotone. Modello atomico di Bohr, spettri atomici, momento magnetico, spin dell'elettrone. Relatività ristretta, trasformazioni di Lorentz, quadrivettori e invarianti relativistici. Energia-impulso, cinematica relativistica. Sezione d'urto, coefficiente di assorbimento. Diffusione coulombiana, sezione d'urto di Rutherford. Diffusione di radiazione elettromagnetica da una carica, sezione d'urto di Thomson. Richiami di teoria delle perturbazioni, probabilità di transizione, spazio delle fasi. Legge di decadimento, interazione elettromagnetica, emissione e assorbimento, radiazione di dipolo elettrico e magnetico, regole di selezione. Diffusione di Rutherford, fattore di forma elettrico, diffusione di carica da momento magnetico, fattori di forma elettrico e magnetico del protone e del neutrone. Diffusione da potenziale centrale, sviluppo in onde parziali, sezione d'urto di diffusione e assorbimento. Seconda parte: Proprietà dei nuclei, numero e peso atomico, curva di stabilità, misure di carica, massa e raggio dei nuclei. Statistica, spin e parità dei nuclei, il neutrone. Energia elettromagnetica dei nuclei, sviluppo in multipoli, momento di dipolo magnetico e di quadrupolo elettrico, metodi di misura. Modello a gas di Fermi, energia cinetica dei nucleoni. Modello a goccia, formula di Bethe-Weizsäcker, nuclei isobari speculari. Numeri magici, modello a strati, interazione spin-orbita. Stati di energia dei nuclei, stati di spin-parità. Il sistema protone-neutrone, isospin, il deutone. Decadimenti dei nuclei, attività. Fenomenologia del decadimento gamma, radiazione di multipolo, coefficienti di Weisskopf, fluorescenza nucleare. Fenomenologia del decadimento alpha, cinematica, curva di stabilità, barriera di potenziale, fattore di Gamow, vita media. Fenomenologia del decadimento beta, ipotesi del neutrino, teoria di Fermi, diagramma di Kurie, vita media, elemento di matrice, transizioni Fermi e Gamow-Teller, costante di Fermi, interazioni deboli. Scoperta del neutrino. Terza parte: Reazioni nucleari. Fissione, bilancio energetico della fissione dell'uranio, fissione indotta da neutroni, reattore nucleare. Fusione, i cicli del sole, bi lancio energetico, nucleosintesi, fusione in laboratorio. Forze nucleari, modello di Yukawa. Raggi cosmici, componente primaria e secondaria, il positrone, il positronio. Scoperta e proprietà delle particelle, mesoni e barioni, antiparticelle. Classificazione delle interazioni: nucleari, elettromagnetiche, deboli. Modello a quark, scoperta dei quark

#### Testi

• W. E. Burcham and M. Jobes, Nuclear and Particle Physics, Pearson Education, 1994. • Gli appunti del corso di Istituzioni di Fisica Nucleare e Subnucleare del Prof. Ceradini saranno resi disponibili sul sito del corso Il materiale didattico è disponibile in doppia copia sulle piattaforme moodle <https://matematicafisica.el.uniroma3.it/course/view.php?id=51> e in sharepoint <https://uniroma3.sharepoint.com/sites/ElementidiFisicaNucleareeSubnucleareAA201920>. Gli studenti sono pregati di registrarsi su moodle e su teams (<https://teams.microsoft.com/l/team/19%3a57c8fc1e646a489894614511aea22a8c%40thread.tacv2/conversations?groupId=b5330848-367f-43b5-ae3c-b>)

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Lezioni frontali alla lavagna, con uso occasionale di slide solo per illustrare distribuzioni sperimentali o apparati particolarmente complessi, intercalate da almeno una seduta di esercitazioni in aula ogni settimana per consolidare l'apprendimento delle nozioni teoriche e preparare le verifiche in itinere e la prova scritta di esame.

#### Modalità di valutazione

L'esame si articola in una prova scritta della durata di tre ore nelle quale si richiede la soluzione di tre esercizi e in una prova orale finalizzati a verificare il livello di comprensione effettiva dei concetti e la capacità degli studenti di applicarli in contesti reali. Sono previste verifiche in itinere (esoneri) che agevolano l'autovalutazione da parte degli studenti e che se superate consentono l'esonero dall'esame sulla corrispondente parte di programma. Esempi di compiti degli anni precedenti saranno resi disponibili sulla pagina del corso.

### English

#### Prerequisites

Knowledge of quantum mechanics and mathematical methods for physics acquired through the courses foreseen in the first term of the 3rd year of the Laurea in Fisica

#### Programme

First module: The proton, cathode rays, the electron, mass and electric charge. Black body radiation, Planck constant, photoelectric effect, X rays, Compton effect, the photon. Bohr atomic model, atomic spectra, electron magnetic moment and spin. Special relativity, Lorentz transforms, four-vectors and relativistic invariants, energy and momentum, relativistic kinematics. Cross section, absorption coefficient. Coulomb scattering, Rutherford cross section. Scattering of electromagnetic radiation by a charge, Thomson cross section. Quantum mechanics and perturbation theory, transition probability, phase space. Decay law, electromagnetic interaction, emission and absorption, electric and magnetic dipole radiation, selection rules. Rutherford scattering, electric form factor, scattering of a charge by a

magnetic moment, electric and magnetic form factor of proton and neutron. Potential scattering, partial waves, scattering and absorption cross section. Second module: Properties of nuclei, atomic and mass number, stability band, measurement of charge, mass and nuclear radius. Statistics, spin and parity of nuclei, the neutron. Electromagnetic energy of nuclei, magnetic dipole and electric quadrupole moments. Fermi gas model, kinetic energy of nucleons. Liquid drop model, Bethe-Weizsäcker mass formula, mirror nuclei. Magic numbers, shell model, spin-orbit interaction, energy levels and spin-parity states. The neutron-proton system, the deuteron. Nuclear decays, activity. Phenomenology of gamma decay, multipole radiation, Weisskopf coefficients. Phenomenology of alpha decay, kinematics, stability curve, potential barrier and Gamow factor, lifetime. Phenomenology of beta decay, the neutrino hypothesis, Fermi theory, Kurie plot, lifetime, Fermi and Gamow-Teller transitions. Weak interaction and Fermi constant. Discovery of the neutrino. Third module: Nuclear reactions, Fission, energy balance of the Uranium fission, neutron-induced fission, nuclear reactor. Fusion, cycles of the Sun, energy balance, nucleosynthesis, fusion in the laboratory. Nuclear forces, Yukawa model. Cosmic rays, primary and secondary components, the positron. Discovery and properties of elementary particles, meson and baryons, anti-particles. Elementary particle interactions: nuclear, electromagnetic, weak. The quark model, discovery of quarks.

### Reference books

• W. E. Burcham and M. Jobes, Nuclear and Particle Physics, Pearson Education, 1994. • The notes of the course of Institutions of Nuclear and Subnuclear Physics of Prof. Ceradini will be made available on the course website The teaching material is available in double copy on the moodle platforms <https://matematicafisica.el.uniroma3.it/course/view.php?id=51> and in sharepoint <https://uniroma3.sharepoint.com/sites/ElementidiFisicaNucleareeSubnucleareAA201920>. Students are asked to register on moodle and on teams (<https://teams.microsoft.com/l/team/19%3a57c8fc1e646a489894614511aea22a8c%40thread.tacv2/conversations?groupId=b5330848-367f-43b5-ae3c-bf464-458c-a546-00fb3af6f6a>)

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20401227 - ELEMENTI DI FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE

**Docente:** ORESTANO DOMIZIA

### Italiano

#### Prerequisiti

Conoscenza di elementi di meccanica quantistica utilizzo di metodi matematici della fisica, acquisiti mediante la frequenza degli insegnamenti istituzionali del primo semestre del III anno del corso di Laurea in Fisica

#### Programma

Prima parte: Il protone, raggi catodici, l'elettrone, massa e carica elettrica. Spettro del corpo nero, costante di Planck, effetto fotoelettrico, raggi X, effetto Compton, il fotone. Modello atomico di Bohr, spettri atomici, momento magnetico, spin dell'elettrone. Relatività ristretta, trasformazioni di Lorentz, quadrivettori e invarianti relativistici. Energia-impulso, cinematica relativistica. Sezione d'urto, coefficiente di assorbimento. Diffusione coulombiana, sezione d'urto di Rutherford. Diffusione di radiazione elettromagnetica da una carica, sezione d'urto di Thomson. Richiami di teoria delle perturbazioni, probabilità di transizione, spazio delle fasi. Legge di decadimento, interazione elettromagnetica, emissione e assorbimento, radiazione di dipolo elettrico e magnetico, regole di selezione. Diffusione di Rutherford, fattore di forma elettrico, diffusione di carica da momento magnetico, fattori di forma elettrico e magnetico del protone e del neutrone. Diffusione da potenziale centrale, sviluppo in onde parziali, sezione d'urto di diffusione e assorbimento. Seconda parte: Proprietà dei nuclei, numero e peso atomico, curva di stabilità, misure di carica, massa e raggio dei nuclei. Statistica, spin e parità dei nuclei, il neutrone. Energia elettromagnetica dei nuclei, sviluppo in multipoli, momento di dipolo magnetico e di quadrupolo elettrico, metodi di misura. Modello a gas di Fermi, energia cinetica dei nucleoni. Modello a goccia, formula di Bethe-Weizsäcker, nuclei isobari speculari. Numeri magici, modello a strati, interazione spin-orbita. Stati di energia dei nuclei, stati di spin-parità. Il sistema protone-neutrone, isospin, il deutone. Decadimenti dei nuclei, attività. Fenomenologia del decadimento gamma, radiazione di multipolo, coefficienti di Weisskopf, fluorescenza nucleare. Fenomenologia del decadimento alpha, cinematica, curva di stabilità, barriera di potenziale, fattore di Gamow, vita media. Fenomenologia del decadimento beta, ipotesi del neutrino, teoria di Fermi, diagramma di Kurie, vita media, elemento di matrice, transizioni Fermi e Gamow-Teller, costante di Fermi, interazioni deboli. Scoperta del neutrino. Terza parte: Reazioni nucleari. Fissione, bilancio energetico della fissione dell'uranio, fissione indotta da neutroni, reattore nucleare. Fusione, i cicli del sole, bi lancio energetico, nucleosintesi, fusione in laboratorio. Forze nucleari, modello di Yukawa. Raggi cosmici, componente primaria e secondaria, il positrone, il positronio. Scoperta e proprietà delle particelle, mesoni e barioni, antiparticelle. Classificazione delle interazioni: nucleari, elettromagnetiche, deboli. Modello a quark, scoperta dei quark

#### Testi

• W. E. Burcham and M. Jobes, Nuclear and Particle Physics, Pearson Education, 1994. • Gli appunti del corso di Istituzioni di Fisica Nucleare e Subnucleare del Prof. Ceradini saranno resi disponibili sul sito del corso Il materiale didattico è disponibile in doppia copia sulle piattaforme moodle <https://matematicafisica.el.uniroma3.it/course/view.php?id=51> e in sharepoint <https://uniroma3.sharepoint.com/sites/ElementidiFisicaNucleareeSubnucleareAA201920>. Gli studenti sono pregati di registrarsi su moodle e su teams (<https://teams.microsoft.com/l/team/19%3a57c8fc1e646a489894614511aea22a8c%40thread.tacv2/conversations?groupId=b5330848-367f-43b5-ae3c-bf464-458c-a546-00fb3af6f6a>)

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Lezioni frontali alla lavagna, con uso occasionale di slide solo per illustrare distribuzioni sperimentali o apparati particolarmente complessi, intercalate da almeno una seduta di esercitazioni in aula ogni settimana per consolidare l'apprendimento delle nozioni

teoriche e preparare le verifiche in itinere e la prova scritta di esame.

### Modalità di valutazione

L'esame si articola in una prova scritta della durata di tre ore nella quale si richiede la soluzione di tre esercizi e in una prova orale finalizzata a verificare il livello di comprensione effettiva dei concetti e la capacità degli studenti di applicarli in contesti reali. Sono previste verifiche in itinere (esoneri) che agevolano l'autovalutazione da parte degli studenti e che se superate consentono l'esonero dall'esame sulla corrispondente parte di programma. Esempi di compiti degli anni precedenti saranno resi disponibili sulla pagina del corso.

### English

#### Prerequisites

Knowledge of quantum mechanics and mathematical methods for physics acquired through the courses foreseen in the first term of the 3rd year of the Laurea in Fisica

#### Programme

First module: The proton, cathode rays, the electron, mass and electric charge. Black body radiation, Planck constant, photoelectric effect, X rays, Compton effect, the photon. Bohr atomic model, atomic spectra, electron magnetic moment and spin. Special relativity, Lorentz transforms, four-vectors and relativistic invariants, energy and momentum, relativistic kinematics. Cross section, absorption coefficient. Coulomb scattering, Rutherford cross section. Scattering of electromagnetic radiation by a charge, Thomson cross section. Quantum mechanics and perturbation theory, transition probability, phase space. Decay law, electromagnetic interaction, emission and absorption, electric and magnetic dipole radiation, selection rules. Rutherford scattering, electric form factor, scattering of a charge by a magnetic moment, electric and magnetic form factor of proton and neutron. Potential scattering, partial waves, scattering and absorption cross section. Second module: Properties of nuclei, atomic and mass number, stability band, measurement of charge, mass and nuclear radius. Statistics, spin and parity of nuclei, the neutron. Electromagnetic energy of nuclei, magnetic dipole and electric quadrupole moments. Fermi gas model, kinetic energy of nucleons. Liquid drop model, Bethe-Weizsaecker mass formula, mirror nuclei. Magic numbers, shell model, spin-orbit interaction, energy levels and spin-parity states. The neutron-proton system, the deuteron. Nuclear decays, activity. Phenomenology of gamma decay, multipole radiation, Weisskopf coefficients. Phenomenology of alpha decay, kinematics, stability curve, potential barrier and Gamow factor, lifetime. Phenomenology of beta decay, the neutrino hypothesis, Fermi theory, Kurie plot, lifetime, Fermi and Gamow-Teller transitions. Weak interaction and Fermi constant. Discovery of the neutrino. Third module: Nuclear reactions, Fission, energy balance of the Uranium fission, neutron-induced fission, nuclear reactor. Fusion, cycles of the Sun, energy balance, nucleo-synthesis, fusion in the laboratory. Nuclear forces, Yukawa model. Cosmic rays, primary and secondary components, the positron. Discovery and properties of elementary particles, meson and baryons, anti-particles. Elementary particle interactions: nuclear, electromagnetic, weak. The quark model, discovery of quarks.

#### Reference books

• W. E. Burcham and M. Jobes, Nuclear and Particle Physics, Pearson Education, 1994. • The notes of the course of Institutions of Nuclear and Subnuclear Physics of Prof. Ceradini will be made available on the course website The teaching material is available in double copy on the moodle platforms <https://matematicafisica.el.uniroma3.it/course/view.php?id=51> and in sharepoint <https://uniroma3.sharepoint.com/sites/ElementidiFisicaNucleareeSubnucleareAA201920>. Students are asked to register on moodle and on teams (<https://teams.microsoft.com/team/19%3a57c8fc1e646a489894614511aea22a8c%40thread.tacv2/conversations?groupId=b5330848-367f-43b5-ae3c-bf464-458c-a546-00fb3af66f6a>)

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410023 - ELEMENTI DI FISICA TEORICA CONTEMPORANEA

**Docente:** LUBICZ VITTORIO

### Italiano

#### Prerequisiti

Non sono richieste specifiche conoscenze pregresse per questo corso, oltre alle conoscenze generali di fisica e matematica tipicamente possedute da uno studente del corso di laurea in fisica al secondo anno di corso.

#### Programma

1) Teoria della Relatività: La relatività ristretta. Lo spazio-tempo. Quadrivettori: velocità, impulso ed energia relativistiche. La relatività generale. 2) Meccanica quantistica: Crisi della fisica classica. I principi della meccanica quantistica. Equazione di Schrödinger e sistemi quantistici. Nuovi fenomeni, sviluppi e interpretazioni. 3) Particelle e campi: La teoria quantistica dei campi. I costituenti elementari della materia. Teoria delle forze. Il Modello Standard. Fisica oltre il Modello Standard 4) Gravità quantistica.

#### Testi

Dispense disponibili sul sito del corso

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Il corso consiste in lezioni frontali supportate dall'utilizzo di videoproiettore.

### Modalità di valutazione

L'esame consiste in una presentazione con slides su di un argomento del programma scelto nell'ambito di un elenco predisposto dal docente e con questi preventivamente concordato.

### English

#### Prerequisites

No specific previous knowledge is required for this course, besides the general knowledge of physics and mathematics typically held by a physics student at the second year of the course.

#### Programme

1) Theory of Relativity: Special Relativity. Space-time. Four-vectors: relativistic velocity, momentum and energy. General relativity. 2) Quantum mechanics: Crisis of classical physics. The principles of quantum mechanics. Schrödinger equation and quantum systems. New phenomena, developments and interpretations. 3) Particles and Fields: Quantum Field Theory. The elementary constituents of matter. Theory of forces. The Standard Model. Physics beyond the Standard Model. 4) Quantum gravity.

#### Reference books

Lecture notes available on the course website

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410023 - ELEMENTI DI FISICA TEORICA CONTEMPORANEA

**Docente:** TARANTINO CECILIA

### Italiano

#### Prerequisiti

Non sono richieste specifiche conoscenze pregresse per questo corso, oltre alle conoscenze generali di fisica e matematica tipicamente possedute da uno studente del corso di laurea in fisica al secondo anno di corso.

#### Programma

1) Teoria della Relatività: La relatività ristretta. Lo spazio-tempo. Quadri-vettori: velocità, impulso ed energia relativistiche. La relatività generale. 2) Meccanica quantistica: Crisi della fisica classica. I principi della meccanica quantistica. Equazione di Schrödinger e sistemi quantistici. Nuovi fenomeni, sviluppi e interpretazioni. 3) Particelle e campi: La teoria quantistica dei campi. I costituenti elementari della materia. Teoria delle forze. Il Modello Standard. Fisica oltre il Modello Standard 4) Gravità quantistica.

#### Testi

Dispense disponibili sul sito del corso

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Il corso consiste in lezioni frontali supportate dall'utilizzo di videoproiettore. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di svolgimento delle attività didattiche. Sito Moodle: <https://matematicafisica.el.uniroma3.it/course/view.php?id=1116>

#### Modalità di valutazione

L'esame consiste in una presentazione con slides su di un argomento del programma scelto nell'ambito di un elenco predisposto dal docente e con questi preventivamente concordato. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di valutazione degli studenti.

### English

#### Prerequisites

No specific previous knowledge is required for this course, besides the general knowledge of physics and mathematics typically held by a physics student at the second year of the course.

#### Programme

1) Theory of Relativity: Special Relativity. Space-time. Four-vectors: relativistic velocity, momentum and energy. General relativity. 2) Quantum mechanics: Crisis of classical physics. The principles of quantum mechanics. Schrödinger equation and quantum systems. New phenomena, developments and interpretations. 3) Particles and Fields: Quantum Field Theory. The elementary constituents of matter. Theory of forces. The Standard Model. Physics beyond the Standard Model. 4) Quantum gravity.

#### Reference books

Lecture notes available on the course website

## Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20410009 - ELEMENTI DI GEOMETRIA

**Docente:** PONTECORVO MASSIMILIANO

### Italiano

#### Prerequisiti

buona conoscenza delle operazioni algebriche elementari

#### Programma

Vettori nello Spazio Euclideo. Sistemi di riferimento e co-ordinate. Proiezioni ortogonali, prodotto scalare, vettoriale e misto. Equazioni parametriche e Cartesiane di rette e piani. Sistemi lineari. Equazioni lineari, vettori colonna e matrici. Metodo di eliminazione di Gauss: rango di una matrice, teoremi di Cramer e di Rouch #e-Capelli. Algebra delle Matrici. Somma e prodotto per uno scalare. Prodotto righe per colonne. Matrici invertibili, matrice trasposte e matrici simmetriche. L'algoritmo di Gauss-Jordano per il calcolo dell'inversa. Fattorizzazione LU. Prodotto di matrici a blocchi. Spazi vettoriali e applicazioni lineari. Esempi di spazi vettoriali e applicazioni lineari. Generatori e basi. Nucleo, immagine. Indipendenza lineare e dimensione; rango di una matrice. Teorema di nullità a più # rango e formula di Grassmann. Determinante di una matrice e mosse di Gauss. Sviluppi di Laplace. Il teorema di Binet. Autovalori e autovettori. Il polinomio caratteristico di un operatore lineare. Matrici simili. Prodotti scalari. Disuguaglianza di Schwartz, basi e matrici ortogonali. Proiezioni ortogonali e algoritmo di Gram-Schmidt. Forme quadratiche e operatori autoaggiunti. Il teorema spettrale, forme quadratiche. Classificazione di coniche e quadriche.

#### Testi

Enrico Schlesinger, Algebra lineare e geometria. Zanichelli, (2017). Luca Mauri, Enrico Schlesinger, Esercizi di algebra lineare e geometria. Zanichelli, (2020).

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Le lezioni si svolgono in modalità tradizionale, in presenza e in aula; in caso di prolungamento delle disposizioni contenitive per l'emergenza COVID-19, le lezioni si svolgeranno a distanza mediante utilizzo della piattaforma Teams di Ateneo

#### Modalità di valutazione

Prova scritta, Prova orale; prove scritte parziali durante il corso.

### English

#### Prerequisites

elementary algebra

#### Programme

Vectors in Euclidean Space. Reference and co-ordered systems. Orthogonal projections, scalar, vector and mixed product. Parametric and Cartesian equations of lines and planes. Linear systems. Linear equations, column vectors and matrices. Gauss elimination method: rank of a matrix, Cramer and Rouch #e-Capelli theorems. Algebra of Matrices. Sum and product for a scalar. Product rows by columns. Invertible matrices, transposed matrix and symmetric matrices. The Gauss-Jordano algorithm for calculating the inverse. LU factorization. Product of block matrices. Vector spaces and linear applications. Examples of vector spaces and linear applications. Generators and bases. Core, image. Linear independence and size; rank of a matrix. Nullity theorem plus rank and Grassmann's formula. Determinant of a matrix and Gauss moves. Developments of Laplace. Binet's theorem. Eigenvalues and eigenvectors. The characteristic polynomial of a linear operator. Similar matrices. Scalar products. Schwartz inequality, orthogonal bases and matrices. Orthogonal projections and Gram-Schmidt algorithm. Quadratic shapes and self-adjoint operators. The spectral theorem, quadratic forms. Classification of conics and quadrics.

#### Reference books

Enrico Schlesinger, Algebra lineare e geometria. Zanichelli, (2017). Luca Mauri, Enrico Schlesinger, Esercizi di algebra lineare e geometria. Zanichelli, (2020).

#### Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20401806 - ELEMENTI DI MECCANICA STATISTICA

**Canale:**N0

**Docente:** RAIMONDI ROBERTO

### Italiano

#### Prerequisiti

Meccanica classica nella formulazione lagrangiana e hamiltoniana. Meccanica quantistica di base.

#### Programma

PROGRAMMA DEL CORSO: i numeri tra parentesi fanno riferimento al capitolo e paragrafo del libro di testo adottato Teoria cinetica. Equazione di Boltzmann. Teorema H. (1, Par.2.1,2.2,2.3,2.4) Distribuzione di Maxwell-Boltzmann. (1, Par. 2.5) Spazio delle fasi e Teorema di Liouville. (1, Par. 3.1,3.2) Ensembles di Gibbs. Ensemble microcanonico. Entropia. (1, Par. 3.3,3.4) Gas perfetto nell'ensemble microcanonico. (1, Par. 3.6) Teorema di equipartizione. (1, Par. 3.5) Ensemble canonico. (1, Par.4.1). Funzione di partizione ed energia libera. Fluttuazioni di energia. (1 Par. 4.4) Ensemble grancanonico. Granpotenziale. Il gas perfetto nell'ensemble grancanonico (1 Par. 4.3). Fluttuazioni del numero di particelle. (1 Par. 4.4) Teoria classica della risposta lineare e teorema di fluttuazione-dissipazione. (1, Par. 8.4). Teoria del moto Browniano di Einstein e Langevin. (Par. 1 par. 11.1,11.2). Teoria del rumore termico di Johnson-Nyquist. (1 Par. 11.3). Meccanica Statistica quantistica e matrice densità. (1, Par. 6.2,6.3,6.4) Statistiche quantistiche di Fermi-Dirac e Bose-Einstein (1, Par. 7.1) Il gas di Fermi. Sviluppo di Sommerfeld. Calore specifico elettronico. (1, Par. 7.2) Il gas di Bose. Condensazione di Bose-Einstein. (1, Par. 7.3) Teoria della radiazione di corpo nero. (1, Par. 7.5) Piattaforma Moodle e-Learning del Dipartimento con materiale supplementare

#### Testi

Testo di riferimento: 1) C. Di Castro and R. Raimondi, Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter, Cambridge University Press, 2015.

#### Bibliografia di riferimento

Altri testi consigliati: 2) K. Huang, Meccanica Statistica, Zanichelli, 1997. 3) L. Peliti, Appunti di Meccanica Statistica, Bollati Boringhieri, 2003. 4) Joel L. Lebowitz, Statistical mechanics: A selective review of two central issues, Reviews of Modern Physics, 71, S346 (1999).

#### Modalità erogazione

Il corso presenta lezioni teoriche ed esercitazioni. Durante quest'ultime vengono presentati e svolti, coinvolgendo attivamente gli studenti in aula, problemi proporzionati alla quantità di materiale svolto.

#### Modalità di valutazione

La prova scritta consiste nel risolvere problemi a risposta multipla riguardanti la meccanica statistica di sistemi classici e la meccanica statistica di sistemi quantistici. I problemi proposti per l'esame rientrano nella tipologia di quelli svolti durante le esercitazioni del corso. La prova orale consiste in due domande di carattere teorico, una dedicata alla meccanica statistica dei sistemi classici ed una relativa a quella dei sistemi quantistici. Il voto finale combina il voto della prova scritta e di quella orale ed è espresso in trentesimi.

### English

#### Prerequisites

Classical mechanics in its Lagrangian and Hamiltonian formulation. Basic quantum mechanics.

#### Programme

CONTENTS OF THE LECTURES: the numbers in round brackets refer to the chapter and section of the textbook adopted. Kinetic theory of gases. Boltzmann equation and H theorem. (1, Par.2.1,2.2,2.3,2.4) Maxwell-Boltzmann distribution. (1, Par. 2.5) Phase space and Liouville theorem. (1, Par. 3.1,3.2) Gibbs ensembles. Micro canonical ensemble. Definition of entropy. (1, Par. 3.3,3.4) The ideal gas in the micro canonical ensemble. (1, Par. 3.6) The equipartition theorem. (1, Par. 3.5) The canonical ensemble. (1, Par.4.1). The partition function and the free energy. Fluctuations of energy in the canonical ensemble. (1 Par. 4.4) The grand canonical ensemble. The grand potential. The ideal gas in the grand canonical ensemble. (1 Par. 4.3). Fluctuations of the particle number. (1 Par. 4.4) Classical theory of the linear response and fluctuation-dissipation theorem. (1, Par. 8.4). Einstein and Langevin theories of the Brownian motion. (Par. 1 par. 11.1,11.2). Johnson-Nyquist theory of thermal noise. (1 Par. 11.3). Quantum statistical mechanics and the density matrix. (1, Par. 6.2,6.3,6.4) Fermi-Dirac and Bose-einstein quantum statistics. (1, Par. 7.1) The Fermi gas. The Sommerfeld expansion and the electron specific heat. (1, Par. 7.2) The Bose gas. The Bose-Einstein condensation. (1, Par. 7.3) Quantum theory of black-body radiation. (1, Par. 7.5) e-Learning Moodle Platform with Supplementary Material

#### Reference books

Suggested textbook: 1) C. Di Castro and R. Raimondi, Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter, Cambridge University Press, 2015.

#### Reference bibliography

Further reading: 2) K. Huang, Meccanica Statistica, Zanichelli, 1997. 3) L. Peliti, Appunti di Meccanica Statistica, Bollati Boringhieri, 2003. 4) Joel L. Lebowitz, Statistical mechanics: A selective review of two central issues, Reviews of Modern Physics, 71, S346 (1999).

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410010 - ESPERIMENTAZIONI DI FISICA I

**Docente:** MATTEI ELISABETTA

## Italiano

### Prerequisiti

Il corso si sviluppa, su due semestri, in parallelo al corso di Fisica Generale I i cui contenuti sono importanti per la comprensione delle esperienze di laboratorio. E' utile aver dimestichezza con l'uso del calcolatore (utilizzo di fogli di calcolo); inoltre è utile la capacità di utilizzare gli strumenti matematici presentati durante il corso di analisi matematica erogato in parallelo durante il primo semestre.

### Programma

Il metodo sperimentale. Grandezze Fisiche. Grandezze Fisiche intensive ed estensive. Misurazioni Dirette e Indirette. Grandezze Fisiche di Base e Derivate. Il Sistema internazionale (SI) e le sue unità di base. I sistemi cgs. Unità di misura non SI. Cambiamento di unità di misura. Fattori di conversione. Notazione esponenziale. Dimensioni fisiche e Analisi Dimensionale. Forma monomia delle dimensioni di una grandezza. Controllo delle formule con l'Analisi Dimensionale. Deduzioni di leggi fisiche tramite l'Analisi Dimensionale. Strumenti di misura. Strumenti di misura e loro caratteristiche generali. Strumenti analogici e digitali. Strumenti di misura delle lunghezze: Calibro e micrometro Palmer. Errori e Incertezze di Misura. Definizione di Errore di misura e di "valore vero". Le Incertezze di misura. Cause delle incertezze di misura. Incertezza relativa. Classificazione delle Incertezze: Tipo A e Tipo B. Cifre significative e arrotondamento. Grafici e Analisi grafica dei dati. Rappresentazione grafica dei dati. Grafici lineari. Linearizzazione. Grafici logaritmici. Grafico semi-logaritmico. Grafico doppio-logaritmico. Valutazione grafica dei parametri. Istogrammi. Elementi di calcolo delle Probabilità. Definizioni di Probabilità: definizione classica o combinatoria, definizione frequentista, definizione soggettiva. Cenni alla teoria assiomatica della probabilità di Kolmogorov. Diagrammi di Wenn e probabilità. Teorema della Probabilità totale. Eventi indipendenti e teorema della Probabilità composta. Probabilità condizionata. Il Teorema di Bayes. Distribuzioni di Probabilità discrete e continue. Distribuzione di probabilità e densità di probabilità. Funzione cumulativa di probabilità. Momenti di ordine  $k$ . Valore atteso. Valore Medio e Varianza. Proprietà del valore medio e della varianza. Distribuzioni discrete: di Bernoulli, binomiale e di Poisson. Distribuzioni continue: uniforme, triangolare, di Cauchy e normale. Distribuzione cumulativa di probabilità. Uso delle tabelle per il calcolo della probabilità per la distribuzione normale. Distribuzione del chi quadro: valore atteso, varianza. Distribuzione t-student. Distribuzione di Cauchy. Definizione di valore modale e valore mediano. Cenni alle Distribuzioni Multivariate discrete e continue. Distribuzioni Marginali. Covarianza e Coefficiente di correlazione, matrice di covarianza. Trasformazioni di variabili aleatorie. Incertezza nelle misure indirette. Incertezza nelle misure indirette: esempi. Incertezza per una variabile somma di due variabili aleatorie. Richiami sull'espansione in serie di Taylor. Propagazione dell'incertezza: caso di variabili indipendenti. Propagazione delle incertezze: caso variabili correlate. Formula di propagazione per le funzioni monomie. Strumenti statistici. Enunciato e dimostrazione della Disuguaglianza di Tchebicheff. Enunciato e dimostrazione della Legge dei grandi numeri. Enunciato del Teorema del limite centrale. Media e Varianza campionaria. Stima del valore medio campionaria e formula della stima della varianza campionaria. Stima dei parametri. Stima puntuale e intervallare. Il metodo della massima verosimiglianza. Stimatori di massima verosimiglianza. Esempi di applicazione del principio di massima verosimiglianza. Il Metodo dei Minimi Quadrati. Principio e condizioni di applicabilità. Il fit ad una retta: stima dei parametri loro incertezza e covarianza. Relazione tra i metodi di massima verosimiglianza e dei minimi quadrati. Il metodo dei minimi quadrati in forma matriciale. La matrice di covarianza dei parametri. Il fit ad una parabola. Stima intervallare. Intervallo e livello di confidenza per la media campionaria. Caso varianza nota e ignota. Campioni statistici di dimensione finita e uso della distribuzione t di Student. Intervallo di confidenza per la varianza. Intervallo di confidenza per la differenza di due valori attesi. Test di ipotesi: ipotesi nulla e ipotesi alternativa. Livello di significatività del test e livello di confidenza. Applicazioni dei test di ipotesi al valore atteso e alla differenza tra due valori attesi. Esempi pratici. Test del #2. Test del #2 per relazioni funzionali. Criteri di applicabilità del test per relazioni funzionali. Test del #2 di Pearson per istogrammi. Criteri di applicabilità del test del #2 di Pearson. Uso delle Tabelle dell'integrale di #2 per il calcolo della sua probabilità. Esperienze di laboratorio. Fanno parte del programma domande sugli aspetti teorici e sperimentali delle esperienze di laboratorio svolte durante l'anno di corso: Misurazioni distanze con calibro e Micrometro. Verifica della legge di Gay-Lussac. Misurazione della densità. Misurazione della costante di una molla con il metodo statico. Piano inclinato. Pendolo semplice.

### Testi

Per la preparazione all'esame, gli studenti, oltre a consultare il materiale didattico messo a disposizione degli studenti su Teams (<https://matematicafisica.el.uniroma3.it/>): C. Bini "Lezioni di Statistica per la Fisica Sperimentale". Edizioni Nuova Cultura. Roma 2011. Gaetano Cannelli, Metodologie sperimentali in Fisica, Introduzione al metodo scientifico, ed. EdiSES (ISBN: 978 88 7959 679 4). Cesare Cametti, Antonio Di Biasio. Introduzione all'elaborazione dei dati sperimentali. GUM: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement - GM 100:2008 <http://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Le esercitazioni si svolgono in Laboratorio didattico di Fisica, con utilizzo di strumentazione; le lezioni teoriche si svolgono invece in modo tradizionale, frontali in aula. La frequenza alle lezioni teoriche non è obbligatoria, sebbene fortemente consigliata; le esperienze di laboratorio sono invece a frequenza obbligatoria

### Modalità di valutazione

L'esame prevede una prova pratica di laboratorio e una prova orale. Qualora la media delle relazioni sia maggiore uguale a 18, è possibile sostenere direttamente l'esame orale.

## English

### Prerequisites

The course develops, over two semesters, in parallel with the course of General Physics I whose contents are important for the understanding of laboratory experiences. It is useful to be familiar with the use of the calculator (use of spreadsheets); furthermore, the ability to use the mathematical tools presented during the course of mathematical analysis available in parallel during the first semester.

### Programme

Classroom lectures The scientific method: comparison between theory and experiment. Physical quantities and their measurement. The uncertainties in the measurements of physical quantities. Type A and Type B uncertainties. Measurement tools and their properties.

Better estimate of the measure. Estimation of uncertainties. Measurements, uncertainties and significant figures. Comparison between measure and expected value. Organization and presentation of data. Main properties of probability. Random events, random variables. Definition of probability: classical, frequentist, axiomatic. Total probability, conditional probability, compound probability. Bayes theorem. Statistical population. Sampling. Law of large numbers. Discrete and continuous random variables. Probability distributions. Expected value and variance. Bernoulli distribution. Poisson distribution. Gauss distribution. Probabilistic meaning of the standard deviation. Probability of obtaining a result in a measurement operation. The central limit theorem. Presentation of the result of a measure and confidence intervals. Hypothesis verification. Weighted average. Correlation between physical quantities and verification of the existence of a functional dependence: least squares method. Hypothesis test: Z test, T-Student test, Fisher test, Chi-square test. Experiments: Measurements of Lengths. Verification of Boyle-Mariotte law. Experiment for the determination of the spring constant. The pendulum. Measurement of gravitational acceleration with a reversible pendulum. Inclined plane. Verification of the central limit theorem (dice roll - repeated measurements). Verification of the law of radioactive decay (by means of simulation with dice). Verification of the probability distribution of Poisson (by means of Geiger).

### Reference books

For exam preparation, students, in addition to consulting the teaching material made available to students on moodle (<https://matematicafisica.el.uniroma3.it/>): they can consult the following texts: C. Bini "Lezioni di Statistica per la Fisica Sperimentale". Edizioni Nuova Cultura. Roma 2011. Gaetano Cannelli, Metodologie sperimentali in Fisica, Introduzione al metodo scientifico, ed. EdiSES (ISBN: 978 88 7959 679 4) GUM: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement - GM 100:2008 <http://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410014 - ESPERIMENTAZIONI DI FISICA II

**Docente:** ORESTANO DOMIZIA

### Italiano

#### Prerequisiti

Esperimentazioni di Fisica I

#### Programma

Circuiti elettrici Componenti ideali e reali. Resistori, capacitori e induttori. Componenti attivi: generatori di corrente e di differenza di potenziale Circuiti in DC Leggi di Kirchhoff, metodo dei nodi e delle maglie. Il ponte di Wheatstone e la sua risoluzione. Reti lineari. Teorema di Sovrapposizione, teorema di Thevenin, teorema di Norton, teorema di Reciprocità. Misure nei circuiti DC Misure di corrente, misure di differenza di potenziale. Strumenti digitali: voltmetro, amperometro ohmmetro. Misure di resistenza: il metodo volt-amperometrico. Errori ed incertezze nelle misure elettriche. circuiti in ac Segnali periodici, alternati, sinusoidali. Accoppiamento in AC. Rappresentazione simbolica dei componenti. Soluzione dei circuiti in AC. Il metodo simbolico. circuiti elementari in ac Circuiti RC, filtri passa-basso e passa alto. Circuiti RL. Circuiti derivatori e integratori. Circuiti risonanti: RLC in serie e parallelo. Il partitore compensato. Misure di ampiezza, misure di fase, misure di tempo. Errore ed incertezza nelle misure effettuate. circuiti in regime impulsivo Segnali impulsivi: funzione a gradino, singolo impulso, segnale rettangolare. Circuiti in regime impulsivo: RC, partitore compensato. La linea di trasmissione Schematizzazione della linea di trasmissione. L'equazione dei telegrafisti. Linea ideale, linea dissipativa. Coefficiente di riflessione e di trasmissione. Il cavo coassiale. Elementi di analisi statistica Valor medio, deviazione standard. Propagazione degli errori. Test del Chi-2. Grafici e procedure di fit. Analisi dati. Elementi di ottica Interferenza. Diffrazione.

#### Testi

Appunti delle Lezioni R. Bartiromo, M. De Vincenzi - "Electrical Measurements in the laboratory Practice" - Springer M. Severi - "Introduzione alla Esperimentazione Fisica" - Zanichelli C.K. Alexander, M.N.O. Sadiku - "Circuiti Elettrici" - McGraw Hill Young - "Elaborazione statistica dei dati sperimentali" Taylor - "Introduzione all'analisi degli errori" Qualunque testo di Fisica, Elettronica e Statistica usato per altri insegnamenti del CCL di Fisic

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Il Corso consiste di una prima parte di lezioni in aula dedicate alla spiegazione di concetti di base di elettronica, alla valutazione delle incertezze di una misura e alle tecniche per l'analisi dei dati. Il corso prosegue in laboratorio dove gli studenti organizzati in piccoli gruppi affrontano una serie di esperienze che sono valutate.

#### Modalità di valutazione

La valutazione e' basata su una prova pratica individuale del tipo di quelle affrontate durante il corso, svolta direttamente in laboratorio. A questa si aggiunge il colloquio sugli argomenti trattati nelle lezioni in aula.

### English

#### Prerequisites

Physics Experiments I

#### Programme

**ELECTRICAL CIRCUITS** Ideal components: Resistor, Capacitor, Inductor. Active components: current generator, voltage generator. Real components: Resistor, Capacitor, Inductor, Generator. DC Circuits Kirchhoff's Laws, the method of nodes, the method of meshes. The Wheatstone's Bridge. Linear networks: Superposition theorem, Thevenin's theorem, Norton's theorem, Reciprocity theorem. **MEASUREMENTS** in DC Circuits Current and Voltage Difference measurements, digital voltmeter, ohmmeter. Resistance measurements: voltmeter-ammeter method. Uncertainty in electrical measurements Alternating Current Circuits Periodic, alternating, sinusoidal signals. AC coupling. Components in AC circuits, solution of AC circuits: the symbolic method. AC basic Circuits RC circuits: low-pass, high-pass, RL circuits. Differentiator and integrator circuits. Resonant circuits: the RLC circuit, series and parallel. The compensated voltage divider. Amplitude measurements, phase measurements. Measurement uncertainty. Pulsed Circuits Impulsive signals: step signal, pulse signal, rectangular waveform. RC circuits: high-pass, low-pass. Compensated voltage divider. The transmission line Model of the transmission line, telegrapher equation, lossless line. Reflection and transmission coefficients. The coaxial cable. Basic statistical methods Mean, standard deviation, propagation of errors, confidence limits of a measurement. Chi-squared test. Graphs, fitting procedures. Elementary optics Optical interference. Optical diffraction.

### Reference books

Class Notes R. Bartiromo, M. De Vincenzi - "Electrical Measurements in the laboratory Practice" - Springer M. Severi - "Introduzione alla Esperimentazione Fisica" - Zanichelli C.K. Alexander, M.N.O. Sadiku - "Circuiti Elettrici" - McGraw Hill Young - "Elaborazione statistica dei dati sperimentali" Taylor - "Introduzione all'analisi degli errori" Qualunque testo di Fisica, Elettronica e Statistica usato per altri insegnamenti del CCL di Fisic

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410014 - ESPERIMENTAZIONI DI FISICA II

**Docente:** DI NARDO ROBERTO

### Italiano

#### Prerequisiti

Esperimentazioni di Fisica I

#### Programma

Circuiti elettrici Component ideali e reali. Resistori, capacitori e induttori. Componenti attivi: generatori di corrente e di differenza di potenziale Circuiti in DC Leggi di Kirchhoff, metodo dei nodi e delle maglie. Il ponte di Wheatstone e la sua risoluzione. Reti lineari. Teorema di Sovrapposizione, teorema di Thevenin, teorema di Norton, teorema di Reciprocita'. Misure nei circuiti DC Misure di corrente, misure di differenza di potenziale. Strumenti digitali: voltmetro, amperometro ohmmetro. Misure di resistenza: il metodo volt-amperometrico. Errori ed incertezze nelle misure elettriche. circuiti in ac Segnali periodici, alternati, sinusoidali. Accoppiamento in AC. Rappresentazione simbolica dei componenti. Soluzione dei circuiti in AC. Il metodo simbolico. circuiti elementari in ac Circuiti RC, filtri passa-basso e passa alto. Circuiti RL. Circuiti derivatori e integratori. Circuiti risonanti: RLC in serie e parallelo. Il partitore compensato. Misure di ampiezza, misure di fase, misure di tempo. Errore ed incertezza nelle misure effettuate. circuiti in regime impulsivo Segnali impulsivi: funzione a gradino, singolo impulso, segnale rettangolare. Circuiti in regime impulsivo: RC, partitore compensato. La linea di trasmissione Schematizzazione della linea di trasmissione. L'equazione dei telegrafisti. Linea ideale, linea dissipativa. Coefficiente di riflessione e di trasmissione. Il cavo coassiale. Elementi di analisi statistica Valor medio, deviazione standard. Propagazione degli errori. Test del Chi-2. Grafici e procedure di fit. Analisi dati. Elementi di ottica Interferenza. Diffrazione.

#### Testi

Appunti delle Lezioni R. Bartiromo, M. De Vincenzi - "Electrical Measurements in the laboratory Practice" - Springer M. Severi - "Introduzione alla Esperimentazione Fisica" - Zanichelli C.K. Alexander, M.N.O. Sadiku - "Circuiti Elettrici" - McGraw Hill Young - "Elaborazione statistica dei dati sperimentali" Taylor - "Introduzione all'analisi degli errori" Qualunque testo di Fisica, Elettronica e Statistica usato per altri insegnamenti del CCL di Fisica.

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Il Corso consiste di una prima parte di lezioni in aula dedicate alla spiegazione di concetti di base di elettronica, alla valutazione delle incertezze di una misura e alle tecniche per l'analisi dei dati. Il corso prosegue in laboratorio dove gli studenti organizzati in piccoli gruppi affrontano una serie di esperienze che sono valutate.

#### Modalità di valutazione

La valutazione e' basata su una prova pratica individuale del tipo di quelle affrontate durante il corso, svolta direttamente in laboratorio. A questa si aggiunge il colloquio sugli argomenti trattati nelle lezioni in aula.

### English

#### Prerequisites

Physics Experiments I

#### Programme

**ELECTRICAL CIRCUITS** Ideal components: Resistor, Capacitor, Inductor. Active components: current generator, voltage generator. Real components: Resistor, Capacitor, Inductor, Generator. DC Circuits Kirchhoff's Laws, the method of nodes, the method of meshes. The Wheatstone's Bridge. Linear networks: Superposition theorem, Thevenin's theorem, Norton's theorem, Reciprocity theorem. **MEASUREMENTS** in DC Circuits Current and Voltage Difference measurements, digital voltmeter, ohmmeter. Resistance measurements: voltmeter-ammeter method. Uncertainty in electrical measurements Alternating Current Circuits Periodic, alternating, sinusoidal signals. AC coupling. Components in AC circuits, solution of AC circuits: the symbolic method. AC basic Circuits RC circuits: low-pass, high-pass, RL circuits. Differentiator and integrator circuits. Resonant circuits: the RLC circuit, series and parallel. The compensated voltage divider. Amplitude measurements, phase measurements. Measurement uncertainty. Pulsed Circuits Impulsive signals: step signal, pulse signal, rectangular waveform. RC circuits: high-pass, low-pass. Compensated voltage divider. The transmission line Model of the transmission line, telegrapher equation, lossless line. Reflection and transmission coefficients. The coaxial cable. Basic statistical methods Mean, standard deviation, propagation of errors, confidence limits of a measurement. Chi-squared test. Graphs, fitting procedures. Elementary optics Optical interference. Optical diffraction.

### Reference books

Class Notes R. Bartiromo, M. De Vincenzi - "Electrical Measurements in the laboratory Practice" - Springer M. Severi - "Introduzione alla Esperimentazione Fisica" - Zanichelli C.K. Alexander, M.N.O. Sadiku - "Circuiti Elettrici" - McGraw Hill Young - "Elaborazione statistica dei dati sperimentali" Taylor - "Introduzione all'analisi degli errori" Any textbook on Physics, Electronics e Statistics for the degree course on Physic

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410014 - ESPERIMENTAZIONI DI FISICA II

**Docente:** URSINI FRANCESCO

### Italiano

#### Prerequisiti

Esperimentazioni di Fisica I

#### Programma

Circuiti elettrici Component ideali e reali. Resistori, capacitori e induttori. Componenti attivi: generatori di corrente e di differenza di potenziale Circuiti in DC Leggi di Kirchhoff, metodo dei nodi e delle maglie. Il ponte di Wheatstone e la sua risoluzione. Reti lineari. Teorema di Sovrapposizione, teorema di Thevenin, teorema di Norton, teorema di Reciprocita'. Misure nei circuiti DC Misure di corrente, misure di differenza di potenziale. Strumenti digitali: voltmetro, amperometro ohmmetro. Misure di resistenza: il metodo volt-amperometrico. Errori ed incertezze nelle misure elettriche. circuiti in ac Segnali periodici, alternati, sinusoidali. Accoppiamento in AC. Rappresentazione simbolica dei componenti. Soluzione dei circuiti in AC. Il metodo simbolico. circuiti elementari in ac Circuiti RC, filtri passa-basso e passa alto. Circuiti RL. Circuiti derivatori e integratori. Circuiti risonanti: RLC in serie e parallelo. Il partitore compensato. Misure di ampiezza, misure di fase, misure di tempo. Errore ed incertezza nelle misure effettuate. circuiti in regime impulsivo Segnali impulsivi: funzione a gradino, singolo impulso, segnale rettangolare. Circuiti in regime impulsivo: RC, partitore compensato. La linea di trasmissione Schematizzazione della linea di trasmissione. L'equazione dei telegrafisti. Linea ideale, linea dissipativa. Coefficiente di riflessione e di trasmissione. Il cavo coassiale. Elementi di analisi statistica Valor medio, deviazione standard. Propagazione degli errori. Test del Chi-2. Grafici e procedure di fit. Analisi dati. Elementi di ottica Interferenza. Diffrazione.

#### Testi

Appunti delle Lezioni R. Bartiromo, M. De Vincenzi - "Electrical Measurements in the laboratory Practice" - Springer M. Severi - "Introduzione alla Esperimentazione Fisica" - Zanichelli C.K. Alexander, M.N.O. Sadiku - "Circuiti Elettrici" - McGraw Hill Young - "Elaborazione statistica dei dati sperimentali" Taylor - "Introduzione all'analisi degli errori" Qualunque testo di Fisica, Elettronica e Statistica usato per altri insegnamenti del CCL di Fisica.

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Il Corso consiste di una prima parte di lezioni in aula dedicate alla spiegazione di concetti di base di elettronica, alla valutazione delle incertezze di una misura e alle tecniche per l'analisi dei dati. Il corso prosegue in laboratorio dove gli studenti organizzati in piccoli gruppi affrontano una serie di esperienze che sono valutate.

#### Modalità di valutazione

La valutazione e' basata su una prova pratica individuale del tipo di quelle affrontate durante il corso, svolta direttamente in laboratorio. A questa si aggiunge il colloquio sugli argomenti trattati nelle lezioni in aula.

### English

#### Prerequisites

Physics Experiments I

#### Programme

**ELECTRICAL CIRCUITS** Ideal components: Resistor, Capacitor, Inductor. Active components: current generator, voltage generator. Real components: Resistor, Capacitor, Inductor, Generator. DC Circuits Kirchhoff's Laws, the method of nodes, the method of meshes. The Wheatstone's Bridge. Linear networks: Superposition theorem, Thevenin's theorem, Norton's theorem, Reciprocity theorem. **MEASUREMENTS** in DC Circuits Current and Voltage Difference measurements, digital voltmeter, ohmmeter. Resistance measurements: voltmeter-ammeter method. Uncertainty in electrical measurements Alternating Current Circuits Periodic, alternating, sinusoidal signals. AC coupling. Components in AC circuits, solution of AC circuits: the symbolic method. AC basic Circuits RC circuits: low-pass, high-pass, RL circuits. Differentiator and integrator circuits. Resonant circuits: the RLC circuit, series and parallel. The compensated voltage divider. Amplitude measurements, phase measurements. Measurement uncertainty. Pulsed Circuits Impulsive signals: step signal, pulse signal, rectangular waveform. RC circuits: high-pass, low-pass. Compensated voltage divider. The transmission line Model of the transmission line, telegrapher equation, lossless line. Reflection and transmission coefficients. The coaxial cable. Basic statistical methods Mean, standard deviation, propagation of errors, confidence limits of a measurement. Chi-squared test. Graphs, fitting procedures. Elementary optics Optical interference. Optical diffraction.

### Reference books

Class notes R. Bartiromo, M. De Vincenzi - "Electrical Measurements in the laboratory Practice" - Springer M. Severi - "Introduzione alla Esperimentazione Fisica" - Zanichelli C.K. Alexander, M.N.O. Sadiku - "Circuiti Elettrici" - McGraw Hill Young - "Elaborazione statistica dei dati sperimentali" Taylor - "Introduzione all'analisi degli errori" Qualunque testo di Fisica, Elettronica e Statistica usato per altri insegnamenti del CCL di Fisica.

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20401807 - ESPERIMENTAZIONI DI FISICA III

Canale:N0

Docente: SCHIRRIPA SPAGNOLO GIUSEPPE

### Italiano

#### Prerequisiti

Conoscenza della elaborazione statistica dei dati sperimentali. Conoscere e saper "trattare" le incertezze di misura. Conoscenza e saper lavorare con derivate e integrali.

#### Programma

Concetti fondamentali dell'elettronica utilizzata nel campo delle misurazioni di grandezze fisiche. Introduzione alla fisica dei semiconduttori, ai diodi a giunzione, ai transistor BJT e MOS. Introduzione al concetto di amplificazione e ai principi del feedback. Applicazioni degli amplificatori operazionali. Introduzione all'elettronica digitale e applicazioni delle porte logiche. Le lezioni sono integrate da esercitazioni numeriche e di laboratorio (quest'ultime con frequenza obbligatoria). Lo scopo delle esercitazioni di laboratorio è di fornire agli studenti le necessarie conoscenze e abilità pratiche, così da metterli in condizione di utilizzare la strumentazione elettronica e i componenti elettronici studiati durante le lezioni teoriche. Gli studenti devono svolgere le esercitazioni di laboratorio e presentare, alla fine dell'esercitazione, un report che descrive l'attività svolta, i dati raccolti e le elaborazioni numeriche effettuate. Elenco delle esercitazioni di laboratorio: studio della frequenza di risonanza di un filtro RLC (esperienza introduttiva indirizzata a prendere dimestichezza con la strumentazione del laboratorio); applicazioni degli amplificatori operazionali (tre esperienze); applicazioni di circuiti con diodi a giunzione (due esperienze); applicazioni di BJT e MOS (due esperienze); applicazioni con porte logiche (due esperienze); utilizzo del contatore Geiger.

#### Testi

Per la preparazione all'esame gli studenti, oltre a consultare il materiale didattico messo a dal docente, possono consultare i seguenti testi: (a) G. Schirripa Spagnolo, Elettronica Applicata, Edizioni Efestò, ISBN 978 88 9910 456 6 (b) Thomas C. Hayes and Paul Horowitz, Learning the Art of Electronics: A Hands-On Lab Course, Cambridge University Press (2016) ISBN 978 05 2117 7238 (c) Materiale fornito dal docente durante il corso.

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Lezioni frontali effettuate con l'ausilio di proiezione di immagini e di materiali audiovisivi, esercitazioni numeriche con l'uso del simulatore LTspice, partecipazione obbligatoria ad almeno otto esercitazioni di laboratorio riguardanti esperimenti di misure elettroniche. Ciascuna esperienza di laboratorio viene completata, dallo studente, da un report dove vengono illustrate le procedure seguite e i risultati delle misurazioni effettuate. Tali report, corretti di volta in volta, rappresentano anche valutazione in itinere. Le lezioni frontali saranno fruibili anche da remoto tramite la piattaforma Teams d'ateneo.

#### Modalità di valutazione

L'apprendimento viene verificato progressivamente durante tutto il corso attraverso i report di laboratorio e colloqui orali organizzati dopo due o tre esperienze di laboratorio. Inoltre, l'apprendimento viene verificato attraverso una ulteriore prova di laboratorio (da far affrontare agli studenti che sono risultati insufficienti durante le valutazioni in itinere) e da un colloquio orale. La prova orale è diretta ad accertare: [1] la conoscenza della fisica delle esperienze eseguite; [2] la padronanza del linguaggio scientifico; [3] contenuti teorici dei metodi di analisi dei dati; [4] capacità d'uso, critico e consapevole, degli strumenti utilizzati in laboratorio

### English

### Prerequisites

Knowledge of the statistical processing of experimental data. Know and be able to "deal" with measurement uncertainties. Knowledge and ability to work with derivatives and integrals.

### Programme

Fundamental concepts of electronics used in the field of measurement of physical quantities. Introduction to semiconductor physics, junction diodes, BJT and MOS transistors. Introduction to the concept of amplification and the principles of feedback. Applications of operational amplifiers. Introduction to digital electronics and applications of logic gates. The lessons are complemented by numerical and laboratory exercises (the latter with compulsory attendance). The purpose of the laboratory exercises is to provide students with the necessary knowledge and practical skills, so as to enable them to use the electronic instruments and electronic components studied during the theoretical lessons. Students must carry out laboratory exercises and submit, at the end of the exercise, a report describing the activity carried out, the data collected and the numerical calculations carried out. List of laboratory exercises: study of the resonance frequency of an RLC filter (introductory experience aimed at becoming familiar with the laboratory instrumentation); applications of operational amplifiers (three experiences); applications of circuits with junction diodes (two experiments); applications of BJT and MOS (two experiences); applications with logic gates (two experiences); use of the Geiger counter.

### Reference books

To prepare for the exam, in addition to consulting the teaching material provided by the teacher, students can consult the following texts: (a) G. Schirripa Spagnolo, Applied Electronics, Efesto Editions, ISBN 978 88 9910 456 6 (b) Thomas C. Hayes and Paul Horowitz, Learning the Art of Electronics: A Hands-On Lab Course, Cambridge University Press (2016) ISBN 978 05 2117 7238

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410721 - Esplorazione spaziale e Fisica planetaria

**Docente:** PETTINELLI ELENA

### Italiano

#### Prerequisiti

nessuno

#### Programma

Origine del sistema solare, pianeti e corpi minori. Storia dell'esplorazione spaziale con sonde automatiche. Le missioni Apollo e le prime misure geofisiche lunari. Sviluppo di radar per lo studio dei poli terrestri e marziani. Misure sismiche sulla Luna, Marte e Venere. Le missioni verso le lune ghiacciate di Giove. Il futuro delle missioni spaziali.

#### Testi

materiale fornito dal docente

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

le lezioni si svolgono in aula, in modalità tradizionale

#### Modalità di valutazione

l'esame si svolge unicamente mediante un colloquio orale

### English

#### Prerequisites

none

#### Programme

Origin of the solar system, planets and minor bodies. History of space exploration with automatic probes. The Apollo missions and the first lunar geophysical measurements. Development of radars for the study of the terrestrial and Martian poles. Seismic measurements on the Moon, Mars and Venus. Missions to Jupiter's icy moons. The future of space missions.

#### Reference books

material provided by the teacher

#### Reference bibliography

-

### Study modes

-

## Exam modes

-

## 20410507 - Filosofia della Scienza

**Docente:** DORATO MAURO

### Italiano

#### Prerequisiti

l'insegnamento fruisce dal corso di "Filosofia della Scienza" da 6cfu erogato presso il Dipartimento di Filosofia; per la descrizione del corso si veda la pagina del corso padre erogante

#### Programma

l'insegnamento fruisce dal corso di "Filosofia della Scienza" da 6cfu erogato presso il Dipartimento di Filosofia; per la descrizione del corso si veda la pagina del corso padre erogante

#### Testi

1. M. Dorato, Che cosa c'entra l'anima con gli atomi? Laterza, 2017 (testo introduttivo) 2. K.R. Popper Scienza e Filosofia, Einaudi, 2000

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Testi da definire

#### Modalità di valutazione

l'insegnamento fruisce dal corso di "Filosofia della Scienza" da 6cfu erogato presso il Dipartimento di Filosofia; per la descrizione del corso si veda la pagina del corso padre erogante

### English

#### Prerequisites

the course benefits from the 6 cfu course of "Philosophy of Science" provided at the Department of Philosophy; For the description of the course, see the page of the parent course

#### Programme

the course benefits from the 6 cfu course of "Philosophy of Science" provided at the Department of Philosophy; For the description of the course, see the page of the parent course

#### Reference books

Carnap. R. Philosophical foundations of physics

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

## Exam modes

-

## 20401877 - FISICA ATOMICA E MOLECOLARE

**Canale:**N0

**Docente:** LUPI LAURA

### Italiano

#### Prerequisiti

Aver superato l'esame di Fisica Generale II

#### Programma

1- Modello di Bohr per atomi idrogenoidi. Serie spettroscopiche in assorbimento e in emissione. Teoria quantistica per l'atomo idrogenoide. L'equazione di Schoedinger di un elettrone in campo Coulombiano. Autofunzioni e livelli di energia. Classificazione degli stati. Alcune proprietà delle funzioni atomiche radiali. 2- Interazione dell'atomo idrogenoide col campo e.m. L'interazione elettrone-campo e.m. trattata con la teoria delle perturbazioni dipendenti dal tempo. Termine di assorbimento e termine di emissione. Probabilità di transizione per l'assorbimento e per l'emissione stimolata. Sezione d'urto per l'assorbimento. Emissione spontanea. Approssimazione di dipolo. Regole di selezione. 3- Diagramma di Grotrian. Polarizzazione della radiazione ed elicità dei fotoni. Coefficienti di Einstein. Forma delle righe per effetto del lifetime dei livelli. 4- Correzioni relativistiche. Interazione spin-orbita. Termine di Darwin. Correzioni di struttura fine agli atomi idrogenoidi. 5- Effetti di campi elettrici e magnetici statici. Effetto Stark. Effetto Zeeman normale. Effetto Paschen-Back. Effetto Zeeman anomalo. 6- Definizione delle unità atomiche. Atomi a due elettroni. Approssimazione di

elettroni indipendenti. Interazione elettrone-elettrone come perturbazione. Metodo variazionale. Stati eccitati. Energia coulombiana e di scambio per stati con due elettroni. Livelli di energia immersi nel continuo. 7- Atomi a molti elettroni. Approssimazione di campo centrale. Schema dei livelli. Funzione d'onda a molte particelle, determinante di Slater. Equazioni di Hartree-Fock e termine di scambio. 8- Schema dei livelli e regole di Hund. Accoppiamento LS. Regole di Hund in presenza del termine spin-orbita. Esempi di livelli di energia per elettroni non equivalenti e per elettroni equivalenti. Accoppiamento j-j. 9- Regole di selezione per atomi a molti elettroni in approssimazione di dipolo. Spettri degli atomi alcalini, difetto quantico. Spettri dell'atomo di He e delle terre alcaline. 10- Fisica Molecolare. Approssimazione di Born-Oppenheimer. Problema di Schroedinger per gli elettroni. Equazione per i nuclei. 11- Lo ione di idrogeno molecolare. Applicazione del metodo LCAO. Proprietà di simmetria delle molecole biatomiche. Molecola di idrogeno col metodo degli orbitali molecolari. Metodo LCAO in generale. Stati leganti e antileganti. Legame covalente e legame ionico. 12- Dinamica dei nuclei. Livelli rotazionali e vibrazionali. Momento angolare totale dei nuclei e degli elettroni. 13- Potenziale di Morse. Correzioni anarmoniche. Correzioni centrifughe al potenziale di Morse. 14- Transizioni fra livelli vibrazionali e rotazionali. Regole di selezione. Esempi per molecole biatomiche etronucleari. Effetto Raman. Transizioni elettroniche. 15- Principio di Franck-Condon.

## Testi

B. H. Bransden and C. J. Joachain "Physics of Atoms and Molecules" (I-st or II-nd edition)

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

Lezioni alla lavagna tradizionale. Esercitazioni alla lavagna tradizionali. Approfondimenti tramite uso di presentazioni powerpoint.

## Modalità di valutazione

esame in forma scritta ed orale L'esame finale comprende un compito scritto e un colloquio orale. Si prevedono due compiti di esonero. Regole per gli esami scritti. Saranno proposti due problemi, uno di Fisica Atomica e uno di Fisica Molecolare. Va fatta distinzione fra studenti che hanno superato almeno uno dei compiti di esonero e gli altri. A) Gli studenti che hanno avuto un voto sufficiente a uno o entrambi gli esoneri possono partecipare e decidere se svolgere uno o entrambi i problemi. La consegna del compito implica l'annullamento del risultato dell'esonero. B) Per gli studenti che non hanno superato nessuno degli esoneri non è possibile svolgere un solo problema, per esempio quello di atomica e lasciare l'altro, per esempio di molecolare, per un compito successivo. Il voto è complessivo e riguarda l'intero compito. C) Il voto dello scritto e l'esonero può essere mantenuto fino all'appello orale di settembre (compreso). Si precisa che agli esami scritti non ci sarà la domanda di teoria che è presente nei compiti di esonero.

## English

### Prerequisites

have passed the General Physics II exam

### Programme

1- Bohr model for hydrogenoid atoms. Spectroscopic series in absorption and emission. Quantum theory for the hydrogenoid atom. The Schoedinger equation of an electron in the Coulomb field. Eigenfunctions and energy levels. Classification of states. Some properties of radial atomic functions. 2- Interaction of the hydrogenoid atom with the e.m. The interaction electron-field e.m. treated with the theory of dependent perturbations from time. Term of absorption and term of issue. Transition probability for absorption and stimulated emission. Cross section for absorption. Spontaneous emission. Dipole approximation. Selection rules. 3- Grotrian's diagram. Radiation polarization and helicity of the photons. Einstein coefficients. Shape of lines due to lifetime levels. 4- Relativistic corrections. Spin-orbit interaction. Darwin term. Fine structure corrections to the hydrogenoid atoms. 5- Effects of static electric and magnetic fields. Stark effect. Effect Normal Zeeman. Paschen-Back effect. Abnormal Zeeman effect. 6- Definition of atomic units. Two-electron atoms. Independent electron approximation. Interaction electron-electron as perturbation. Variational method. Excited states. Coulomb energy and exchange for states with two electrons. Levels of energy immersed in the continuous. 7- Atoms with many electrons. Central field approximation. scheme of levels. Many particle wave function, Slater determinant. Hartree-Fock equations and exchange term. 8- Hund scheme of levels and rules. LS coupling Rules of Hund in the presence of the term spin-orbit. Examples of energy levels for non-equivalent electrons and for equivalent electrons. Coupling j-j. 9- Selection rules for atoms with many electrons in the approximation of dipole. Spectra of alkaline atoms, quantum defect. Spectra of the atom of He is an alkaline earth. 10- Molecular Physics. Born-Oppenheimer approximation. Problem of Schroedinger for electrons. Equation for nuclei. 11- Molecular hydrogen ion. Application of the LCAO method. Symmetry properties of diatomic molecules. Hydrogen molecule with the molecular orbitals method. LCAO method in general. Binding and anti-binding states. Covalent bond and ionic bond. 12- Dynamics of nuclei. Rotational and vibrational levels. Moment total angular of nuclei and electrons. 13- Potential of Morse. Anharmonic corrections. Centrifugal corrections to the potential of Morse. 14- Transitions between vibrational and rotational levels. Selection rules. Examples for diatomic etronuclear molecules. Raman effect. Electronic transitions. 15- Franck-Condon principle.

### Reference books

B. H. Bransden and C. J. Joachain "Physics of Atoms and Molecules" (I-st or II-nd edition)

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20401530 - FISICA GENERALE I

Canale:N0

Docente: DI NARDO ROBERTO

## Italiano

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

Vettori e calcolo vettoriale: definizione di vettore, sua rappresentazione in coordinate cartesiane e polari, proprietà dei vettori, prodotto scalare, prodotto vettoriale, prodotto misto. Cinematica del punto materiale: posizione, velocità, accelerazione scalare e vettoriale di un punto materiale. Accelerazione centripeta e tangenziale. Moto uniformemente accelerato, moto circolare uniforme e non, moto armonico. La velocità e l'accelerazione in coordinate polari. Velocità areolare. Legge di composizione delle velocità e delle accelerazioni per traslazioni; moti relativi. Meccanica del punto materiale: primo principio della dinamica e relatività di Galileo. Sistemi di riferimento inerziali. Seconda e terza legge della dinamica. Forze elastiche, forza di resistenza viscosa, forza di attrito statico e dinamico e applicazioni. Trasformazioni di coordinate e leggi di composizione delle velocità e delle accelerazioni in generale, accelerazione di Coriolis. Sistemi di riferimento non inerziali e forze apparenti: forza centrifuga e forza di Coriolis. Impulso di una forza, quantità di moto e loro relazione. Momento delle forze e momento angolare. Moti centrali e il pendolo. Lavoro ed energia cinetica. Teorema delle forze vive. Forze conservative. Energia potenziale. Conservazione dell'energia meccanica. Sistemi di punti materiali: le equazioni cardinali della meccanica. Centro di massa e teorema del centro di massa. Conservazione della quantità di moto e del momento angolare. Energia di un sistema di punti, il teorema di Koenig. Sistemi di due punti: massa ridotta. Urti tra due punti materiali: urti elastici ed urti anelastici. Meccanica dei sistemi rigidi: traslazioni e rotazioni, caratteristiche e rappresentazione vettoriale; decomposizione del moto in traslazione e rotazione; arbitrarietà della traslazione ed univocità della rotazione. Quantità di moto, momento angolare ed energia cinetica di un corpo rigido. Momento di inerzia, teorema di Steiner. Relazione tra momento angolare e velocità angolare di un corpo rigido, assi principali di inerzia. Analisi del moto in sistemi con asse di rotazione fisso, con asse di rotazione che trasla parallelamente a sé stesso, con punto fisso. Il giroscopio e la trottola. Legge di gravitazione universale. Massa inerziale e massa gravitazionale. Leggi di Keplero e moto di un pianeta. Elasticità: legge di Hooke, modulo di Young e coefficiente di Poisson. Elasticità di volume, elasticità di forma. Relazione tra le costanti elastiche. Deformazioni plastiche. Meccanica dei fluidi: pressione nei fluidi. Fluidi in quiete: principio di Stevino, principio di Pascal, principio di Archimede. Fluidi in moto: conservazione della massa nel flusso stazionario, equazione di Bernoulli. Moti laminari, viscosità; legge della portata. Cenni sui moti turbolenti, numero di Reynolds. Moto di un corpo in un fluido. Termodinamica: temperatura e suo significato microscopico. Trasformazioni reversibili ed irreversibili: calore e lavoro. Primo principio della termodinamica. Energia interna. Gas perfetti e loro trasformazioni, gas reali, solidi e liquidi. I cambiamenti di stato. Trasmissione del calore: conduzione, convezione, irraggiamento. Secondo principio della termodinamica: enunciati classici e loro equivalenza, macchine termiche e rendimenti. Ciclo di Carnot e teorema di Carnot. Entropia, definizione, proprietà e calcolo in trasformazioni di un gas. Teoria cinetica dei gas. L'equipartizione dell'energia. Energia interna ed entropia dei gas perfetti. Terzo principio della termodinamica. Potenziali termodinamici: energia libera di Helmholtz ed entalpia libera di Gibbs. Onde: rappresentazione matematica delle onde. Onde trasversali: onde nelle corde. Onde longitudinali: onde di compressione. Il suono. Energia delle onde. Effetto doppler.

### Testi

Il testo consigliato è: S. Focardi, I. Massa, A. Uguzzoni, M. Villa: Fisica Generale: Meccanica e Termodinamica Casa Editrice Ambrosiana In alternativa si può consultare il testo: C. Mencuccini e V. Silvestrini: Fisica: Meccanica e Termodinamica Casa Editrice Ambrosiana

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Lezioni frontali in aula di teoria con uso di diapositive e supporti informatici solo quando necessario. Esercitazioni sui singoli aspetti della materia: vengono proposti e risolti esercizi e problemi relativi agli argomenti trattati a lezione. Studio guidato: vengono proposti esercizi e problemi agli studenti che devono risolverli da soli o in piccoli gruppi; il docente aiuta, dando spunti e suggerimenti per la soluzione; trascorso un tempo sufficiente, l'esercizio o problema viene risolto alla lavagna dal docente o da uno degli studenti che è riuscito a risolverlo. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19, saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di svolgimento delle attività didattiche. Le lezioni, le esercitazioni e lo studio guidato potranno, se necessario, essere svolti online da remoto continuando a garantire la possibilità di interazione tra il docente e gli studenti. Nel caso, verranno utilizzati gli strumenti informatici già messi a disposizione dall'Ateneo e provati nel corso dei precedenti semestri.

### Modalità di valutazione

Prova in forma scritta: viene richiesta la soluzione di un problema su ognuno dei seguenti singoli argomenti: meccanica del punto materiale, meccanica dei sistemi, termodinamica, meccanica dei fluidi o onde o elasticità; a ciascun problema è assegnata una valutazione numerica (10 per meccanica del punto, 10 per meccanica dei sistemi, 7 per termodinamica e 3 per meccanica dei fluidi o onde o elasticità) Prova orale: vengono formulate domande atte a valutare l'apprendimento degli aspetti concettuali della disciplina, dei collegamenti tra i diversi argomenti, della comprensione degli aspetti formali della disciplina. La valutazione della prova scritta è in 30-mi; la prova scritta è superata con una votazione di almeno 18 punti complessivi e con una valutazione di almeno 12 per la parte di meccanica e di 6 per le altre parti. La prova orale aumenta o diminuisce la valutazione della prova scritta, generalmente, di non più di 3 punti. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19, saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di svolgimento delle modalità di valutazione degli studenti. Le prove, se necessario, potranno essere svolte online da remoto. Nel caso, verranno utilizzati gli strumenti informatici messi a disposizione dall'Ateneo.

## English

### Prerequisites

none

### Programme

Vectors and vector calculus: definition of a vector, its representation in cartesian and polar coordinates, carrier, properties, dot product, vector product, mixed product. Point mass kinematics: position, velocity, scalar and vector acceleration of a point mass. Centripetal and tangential acceleration. Uniformly accelerated motion, uniform and not uniform circular motion, harmonic motion. Speed and acceleration in polar coordinates. Areolar speed. Law of composition of speeds and accelerations; relative motion. Mechanics of systems of points: the Galileo's first principle of dynamics and Galileo's relativity. Inertial reference frame. Second and third law of

dynamics. Elastic forces, static and dynamic friction, viscosity; applications. Transformation of coordinates and laws of composition of speeds and accelerations in general; acceleration of Coriolis. Inertial reference frame and apparent forces: the centrifugal force and the Coriolis force. Impulse of a force, momentum and their relationship. The moment of a force, the angular momentum and their relationship; central forces and pendulum. The work of a force, kinetic energy and the theorem of kinetic energy. Conservative forces and potential energy, the law of conservation of mechanical energy. Material point systems: the cardinal equations of mechanics. Center of mass, definition, properties and the theorem of the center of mass. The conservation of the momentum and of the angular momentum in isolated systems. Energy of a point system, the Koenig theorem. Two-point systems: reduced mass. Collisions between material points: elastic and anelastic collisions. Mechanics of rigid body: translation and rotation, characteristics and vector representation; decomposition of motion in translation and rotation. Momentum, angular momentum and kinetic energy of a rigid body. Moment of inertia, Steiner's theorem. Relationship between angular momentum and angular velocity of a rigid body, main axes of inertia. Analysis of the motion of a systems in rotation around a fixed axis, around an axis moving parallel to itself or with a fixed point; gyroscope and trowel. Universal law of gravitation, potential energy and applications. Inertial mass and gravitational mass. Kepler's laws and their explanation using Newton laws. Motion of a planet. Elasticity: Hooke's law, Young's module and Poisson coefficient. Volume elasticity, shape elasticity; relationship between elastic constants. Plastic deformations. Mechanics of fluids: pressure, definition and properties. Fluids at rest: law of Stevin, of Pascal, of Archimedes. Fluids in motion: mass storage in stationary flow, Bernoulli equation. Laminar motion, viscosity and the law of flow rate. Touch upon the turbulent motion and the Reynolds number. The motion of a body in a fluid. Thermodynamics: temperature and its microscopic meaning, heat, definitions and heat transmission: conduction, convection, irradiation. Transformations of a thermodynamic system, reversible and irreversible transformations: the work in a transformation. First law of thermodynamics, internal energy. Perfect gases and their transformations, real gases, solids and liquids. Transformation between phase states of matter. Second law of thermodynamics: classic statements, thermal engines; the Carnot engine, the Carnot's theorem and its generalization; entropy, definition, properties and calculation in transformations of a gas or of simple systems. Kinetic theory of gases: internal energy and entropy of the perfect gas. Third law of thermodynamics. Thermodynamic potentials: Helmotz free energy and Gibbs free enthalpy, applications. Equation of Clausius-Clapeyron Waves: mathematical representation of waves. Transverse waves: waves in the strings; longitudinal waves: compression waves, the sound. Energy of the waves. Doppler effect.

### Reference books

S. Focardi, I. Massa, A. Uguzzoni, M. Villa: Fisica Generale: Meccanica e Termodinamica Casa Editrice Ambrosiana In alternativa si può consultare il testo: C. Mencuccini e V. Silvestrini: Fisica: Meccanica e Termodinamica Casa Editrice Ambrosiana

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20401530 - FISICA GENERALE I

Canale:N0

Docente: PETRUCCI FABRIZIO

Italiano

### Prerequisiti

Conoscenze di base dell'analisi matematica e della trigonometria. È fortemente consigliato seguire in contemporanea i corsi di Analisi Matematica e Geometria che nel corso dei mesi forniranno e rafforzeranno le competenze necessarie.

### Programma

Vettori e calcolo vettoriale: definizione di vettore, sua rappresentazione in coordinate cartesiane e polari, proprietà dei vettori, prodotto scalare, prodotto vettoriale, prodotto misto. Cinematica del punto materiale: posizione, velocità, accelerazione scalare e vettoriale di un punto materiale. Accelerazione centripeta e tangenziale. Moto uniformemente accelerato, moto circolare uniforme e non, moto armonico. La velocità e l'accelerazione in coordinate polari. Velocità areolare. Legge di composizione delle velocità e delle accelerazioni per traslazioni; moti relativi. Meccanica del punto materiale: primo principio della dinamica e relatività di Galileo. Sistemi di riferimento inerziali. Seconda e terza legge della dinamica. Forze elastiche, forza di resistenza viscosa, forza di attrito statico e dinamico e applicazioni. Trasformazioni di coordinate e leggi di composizione delle velocità e delle accelerazioni in generale, accelerazione di Coriolis. Sistemi di riferimento non inerziali e forze apparenti: forza centrifuga e forza di Coriolis. Impulso di una forza, quantità di moto e loro relazione. Momento delle forze e momento angolare. Moti centrali e il pendolo. Lavoro ed energia cinetica. Teorema delle forze vive. Forze conservative. Energia potenziale. Conservazione dell'energia meccanica. Sistemi di punti materiali: le equazioni cardinali della meccanica. Centro di massa e teorema del centro di massa. Conservazione della quantità di moto e del momento angolare. Energia di un sistema di punti, il teorema di Koenig. Sistemi di due punti: massa ridotta. Urti tra due punti materiali: urti elastici ed urti anelastici. Meccanica dei sistemi rigidi: traslazioni e rotazioni, caratteristiche e rappresentazione vettoriale; decomposizione del moto in traslazione e rotazione; arbitrarietà della traslazione ed univocità della rotazione. Quantità di moto, momento angolare ed energia cinetica di un corpo rigido. Momento di inerzia, teorema di Steiner. Relazione tra momento angolare e velocità angolare di un corpo rigido, assi principali di inerzia. Analisi del moto in sistemi con asse di rotazione fisso, con asse di rotazione che trasla parallelamente a sé stesso, con punto fisso. Il giroscopio e la trottola. Legge di gravitazione universale. Massa inerziale e massa gravitazionale. Leggi di Keplero e moto di un pianeta. Elasticità: legge di Hooke, modulo di Young e coefficiente di Poisson. Elasticità di volume, elasticità di forma. Relazione tra le costanti elastiche. Deformazioni plastiche. Meccanica dei fluidi: pressione nei fluidi. Fluidi in quiete: principio di Stevino, principio di Pascal, principio di Archimede. Fluidi in moto: conservazione della massa nel flusso stazionario, equazione di Bernoulli. Moti laminari, viscosità; legge della portata. Cenni sui moti turbolenti, numero di Reynolds. Moto di un corpo in un fluido. Termodinamica: temperatura e suo significato microscopico. Trasformazioni reversibili ed irreversibili: calore e lavoro. Primo principio della termodinamica. Energia interna. Gas perfetti e loro trasformazioni, gas reali, solidi e liquidi. I cambiamenti di stato. Trasmissione del calore: conduzione, convezione, irraggiamento. Secondo principio della termodinamica: enunciati classici e loro equivalenza, macchine termiche e rendimenti. Ciclo di Carnot e teorema di Carnot. Entropia, definizione, proprietà e calcolo in trasformazioni di un gas. Teoria cinetica dei gas. L'equipartizione dell'energia. Energia interna ed entropia dei gas perfetti. Terzo principio della

termodinamica. Potenziali termodinamici: energia libera di Helmutz ed entalpia libera di Gibbs. Onde: rappresentazione matematica delle onde. Onde trasversali: onde nelle corde. Onde longitudinali: onde di compressione. Il suono. Energia delle onde. Effetto doppler.

## Testi

Il testo consigliato è: S. Focardi, I. Massa, A. Uguzzoni, M. Villa: Fisica Generale: Meccanica e Termodinamica Casa Editrice Ambrosiana In alternativa si può consultare il testo: C. Mencuccini e V. Silvestrini: Fisica: Meccanica e Termodinamica Casa Editrice Ambrosiana

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

Lezioni frontali in aula di teoria con uso di diapositive e supporti informatici solo quando necessario. Esercitazioni sui singoli aspetti della materia: vengono proposti e risolti esercizi e problemi relativi agli argomenti trattati a lezione. Studio guidato: vengono proposti esercizi e problemi agli studenti che devono risolverli da soli o in piccoli gruppi; il docente aiuta, dando spunti e suggerimenti per la soluzione; trascorso un tempo sufficiente, l'esercizio o problema viene risolto alla lavagna dal docente o da uno degli studenti che è riuscito a risolverlo. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19, saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di svolgimento delle attività didattiche. Le lezioni, le esercitazioni e lo studio guidato potranno, se necessario, essere svolti online da remoto continuando a garantire la possibilità di interazione tra il docente e gli studenti. Nel caso, verranno utilizzati gli strumenti informatici già messi a disposizione dall'Ateneo e provati nel corso dei precedenti semestri.

## Modalità di valutazione

Prova in forma scritta: viene richiesta la soluzione di un problema su ognuno dei seguenti singoli argomenti: meccanica del punto materiale, meccanica dei sistemi, termodinamica, meccanica dei fluidi o onde o elasticità; a ciascun problema è assegnata una valutazione numerica (10 per meccanica del punto, 10 per meccanica dei sistemi, 7 per termodinamica e 3 per meccanica dei fluidi o onde o elasticità) Prova orale: vengono formulate domande atte a valutare l'apprendimento degli aspetti concettuali della disciplina, dei collegamenti tra i diversi argomenti, della comprensione degli aspetti formali della disciplina. La valutazione della prova scritta è in 30-mi; la prova scritta è superata con una votazione di almeno 18 punti complessivi e con una valutazione di almeno 12 per la parte di meccanica e di 6 per le altre parti. La prova orale aumenta o diminuisce la valutazione della prova scritta, generalmente, di non più di 3 punti. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19, saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di svolgimento delle modalità di valutazione degli studenti. Le prove, se necessario, potranno essere svolte online da remoto. Nel caso, verranno utilizzati gli strumenti informatici messi a disposizione dall'Ateneo.

## English

## Prerequisites

Basic knowledge of analysis and trigonometry. It is recommended to take in the same period the courses of Analysis and Geometry that, throughout the year, will give and strengthen the needed knowledge.

## Programme

Vectors and vector calculus: definition of a vector, its representation in cartesian and polar coordinates, carrier, properties, dot product, vector product, mixed product. Point mass kinematics: position, velocity, scalar and vector acceleration of a point mass. Centripetal and tangential acceleration. Uniformly accelerated motion, uniform and not uniform circular motion, harmonic motion. Speed and acceleration in polar coordinates. Areolar speed. Law of composition of speeds and accelerations; relative motion. Mechanics of systems of points: the Galileo's first principle of dynamics and Galileo's relativity. Inertial reference frame. Second and third law of dynamics. Elastic forces, static and dynamic friction, viscosity; applications. Transformation of coordinates and laws of composition of speeds and accelerations in general; acceleration of Coriolis. Inertial reference frame and apparent forces: the centrifugal force and the Coriolis force. Impulse of a force, momentum and their relationship. The moment of a force, the angular momentum and their relationship; central forces and pendulum. The work of a force, kinetic energy and the theorem of kinetic energy. Conservative forces and potential energy, the law of conservation of mechanical energy. Material point systems: the cardinal equations of mechanics. Center of mass, definition, properties and the theorem of the center of mass. The conservation of the momentum and of the angular momentum in isolated systems. Energy of a point system, the Koenig theorem. Two-point systems: reduced mass. Collisions between material points: elastic and anelastic collisions. Mechanics of rigid body: translation and rotation, characteristics and vector representation; decomposition of motion in translation and rotation. Momentum, angular momentum and kinetic energy of a rigid body. Moment of inertia, Steiner's theorem. Relationship between angular momentum and angular velocity of a rigid body, main axes of inertia. Analysis of the motion of a systems in rotation around a fixed axis, around an axis moving parallel to itself or with a fixed point; gyroscope and trowel. Universal law of gravitation, potential energy and applications. Inertial mass and gravitational mass. Kepler's laws and their explanation using Newton laws. Motion of a planet. Elasticity: Hooke's law, Young's module and Poisson coefficient. Volume elasticity, shape elasticity; relationship between elastic constants. Plastic deformations. Mechanics of fluids: pressure, definition and properties. Fluids at rest: law of Stevin, of Pascal, of Archimedes. Fluids in motion: mass storage in stationary flow, Bernoulli equation. Laminar motion, viscosity and the law of flow rate. Touch upon the turbulent motion and the Reynolds number. The motion of a body in a fluid. Thermodynamics: temperature and its microscopic meaning, heat, definitions and heat transmission: conduction, convection, irradiation. Transformations of a thermodynamic system, reversible and irreversible transformations: the work in a transformation. First law of thermodynamics, internal energy. Perfect gases and their transformations, real gases, solids and liquids. Transformation between phase states of matter. Second law of thermodynamics: classic statements, thermal engines; the Carnot engine, the Carnot's theorem and its generalization; entropy, definition, properties and calculation in transformations of a gas or of simple systems. Kinetic theory of gases: internal energy and entropy of the perfect gas. Third law of thermodynamics. Thermodynamic potentials: Helmutz free energy and Gibbs free enthalpy, applications. Equation of Clausius-Clapeyron Waves: mathematical representation of waves. Transverse waves: waves in the strings; longitudinal waves: compression waves, the sound. Energy of the waves. Doppler effect.

## Reference books

The recommended textbook is: S. Focardi, I. Massa, A. Uguzzoni, M. Villa: Fisica Generale: Meccanica e Termodinamica Casa Editrice Ambrosiana Another recommended option is the book: C. Mencuccini e V. Silvestrini: Fisica: Meccanica e Termodinamica Casa Editrice Ambrosiana

## Reference bibliography

## Study modes

## Exam modes

# 20410013 - FISICA GENERALE II

**Docente:** MATT GIORGIO

## Italiano

### Prerequisiti

Fisica Generale I

### Programma

Carica elettrica. Forza di Coulomb. Quantizzazione della c.e. Il Campo elettrico. Il potenziale elettrostatico. Il dipolo elettrico. Teorema di Gauss. Schermo elettrostatico. Capacità. Condensatori. Condensatori in serie ed in parallelo. Il problema generale dell'elettrostatica. Energia del campo elettrostatico. La costante dielettrica. Polarizzazione per deformazione e per orientamento. Il vettore Polarizzazione elettrica. Le equazioni della elettostatica in presenza di dielettrici. Il vettore D. F.E.M. Corrente elettrica e densità di corrente. Legge di Ohm. Effetto Joule. Resistenze. Resistenze in serie ed in parallelo. Generatori di tensione. Leggi di Kirchhoff. Conduzione nei liquidi e nei gas. Campo di induzione magnetica. Forza di Lorentz. Campo magnetico generato da una carica in moto. Leggi di Laplace. Divergenza di B. Forze elettrodinamiche. Momento magnetico di una spira. Teorema di Ampere. Induzione elettromagnetica. Legge di Faraday--Neumann. Auto e mutua induzione. Corrente di spostamento. Momento magnetico di un elettrone. Polarizzazione magnetica. Densità di corrente superficiale e volumica. Equazioni fondamentali della magnetostatica in presenza di materia. il vettore H. Materiali dia-, para- e ferromagnetici. Precessione di Larmor. Polarizzazione per orientamento. Onde elettromagnetiche. Equazione delle onde. Onde piane. Onde nei dielettrici. Vettore di Poynting. Effetto Doppler. Riflessione e rifrazione. Dispersione della luce. Principio di Huygens-Fresnel. Interferenza. Diffrazione. Ottica geometrica: specchi, diottri, lenti. Postulati. Dilatazione dei tempi e contrazione delle lunghezze. Trasformazioni di Lorentz. Quadrivettori. Invarianti di Lorentz. Distanza spazio-temporale. Velocità. Quadrivettore energia-impulso. Massa ed energia. Forza di Minkowski. Effetto Doppler. Quadrivettore densità di corrente. Tensore elettromagnetico.

### Testi

Corrado Mencuccini, Vittorio Silvestrini. Fisica 2. Elettromagnetismo-ottica. Corso di fisica per le facoltà scientifiche. Con esempi ed esercizi Liguori Editore

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

le lezioni si svolgono tradizionalmente in modo frontale, in aula, con l'ausilio di dimostrazioni ed esercizi alla lavagna

### Modalità di valutazione

L'esame prevede una prova scritta e una prova orale; durante il periodo di lezione si organizzano 2 prove in itinere che, se superate positivamente, possono esonerare dallo scritto. Nella valutazione dell'esame scritto la determinazione del voto terrà conto della capacità dello studente di risolvere esercizi di elettromagnetismo ed ottica, con particolare attenzione alla corretta impostazione della soluzione. Il voto finale, oltre che sul voto dello scritto, si baserà sulla conoscenza e comprensione degli argomenti del corso.

## English

### Prerequisites

General Physics I

### Programme

Electric charge. Coulomb force. Quantization of the c.e. The electric field. The electrostatic potential. The electric dipole. Gauss theorem. Electrostatic screen. Capacity'. Capacitors. Series and parallel capacitors. The general problem electrostatics. Energy of the electrostatic field. The dielectric constant. Polarization by deformation and orientation. The vector Electric polarization. The equations of electrostatics in the presence of dielectrics. The vector D. EMF Electric current and current density. Ohm's law. Joule effect. Resistances. Series and parallel resistors. Voltage generators. Kirchhoff's laws. Conduction in liquids and in gases. Magnetic induction field. Lorentz force. Magnetic field generated by a moving charge. Laplace's laws. Divergence of B. Electrodynamics forces. Magnetic moment of a coil. Ampere's theorem. Electromagnetic induction. Faraday-Neumann's law. Self and mutual induction. Displacement current. Magnetic moment of an electron. Magnetic polarization. Surface and volume current density. Fundamental equations magnetostatics in the presence of matter. the vector H. Materials dia-, para- and ferromagnetic. Larmor Precession. Polarization by orientation. Electromagnetic waves. Wave equation. Plane waves. Waves in dielectrics. Poynting vector. Doppler effect. Reflection and refraction. Light scattering. Huygens-Fresnel principle. Interference. Diffraction. Geometric optics: mirrors, dioptrics, lenses. Postulates. Time dilation and length contraction. Lorentz transformations. Four vectors. Lorentz invariants. Spatiotemporal distance. Speed'. Energy-impulse quadrivector. Mass and energy. Minkowski's strength. Doppler effect. four-vector current density. Electromagnetic tensor.

### Reference books

Corrado Mencuccini, Vittorio Silvestrini. Fisica 2. Elettromagnetismo-ottica. Corso di fisica per le facoltà scientifiche. Con esempi ed esercizi Liguori Editore

### Reference bibliography

## Study modes

## Exam modes

## 20410013 - FISICA GENERALE II

**Docente:** DI MICCO BIAGIO

### Italiano

#### Prerequisiti

Insegnamenti propedeutici: Analisi Matematica I, Fisica Generale I. Requisiti non propedeutici, da acquisire contemporaneamente alla frequenza del corso: nozioni di Analisi Matematica II, integrali multipli, di volume, di superficie, di linea. Si consiglia inoltre di aver seguito i corsi di chimica e geometria.

#### Programma

Elettrostatica. Fenomeni fondamentali. Carica elettrica. Forza di Coulomb. Quantizzazione della c.e. Il Campo elettrico. Il potenziale elettrostatico. Il dipolo elettrico. Elettrostatica e conduttori. Teorema di Gauss. Schermo elettrostatico. Capacità. Condensatori. Condensatori in serie ed in parallelo. Il problema generale dell'elettrostatica. Energia del campo elettrostatico. Elettrostatica in presenza di dielettrici. La costante dielettrica. Polarizzazione per deformazione e per orientamento. Il vettore Polarizzazione elettrica. Le equazioni della elettostatica in presenza di dielettrici. Il vettore  $D$ . Corrente elettrica. F.E.M. Corrente elettrica e densità di corrente. Legge di Ohm. Effetto Joule. Resistenze. Resistenze in serie ed in parallelo. Generatori di tensione. Leggi di Kirchhoff. Conduzione nei liquidi e nei gas. Campo magnetico nel vuoto. Campo di induzione magnetica. Forza di Lorentz. Campo magnetico generato da una carica in moto. Leggi di Laplace. Divergenza di  $B$ . Forze elettrodinamiche. Momento magnetico di una spira. Teorema di Ampere. Induzione elettromagnetica. Legge di Faraday-Neumann. Auto e mutua induzione. Corrente di spostamento. Campo magnetico nella materia. Momento magnetico di un elettrone. Polarizzazione magnetica. Densità di corrente superficiale e volumica. Equazioni fondamentali della magnetostatica in presenza di materia. il vettore  $H$ . Materiali dia-, para- e ferromagnetici. Precessione di Larmor. Polarizzazione per orientamento. Ottica. Onde elettromagnetiche. Equazione delle onde. Onde piane. Onde nei dielettrici. Vettore di Poynting. Effetto Doppler. Riflessione e rifrazione. Dispersione della luce. Principio di Huygens-Fresnel. Interferenza. Diffrazione. Ottica geometrica: specchi, diottri, lenti. Introduzione alla relatività ristretta. Postulati. Dilatazione dei tempi e contrazione delle lunghezze. Trasformazioni di Lorentz. Quadrivettori. Invarianti di Lorentz. Distanza spazio-temporale. Velocità. Quadrivettore energia-impulso. Massa ed energia. Forza di Minkowski. Effetto Doppler. Quadrivettore densità di corrente. Tensore elettromagnetico.

#### Testi

Fisica-Elettromagnetismo e Ottica (Corrado Mencuccini e Vittorio Silvestrini), ed. Ambrosiana. Esercizi di Fisica-Elettromagnetismo e Ottica (Corrado Mencuccini e Vittorio Silvestrini), ed. Ambrosiana

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Le esercitazioni si svolgono in modo tradizionale in aula e in presenza

#### Modalità di valutazione

L'esame include una prova scritta e una prova orale. La prova scritta può essere anticipata durante lo svolgimento del corso e divisa in due prove intercorso, della durata di 3 ore ciascuna. Gli argomenti della prima prova intercorso vertono sulla parte 1 del programma, mentre quelli della seconda prova intercorso sulle parti 2, 3 e 4. In alternativa, qualora una delle due prove non fosse stata sostenuta od il suo esito non sia stata sufficiente, o lo studente non sia soddisfatto del voto ottenuto, lo studente può sostenere una prova scritta generale, della durata di 3 ore, i cui argomenti spaziano su tutto il programma svolto. La prova scritta include esercizi che sono usati per valutare l'abilità dello studente nell'utilizzare i concetti che sono stati appresi durante il corso per risolvere problemi caratteristici dell'elettromagnetismo, come il calcolo di campi elettrici e magnetici, il calcolo delle variazioni temporale delle cariche e delle correnti nei circuiti, la propagazione della luce attraverso i sistemi ottici. La prova orale dura tipicamente 30 minuti, ed è utilizzata per verificare che lo studente abbia acquisito le nozioni fondamentali del corso e sia capace di dimostrare i teoremi e le relazioni più rilevanti. Sono soggetti a valutazione il livello di comprensione dei concetti, l'acquisizione della terminologia specialistica della materia, la chiarezza nell'esposizione e la capacità di fornire deduzioni originali dagli argomenti studiati.

### English

#### Prerequisites

Preparatory courses: Mathematical Analysis I, General Physics I. Non-preparatory requirements, to be acquired simultaneously with the frequency of the course: notions of Mathematical Analysis II, multiple integrals, of volume, surface, line. It is also advisable to have attended the chemistry and geometry courses.

#### Programme

Electrostatic. Fundamental phenomena. Electric charge. Coulomb force. Quantization of the e.g. The electric field. The electrostatic potential. The dipole electric. Electrostatics and conductors. Gauss theorem. Electrostatic screen. Capacity. Capacitors. Capacitors in series and in parallel. The general problem electrostatics. Energy of the electrostatic field. Electrostatics in the presence of dielectrics. The dielectric constant. Polarization by deformation and orientation. The vector Electric polarization. The electrostatic equations in the presence of dielectrics. The vector  $D$ . Electric current. EMF Electric current and current density. Law of Ohm. Joule effect. Resistances. Resistance in series and in parallel. Generators of voltage. Kirchhoff's laws. Conduction in liquids and gases. Magnetic field in a vacuum. Magnetic induction field. Lorentz force. Magnetic field generated by a moving charge. Laplace's laws. Divergence of  $B$ . Electrodynamical forces. Magnetic moment of a spire. Ampere theorem. Electromagnetic induction. Faraday - Neumann law. Auto and

mutual induction. Displacement current. Magnetic field in matter. Magnetic moment of an electron. Magnetic polarization. Surface and voluminous current density. Fundamental equations of magnetostatics in the presence of matter. the vector  $\mathbf{H}$ . Dia-, materials para- and ferromagnetic. Precession of Larmor. Polarization by orientation. Optics. Electromagnetic waves. Wave equation. Flat waves. Waves in the dielectrics. Poynting vector. Doppler effect. Reflection and refraction. Light scattering. Huygens-Fresnel principle. Interference. Diffraction. Optics geometric: mirrors, diopters, lenses. Introduction to restricted relativity. Postulates. Time dilation and length contraction. Lorentz transformations. Four vectors. Invariant of Lorentz. Space-time distance. Speed. Energy-pulse four-vector. Mass and energy. Minkowski's force. Doppler effect. Four-vector density current. Electromagnetic tensor.

### Reference books

Fisica-Elettromagnetismo e Ottica (Corrado Mencuccini e Vittorio Silvestrini), ed. Ambrosiana Esercizi di Fisica-Elettromagnetismo e Ottica (Corrado Mencuccini e Vittorio Silvestrini), ed. Ambrosiana

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20401809 - LABORATORIO DI ASTROFISICA

**Canale:**N0

**Docente:** RICCI Federica

### Italiano

#### Prerequisiti

nessuno

#### Programma

Il corso prevede una attività di laboratorio indoor, alcune serate di osservazione e misura al telescopio e alcune sessioni di analisi dati. Sono previste esercitazioni in classe in cui sono svolti e discussi esercizi assegnati agli studenti. L'esame prevede la frequenza delle attività sperimentali e delle esercitazioni, la stesura di relazioni di laboratorio e un colloquio orale su un problema sperimentale inerente gli argomenti trattati nel Corso

#### Testi

dispense fornite dal docente

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Il corso prevede una parte sperimentale in laboratorio di caratterizzazione di rivelatori CCD, misure notturne al telescopio del Dipartimento e analisi di dati acquisiti al telescopio, tramite opportuni software. In totale verranno svolte tre esperienze a ciascuna della quale dovrà corrispondere una relazione scritta. Le esperienze saranno svolte in gruppi di 2-3 studenti per gruppo.

#### Modalità di valutazione

Presentare le relazioni relative agli esperimenti svolti. Discussione sui contenuti di uno degli esperimenti. Rispondere ad alcune domande di carattere generale sugli argomenti del programma

### English

#### Prerequisites

none

#### Programme

The course includes an indoor laboratory activity, some observation and telescope measurement evenings and some data analysis sessions. There will be classroom exercises in which exercises assigned to students are performed and discussed. The exam includes the frequency of experimental activities and exercises, the writing of laboratory reports and an oral interview about an experimental problem concerning the topics covered in the course

#### Reference books

notes provided by the teacher

#### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20401809 - LABORATORIO DI ASTROFISICA

**Canale:**N0

**Docente:** BERNIERI ENRICO

### Italiano

#### Prerequisiti

nessuno

#### Programma

Il corso prevede una attività di laboratorio indoor, alcune serate di osservazione e misura al telescopio e alcune sessioni di analisi dati. Sono previste esercitazioni in classe in cui sono svolti e discussi esercizi assegnati agli studenti. L'esame prevede la frequenza delle attività sperimentali e delle esercitazioni, la stesura di relazioni di laboratorio e un colloquio orale su un problema sperimentale inerente gli argomenti trattati nel Corso

#### Testi

dispense fornite dal docente

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Il corso prevede una parte sperimentale in laboratorio di caratterizzazione di rivelatori CCD, misure notturne al telescopio del Dipartimento e analisi di dati acquisiti al telescopio, tramite opportuni software. In totale verranno svolte tre esperienze a ciascuna della quale dovrà corrispondere una relazione scritta. Le esperienze saranno svolte in gruppi di 2-3 studenti per gruppo.

#### Modalità di valutazione

Presentare le relazioni relative agli esperimenti svolti. Discussione sui contenuti di uno degli esperimenti. Rispondere ad alcune domande di carattere generale sugli argomenti del programma

### English

#### Prerequisites

none

#### Programme

The course includes an indoor laboratory activity, some observation and telescope measurement evenings and some data analysis sessions. There will be classroom exercises in which exercises assigned to students are performed and discussed. The exam includes the frequency of experimental activities and exercises, the writing of laboratory reports and an oral interview about an experimental problem concerning the topics covered in the course

#### Reference books

notes provided by the teacher

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410715 - Laboratorio di Diagnostica della Materia dei Materiali

**Docente:** RUOCCO ALESSANDRO

### Italiano

#### Prerequisiti

nessuno

#### Programma

Durante il corso verranno presentate due tecniche di caratterizzazione delle proprietà superficiali della materia condensata: la Fotoemissione da raggi X e la Microscopia a Forza Atomica. Verrà inizialmente presentata in aula una introduzione teorica alle due tecniche sperimentali. Le lezioni frontali avranno come tema: microscopia ottica e microscopia a sonda; STM; AFM in contatto; AFM in non contatto; tecniche SPM secondarie; risoluzione e artefatti; analisi immagini SPM; vuoto e superfici; fondamenti di spettroscopia a raggi X; il modello a tre passi; sorgenti x; analizzatori di elettroni; rivelazione di elettroni; acquisizione ed analisi dati XPS. Successivamente verrà svolta l'attività di laboratorio vera e propria, che verrà condotta presso il Laboratorio di Fisica e Tecnologia dei Semiconduttori ed il laboratorio Lasec (laboratorio di spettroscopie elettroniche e di coincidenza)

#### Testi

-Dispense fornite dal docente basate sulle slide presentate a lezione - Fondamenti di microscopia a scansione di sonda, V. L. Mironov, NT-MDT

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Lezioni teoriche in classe e prove pratiche di laboratorio

### Modalità di valutazione

prova finale orale con compilazione di un quaderno di laboratorio

### English

#### Prerequisites

none

#### Programme

In this course we shall introduce two experimental techniques used to characterize the surface properties of condensed matter: x-ray photoemission spectroscopy (XPS) and atomic force microscopy (AFM). First, we shall provide a theoretical background of the two techniques. The frontal lectures have the following subjects: optical versus scanning probe microscopy; STM; contact AFM; non-contact AFM; secondary SPM techniques; resolution and artifacts; SPM image analysis; surface and vacuum; fundamental of XPS; three-step model; x-ray sources; electron analyzers; electron detection; XPS data acquisition and analysis. Subsequently, the experimental activity will be carried on using tools available at the Laboratory for Physics and Technology of Semiconductors and at Lasec Laboratory.

#### Reference books

- Notes provided by the teacher based on the slides presented during the lectures - Fundamentals of probe scanning microscopy, V. L. Mironov, NT-MDT

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410715 - Laboratorio di Diagnostica della Materia dei Materiali

**Docente:** OFFI FRANCESCO

### Italiano

#### Prerequisiti

nessuno

#### Programma

Durante il corso verranno presentate due tecniche di caratterizzazione delle proprietà superficiali della materia condensata: la Fotoemissione da raggi X e la Microscopia a Forza Atomica. Verrà inizialmente presentata in aula una introduzione teorica alle due tecniche sperimentali. Le lezioni frontali avranno come tema: microscopia ottica e microscopia a sonda; STM; AFM in contatto; AFM in non contatto; tecniche SPM secondarie; risoluzione e artefatti; analisi immagini SPM; vuoto e superfici; fondamenti di spettroscopia a raggi X; il modello a tre passi; sorgenti x; analizzatori di elettroni; rivelazione di elettroni; acquisizione ed analisi dati XPS. Successivamente verrà svolta l'attività di laboratorio vera e propria, che verrà condotta presso il Laboratorio di Fisica e Tecnologia dei Semiconduttori.

#### Testi

-Dispense fornite dal docente basate sulle slide presentate a lezione - Fondamenti di microscopia a scansione di sonda, V. L. Mironov, NT-MDT

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Lezioni teoriche in classe e prove pratiche di laboratorio

### Modalità di valutazione

prova finale orale con compilazione di un quaderno di laboratorio

### English

#### Prerequisites

none

#### Programme

In this course we shall introduce two experimental techniques used to characterize the surface properties of condensed matter: x-ray photoemission spectroscopy (XPS) and atomic force microscopy (AFM). First, we shall provide a theoretical background of the two techniques. The frontal lectures have the following subjects: optical versus scanning probe microscopy; STM; contact AFM; non-contact AFM; secondary SPM techniques; resolution and artifacts; SPM image analysis; surface and vacuum; fundamental of XPS; three-step model; x-ray sources; electron analyzers; electron detection; XPS data acquisition and analysis. Subsequently, the experimental activity will be carried on using tools available at the Laboratory for Physics and Technology of Semiconductors.

#### Reference books

- Notes provided by the teacher based on the slides presented during the lectures - Fundamentals of probe scanning microscopy, V. L. Mironov, NT-MDT

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

### 20410892 - Laboratorio di Fisica della Terra

**Docente:** LAURO SEBASTIAN EMANUEL

#### Italiano

##### Prerequisiti

si vedano le informazioni riportate nella pagina del titolare del corso

##### Programma

si vedano le informazioni riportate nella pagina del titolare del corso

##### Testi

si vedano le informazioni riportate nella pagina del titolare del corso

##### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

##### Modalità erogazione

Testi da definire

##### Modalità di valutazione

si vedano le informazioni riportate nella pagina del titolare del corso

#### English

##### Prerequisites

See the information on the course owner's page

##### Programme

See the information on the course owner's page

##### Reference books

See the information on the course owner's page

##### Reference bibliography

-

##### Study modes

-

##### Exam modes

-

### 20410892 - Laboratorio di Fisica della Terra

**Docente:** LAURO SEBASTIAN

#### Italiano

##### Prerequisiti

si vedano le informazioni riportate nella pagina del titolare del corso

##### Programma

si vedano le informazioni riportate nella pagina del titolare del corso

#### **Testi**

si vedano le informazioni riportate nella pagina del titolare del corso

#### **Bibliografia di riferimento**

Testi da definire

#### **Modalità erogazione**

Testi da definire

#### **Modalità di valutazione**

si vedano le informazioni riportate nella pagina del titolare del corso

#### **English**

#### **Prerequisites**

See the information on the course owner's page

#### **Programme**

See the information on the course owner's page

#### **Reference books**

See the information on the course owner's page

#### **Reference bibliography**

-

#### **Study modes**

-

#### **Exam modes**

-

### **20410892 - Laboratorio di Fisica della Terra**

**Docente:** MATTEI ELISABETTA

#### **Italiano**

#### **Prerequisiti**

si vedano le informazioni riportate nella pagina del titolare del corso

#### **Programma**

si vedano le informazioni riportate nella pagina del titolare del corso

#### **Testi**

si vedano le informazioni riportate nella pagina del titolare del corso

#### **Bibliografia di riferimento**

Testi da definire

#### **Modalità erogazione**

Testi da definire

#### **Modalità di valutazione**

si vedano le informazioni riportate nella pagina del titolare del corso

#### **English**

#### **Prerequisites**

See the information on the course owner's page

#### **Programme**

See the information on the course owner's page

#### **Reference books**

See the information on the course owner's page

#### **Reference bibliography**

-

#### **Study modes**

## Exam modes

### 20410892 - Laboratorio di Fisica della Terra

**Docente:** PETITTA MARCELLO

#### Italiano

##### Prerequisiti

Conoscenza della fisica di base sia teorica sia sperimentale. Conoscenza base di programmazione di codici numerici per l'analisi dati.

##### Programma

1. Introduzione al corso, Fisica Terrestre e dell'ambiente 2. Introduzione a Python matrici e vettori, funzioni 3. Introduzione ai segnali e richiami su serie e trasformate di Fourier. Funzione di trasferimento, causalità, relazione di dispersione 4. Esercitazione Python, risposta impulsiva 5. Teorema del campionamento, aliasing, segnale analitico, energia del segnale 6. Esercitazione Python, trasformata di Fourier, FFT 7. Serie storiche 8. Esercitazione Python, Minimi quadrati e filtraggio dei dati 9. Introduzione al Climate change 10. Esercitazione su una serie temporale (Concentrazione della CO2 in atmosfera) 11. Terremoti e propagazione delle onde 12. Esercitazione su una serie temporale (Concentrazione della CO2 in atmosfera) 13. Equazioni di Maxwell, relazioni costitutive 14. Esercitazione su una serie temporale (Concentrazione della CO2 in atmosfera) 15. Misure elettromagnetiche a bassa frequenza e alta frequenza 16. Esercitazione sull'individuazione della sorgente del terremoto 17. Relazione tra parametri elettrici e parametri idraulici: conducibilità elettrica e permeabilità idraulica 18. Esercitazione sull'individuazione della sorgente del terremoto 19. Equazione di dispersione idrodinamica 20. Esercitazione sulla diffusione di un'inquinante

##### Testi

• J. Gaskill, Linear systems, Fourier transforms, and optics, Wiley. • A. R. Von Hippel, Dielectric and Waves, John Wiley & Sons. • F. W. Taylor, Elementary Climate Physics, Oxford.

##### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

##### Modalità erogazione

Testi da definire

##### Modalità di valutazione

L'esame si articola nella stesura di tre relazioni riguardanti l'analisi di dati geofisici ottenuti da misure condotte in laboratorio, e da una prova orale durante la quale vengono discusse le relazioni presentate dallo studente e gli argomenti trattati durante il corso.

#### English

##### Prerequisites

Knowledge of both theoretical and experimental basic physics. Basic knowledge of programming of numerical codes for data analysis.

##### Programme

1. Introduction to the Course, Earth Physics and the Environment 2. Introduction to Python, matrices and vectors, functions 3. Recall to Fourier series and transform. Transfer function, causality, dispersion. 4. Python Exercise, Pulse Response 5. Sampling theorem, aliasing, analytical signal, signal energy 6. Python Exercise, Fourier Transform, FFT 7. Time series 8. Python Exercise, Least Squares problem and Data fitting 9. Introduction to Climate Change 10. Exercise on a time series (CO2 concentration in the atmosphere) 11. Earthquakes and propagation of waves 12. Exercise on a time series (CO2 concentration in the atmosphere) 13. Maxwell equations, constitutive relations 14. Exercise on a time series (CO2 concentration in the atmosphere) 15. Low frequency and high frequency electromagnetic measurements 16. Exercise on Earthquake location 17. Relation between electrical parameters and hydraulic parameters: electrical conductivity and hydraulic permeability 18. Exercise on Earthquake location 19. Hydrodynamic dispersion equation 20. Exercise on the diffusion of a pollutant

##### Reference books

• J. Gaskill, Linear systems, Fourier transforms, and optics, Wiley. • A. R. Von Hippel, Dielectric and Waves, John Wiley & Sons. • F. W. Taylor, Elementary Climate Physics, Oxford.

##### Reference bibliography

## Study modes

## Exam modes

### 20401811 - LABORATORIO DI FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE

**Canale:**N0

**Docente:** PETRUCCI FABRIZIO

#### Italiano

## Prerequisiti

Conoscenza della fisica di base (si consiglia di aver assimilato gli argomenti dei corsi di Fisica Generale I e II) e di elementi di elettronica analogica e trattamento statistico dei dati (si consiglia di aver seguito i corsi di Esperimentazione di Fisica I e II). Per una maggiore comprensione dei fenomeni di base della fisica nucleare e subnucleare si consiglia di seguire il corso di Elementi di Fisica Nucleare e Subnucleare che si tiene nello stesso semestre.

## Programma

Programma delle lezioni frontali tenute nella prima parte del corso. a) Le particelle subatomiche e la loro interazione con la materia: - Sorgenti radioattive, raggi cosmici e particelle elementari; - Perdita di energia per ionizzazione delle particelle cariche pesanti; - Perdita di energia di elettroni e positroni; - Radiazione Cherenkov; - Radiazione di transizione; - Diffusione coulombiana multipla; - Interazione dei fotoni; - produzione di coppie e sviluppo di sciami. b) I rivelatori di particelle: - Caratteristiche generali dei rivelatori; - Rivelatori a ionizzazione; - Rivelatori a scintillazione; - Fotomoltiplicatori. c) Utilizzo dei rivelatori di particelle: - Misure di impulso delle particelle cariche; - Generalità sull'identificazione delle particelle; - Trigger - Esempi di esperimenti fondamentali in fisica delle particelle. Durante le lezioni in laboratorio verranno approfonditi tutti gli argomenti necessari all'utilizzo dei rivelatori di particelle.

## Testi

Durante il corso saranno distribuite copia delle slides delle lezioni e note aggiuntive. Testi consigliati: (Leo W.R.) Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag] Per una introduzione alla fisica delle particelle e per una esposizione alternativa dell'interazione delle particelle con la materia: (Braibant S., Giacomelli G., Spurio M.) Particelle e interazioni fondamentali [Springer]

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

Il corso è diviso in due parti. Nella prima parte si svolgeranno lezioni frontali, al fine di garantire l'apprendimento dei contenuti, come delineato nella sezione "Obiettivi formativi". Nella seconda e più corposa parte del corso, si svolgeranno attività in laboratorio. Gli studenti lavoreranno in gruppi di 2-3 studenti con l'obiettivo di imparare ad utilizzare e caratterizzare i rivelatori di particelle proposti e di effettuare qualche semplice misura. Ogni gruppo si concentrerà su un singolo sistema, approfondendone tutti i dettagli. Alla fine delle lezioni in laboratorio, ogni gruppo di studenti dovrà presentare una unica relazione congiunta che contenga la descrizione delle misure fatte e dei risultati ottenuti. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19, saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di svolgimento delle attività didattiche. Le lezioni potranno, se necessario, essere svolte online da remoto continuando a garantire la possibilità di interazione tra il docente e gli studenti. La pratica di laboratorio, svolta sempre online da remoto, verrebbe focalizzata maggiormente sull'apprendimento delle basi dell'analisi dei dati di rivelatori forniti dal docente e su alcuni strumenti di analisi. Nel caso, verranno utilizzati gli strumenti informatici già messi a disposizione dall'Ateneo e provati nel corso del secondo semestre dell'a.a.2021/2022.

## Modalità di valutazione

La verifica dell'apprendimento avviene attraverso una prova orale. Viene valutata anche la relazione che gli studenti devono produrre alla fine del corso. La relazione, elaborata congiuntamente dal gruppo di studenti che hanno lavorato insieme durante il corso, deve contenere una discussione delle misure effettuate e dei risultati ottenuti. A partire dalla presentazione e dalla discussione della relazione prodotta, durante l'esame orale verranno poste domande mirate a verificare l'effettiva comprensione dell'attività svolta in laboratorio e degli argomenti di base trattati nelle lezioni in aula. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19, saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di svolgimento delle modalità di valutazione degli studenti. La prova orale, se necessario, potrà essere svolta online da remoto. Nel caso, verranno utilizzati gli strumenti informatici messi a disposizione dall'Ateneo.

## English

### Prerequisites

Knowledge of fundamental physics (Mechanics, Electromagnetism and Optics) and of the basics of electronics circuits and of statistical data treatment (it is recommended to have attended the courses of "Esperimentazione di Fisica I e II"). For a deeper understanding of fundamental processes in particle physics, it is recommended to attend the introductory course in Nuclear and Particle Physics which is scheduled in the same semester.

### Programme

Topics of the lectures of the first part of the course. a) Subatomic particles and their interactions with matter: - Radioactive sources, cosmic rays and elementary particles; - Ionisation energy loss for heavy charged particles; - Ionisation energy loss for electrons and positrons; - Cherenkov radiation; - Transition radiation; - Multiple coulomb scattering; - Photons interactions; - Pair production and shower development. b) Particle detectors: - General characteristics of particle detectors; - Ionisation detectors; - Scintillation detectors; - Photomultiplier tubes. c) Applications: - Measurements of charged particle momenta; - Introduction to particle identification; - Trigger; - Examples of fundamental experiments in particle physics. All the relevant topics and practical informations needed to operate the particle detectors exploited in the lab will be given during the laboratory practice.

### Reference books

During the lectures slides and additional notes will be circulated. The recommended textbook is: (Leo W.R.) Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag] For an introduction to particle physics and to particle interactions in matter: (Braibant S., Giacomelli G., Spurio M.) Particelle e interazioni fondamentali [Springer] (in Italian)

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20401811 - LABORATORIO DI FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE

Canale:N0

Docente: SALAMANNA GIUSEPPE

### Italiano

#### Prerequisiti

Conoscenza della fisica di base (si consiglia di aver assimilato gli argomenti dei corsi di Fisica Generale I e II) e di elementi di elettronica analogica e trattamento statistico dei dati (si consiglia di aver seguito i corsi di Esperimentazione di Fisica I e II). Per una maggiore comprensione dei fenomeni di base della fisica nucleare e subnucleare si consiglia di seguire il corso di Elementi di Fisica Nucleare e Subnucleare che si tiene nello stesso semestre.

#### Programma

Programma delle lezioni frontali tenute nella prima parte del corso. a) Le particelle subatomiche e la loro interazione con la materia: - Sorgenti radioattive, raggi cosmici e particelle elementari; - Perdita di energia per ionizzazione delle particelle cariche pesanti; - Perdita di energia di elettroni e positroni; - Radiazione Cherenkov; - Radiazione di transizione; - Diffusione coulombiana multipla; - Interazione dei fotoni; - produzione di coppie e sviluppo di sciami. b) I rivelatori di particelle: - Caratteristiche generali dei rivelatori; - Rivelatori a ionizzazione; - Rivelatori a scintillazione; - Fotomoltiplicatori. c) Utilizzo dei rivelatori di particelle: - Misure di impulso delle particelle cariche; - Generalità sull'identificazione delle particelle; - Trigger - Esempi di esperimenti fondamentali in fisica delle particelle. Durante le lezioni in laboratorio verranno approfonditi tutti gli argomenti necessari all'utilizzo dei rivelatori di particelle.

#### Testi

Durante il corso saranno distribuite copia delle slides delle lezioni e note aggiuntive. Testi consigliati: (Leo W.R.) Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag] Per una introduzione alla fisica delle particelle e per una esposizione alternativa dell'interazione delle particelle con la materia: (Braibant S., Giacomelli G., Spurio M.) Particelle e interazioni fondamentali [Springer]

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Il corso è diviso in due parti. Nella prima parte si svolgeranno lezioni frontali, al fine di garantire l'apprendimento dei contenuti, come delineato nella sezione "Obiettivi formativi". Nella seconda e più corposa parte del corso, si svolgeranno attività in laboratorio. Gli studenti lavoreranno in gruppi di 2-3 studenti con l'obiettivo di imparare ad utilizzare e caratterizzare i rivelatori di particelle proposti e di effettuare qualche semplice misura. Ogni gruppo si concentrerà su un singolo sistema, approfondendone tutti i dettagli. Alla fine delle lezioni in laboratorio, ogni gruppo di studenti dovrà presentare una unica relazione congiunta che contenga la descrizione delle misure fatte e dei risultati ottenuti. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19, saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di svolgimento delle attività didattiche. Le lezioni potranno, se necessario, essere svolte online da remoto continuando a garantire la possibilità di interazione tra il docente e gli studenti. La pratica di laboratorio, svolta sempre online da remoto, verrebbe focalizzata maggiormente sull'apprendimento delle basi dell'analisi dei dati di rivelatori forniti dal docente e su alcuni strumenti di analisi. Nel caso, verranno utilizzati gli strumenti informatici già messi a disposizione dall'Ateneo e provati nel corso del secondo semestre dell'a.a.2021/2022.

#### Modalità di valutazione

La verifica dell'apprendimento avviene attraverso una prova orale. Viene valutata anche la relazione che gli studenti devono produrre alla fine del corso. La relazione, elaborata congiuntamente dal gruppo di studenti che hanno lavorato insieme durante il corso, deve contenere una discussione delle misure effettuate e dei risultati ottenuti. A partire dalla presentazione e dalla discussione della relazione prodotta, durante l'esame orale verranno poste domande mirate a verificare l'effettiva comprensione dell'attività svolta in laboratorio e degli argomenti di base trattati nelle lezioni in aula. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19, saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di svolgimento delle modalità di valutazione degli studenti. La prova orale, se necessario, potrà essere svolta online da remoto. Nel caso, verranno utilizzati gli strumenti informatici messi a disposizione dall'Ateneo.

### English

#### Prerequisites

Knowledge of fundamental physics (Mechanics, Electromagnetism and Optics) and of the basics of electronics circuits and of statistical data treatment (it is recommended to have attended the courses of "Esperimentazione di Fisica I e II"). For a deeper understanding of fundamental processes in particle physics, it is recommended to attend the introductory course in Nuclear and Particle Physics which is scheduled in the same semester.

#### Programme

Topics of the lectures of the first part of the course. a) Subatomic particles and their interactions with matter: - Radioactive sources, cosmic rays and elementary particles; - Ionisation energy loss for heavy charged particles; - Ionisation energy loss for electrons and positrons; - Cherenkov radiation; - Transition radiation; - Multiple coulomb scattering; - Photons interactions; - Pair production and shower development. b) Particle detectors: - General characteristics of particle detectors; - Ionisation detectors; - Scintillation detectors; - Photomultiplier tubes. c) Applications: - Measurements of charged particle momenta; - Introduction to particle identification; - Trigger; - Examples of fundamental experiments in particle physics. All the relevant topics and practical informations needed to operate the particle detectors exploited in the lab will be given during the laboratory practice.

#### Reference books

During the lectures slides and additional notes will be circulated. The recommended textbook is: (Leo W.R.) Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag] For an introduction to particle physics and to particle interactions in matter: (Braibant S., Giacomelli G., Spurio M.) Particelle e interazioni fondamentali [Springer] (in Italian)

#### Reference bibliography

-  
**Study modes**

-

**Exam modes**

-

## 20410011 - LABORATORIO DI PROGRAMMAZIONE E CALCOLO

**Docente:** BUSSINO SEVERINO ANGELO MARIA

### Italiano

#### Prerequisiti

Nessun requisito specifico.

#### Programma

GESTIONE FILE SOTTO LINUX, ELEMENTI DI PROGRAMMAZIONE IN C++.

#### Testi

Stanley B. Lippman, Josée Lajoie C++ Corso di Programmazione Addison-Wesley 2000 (traduzione italiana di C++ Primer, Third Edition) BARONE, MARINARI, ORGANTINI, RICCI-TERSENGHI PROGRAMMAZIONE SCIENTIFICA PEARSON EDUCATION 2006  
Qualsiasi manuale di programmazione in linguaggio C++

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Lezioni frontali (20 ore) ed Esercitazioni di Laboratorio, in due o più gruppi (40 ore per ciascun gruppo). La maggior parte delle Esercitazioni in Laboratorio verranno svolte dagli studenti in coppia (1 computer a disposizione di ciascuna coppia) e 2 Esercitazioni verranno svolte in maniera individuale.

#### Modalità di valutazione

Prove di esonero durante lo svolgimento del corso oppure prova finale, pratica e orale).

### English

#### Prerequisites

No specific requirements.

#### Programme

File system in Linux enviroment. First principles of the C++ programming language.

#### Reference books

Stanley B. Lippman, Josée Lajoie, Barbara E. Moo C++ Primer, Fifth Edition Addison-Wesley 2012 Any C++ programming language manual

#### Reference bibliography

-

**Study modes**

-

**Exam modes**

-

## 20410016 - MECCANICA ANALITICA

**Docente:** GENTILE GUIDO

### Italiano

#### Prerequisiti

Fisica Generale I

#### Programma

Sistemi meccanici conservativi. Analisi qualitativa del moto e stabilità secondo Ljapunov. Sistemi planari e sistemi meccanici unidimensionali. Moti centrali e problema dei due corpi. Cambiamento di sistemi di riferimento. Forze apparenti. Vincoli. Sistemi rigidi. Meccanica lagrangiana: principi variazionali, variabili cicliche, metodo di Routh, costanti del moto e simmetrie. Meccanica hamiltoniana: teorema di Liouville e teorema del ritorno di Poincaré, trasformazioni canoniche, funzioni generatrici, metodo di Hamilton-Jacobi e variabili azione-angolo.

#### Testi

G. Gentile, Introduzione ai sistemi dinamici. 1. Equazioni differenziali ordinarie, analisi qualitativa e alcune applicazioni, Springer, Milano, 2021. G. Gentile, Introduzione ai sistemi dinamici. 2. Meccanica lagrangiana e hamiltoniana, Springer, Milano, 2022

### Bibliografia di riferimento

V.I. Arnol'd, Metodi Matematici della Meccanica Classica. Editori Riuniti, (1979). G. Dell'Antonio, Elementi di Meccanica. Liguori Editore, (1996). A. Fasano & S. Marmi, Meccanica analitica. Bollati Boringhieri, (1994). G. Gallavotti, Meccanica Elementare. Bollati-Boringhieri, (1980). L.D. Landau & E.M. Lifshitz, Meccanica. Editori Riuniti, (1976).

### Modalità erogazione

Lezioni frontali, didattica integrativa e studio assistito (tutorato).

### Modalità di valutazione

L'esame consiste in una prova scritta, eventualmente sostituita da due prove di esonero in itinere e in un successivo colloquio orale, in cui lo studente dovrà discutere gli argomenti trattati a lezione, con riferimento ai testi utilizzati e/o alle note distribuite a lezione.

## English

### Prerequisites

Physics I

### Programme

Conservative mechanical systems. Qualitative analysis of motion and Lyapunov stability. Planar systems and one-dimensional mechanical systems. Central motions and the two-body problem. Change of frames of reference. Fictitious forces. Constraints. Rigid bodies. Lagrangian mechanics: variational principles, cyclic variables, Routh method, constants of motion and symmetries. Hamiltonian mechanics: Liouville's theorem and Poincaré's recurrence theorem, canonical transformations, generating functions, Hamilton-Jacobi method and action-angle variables.

### Reference books

G. Gentile, Introduzione ai sistemi dinamici. 1. Equazioni differenziali ordinarie, analisi qualitativa e alcune applicazioni, Springer, Milano, 2021. G. Gentile, Introduzione ai sistemi dinamici. 2. Meccanica lagrangiana e hamiltoniana, Springer, Milano, 2022.

### Reference bibliography

V.I. Arnol'd, Metodi Matematici della Meccanica Classica. Editori Riuniti, (1979). G. Dell'Antonio, Elementi di Meccanica. Liguori Editore, (1996). A. Fasano & S. Marmi, Meccanica analitica. Bollati Boringhieri, (1994). G. Gallavotti, Meccanica Elementare. Bollati-Boringhieri, (1980). L.D. Landau & E.M. Lifshitz, Meccanica. Editori Riuniti, (1976).

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410015 - MECCANICA QUANTISTICA

**Docente:** LUBICZ VITTORIO

## Italiano

### Prerequisiti

Non sono previsti insegnamenti propedeutici a questo corso. È consigliata una conoscenza della fisica generale classica e delle basi del formalismo Hamiltoniano.

### Programma

Meccanica quantistica: Crisi della fisica classica. Onde e particelle. Vettori di stato ed operatori. Misure, osservabili e relazione di indeterminazione. Operatore di posizione. Traslazioni e impulso. Evoluzione temporale ed equazione di Schrödinger. Problemi unidimensionali. Parità. Oscillatore armonico. Simmetrie e leggi di conservazione. Teoria delle perturbazioni indipendenti dal tempo. Teoria delle perturbazioni dipendenti dal tempo. Rotazioni e momento angolare. Momento angolare orbitale. Spin. Composizione di momenti angolari. Particelle identiche. Atomo di idrogeno.

### Testi

Dispense disponibili sul sito del corso J.J. Sakurai, Jim Napolitano - Meccanica Quantistica Moderna - Zanichelli

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Il corso consiste in lezioni teoriche frontali, svolte dal docente titolare del corso, ed esercitazioni, svolte in parte dal docente titolare e in parte da un altro docente. Sia le lezioni che le esercitazioni vengono svolte in classe e alla lavagna (elettronica o a gesso). Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di svolgimento delle attività didattiche.

### Modalità di valutazione

L'esame consiste in una prova scritta, che prevede la risoluzione di uno o più esercizi, e di una prova orale, a cui si accede dopo il superamento della prova scritta. Tutti i compiti scritti di esame e quelli delle prove in itinere degli anni precedenti sono disponibili sul sito del corso. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le

modalità di valutazione degli studenti.

## English

### Prerequisites

No preparatory courses are planned for this course. A knowledge of classical general physics and of the basics of the Hamiltonian formalism is recommended.

### Programme

Quantum mechanics: The crisis of classical physics. Waves and particles. State vectors and operators. Measurements, observables and uncertainty relation. The position operator. Translations and momentum. Time evolution and the Schrödinger equation. One-dimensional problems. Parity. Harmonic oscillator. Symmetries and conservation laws. Time independent perturbation theory. Time dependent perturbation theory. Rotations and angular momentum. Spin. Angular momentum composition. Identical particles. The hydrogen atom.

### Reference books

Lecture notes available on the course website J.J. Sakurai, Jim Napolitano - Meccanica Quantistica Moderna - Zanichelli An english version of the book is also available: Sakurai J.J., Modern Quantum Mechanics - Addison-Wesley

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410015 - MECCANICA QUANTISTICA

**Docente:** TARANTINO CECILIA

## Italiano

### Prerequisiti

Non sono previsti insegnamenti propedeutici a questo corso. È consigliata una conoscenza della fisica generale classica e delle basi del formalismo Hamiltoniano.

### Programma

Meccanica quantistica: Crisi della fisica classica. Onde e particelle. Vettori di stato ed operatori. Misure, osservabili e relazione di indeterminazione. Operatore di posizione. Traslazioni e impulso. Evoluzione temporale ed equazione di Schrödinger. Problemi unidimensionali. Parità. Oscillatore armonico. Simmetrie e leggi di conservazione. Teoria delle perturbazioni indipendenti dal tempo. Teoria delle perturbazioni dipendenti dal tempo. Rotazioni e momento angolare. Momento angolare orbitale. Spin. Composizione di momenti angolari. Particelle identiche. Atomo di idrogeno.

### Testi

Dispense disponibili sul sito del corso J.J. Sakurai, Jim Napolitano - Meccanica Quantistica Moderna - Zanichelli

### Bibliografia di riferimento

R.P. Feynman et al. - La Fisica di Feynman, Volume III - Masson L. Landau e E. Lifschitz - Meccanica Quantistica - Editori Riuniti S. Gasiorowicz - Quantum Physics - J.Wiley & Sons

### Modalità erogazione

Il corso consiste in lezioni teoriche frontali, svolte dal docente titolare del corso, ed esercitazioni, svolte in parte dal docente titolare e in parte da un altro docente. Sia le lezioni che le esercitazioni vengono svolte in classe e alla lavagna (elettronica o a gesso). Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di svolgimento delle attività didattiche.

### Modalità di valutazione

L'esame consiste in una prova scritta, che prevede la risoluzione di uno o più esercizi, e di una prova orale, a cui si accede dopo il superamento della prova scritta. Tutti i compiti scritti di esame e quelli delle prove in itinere degli anni precedenti sono disponibili sul sito del corso. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di valutazione degli studenti.

## English

### Prerequisites

No preparatory courses are planned for this course. A knowledge of classical general physics and of the basics of the Hamiltonian formalism is recommended.

### Programme

Quantum mechanics: The crisis of classical physics. Waves and particles. State vectors and operators. Measurements, observables and uncertainty relation. The position operator. Translations and momentum. Time evolution and the Schrödinger equation. One-dimensional problems. Parity. Harmonic oscillator. Symmetries and conservation laws. Time independent perturbation theory. Time dependent perturbation theory. Rotations and angular momentum. Orbital angular momentum. Spin. Angular momentum composition.

Identical particles. The hydrogen atom.

### Reference books

Lecture notes available on the course website J.J. Sakurai, Jim Napolitano - Meccanica Quantistica Moderna - Zanichelli An english version of the book is also available: Sakurai J.J., Modern Quantum Mechanics - Addison-Wesley

### Reference bibliography

R.P. Feynman et al. - The Feynman Lectures on Physics, Volume III - Addison Wesley Also in "The Feynman Lectures on Physics on line" - feynmanlectures.caltech.edu - Caltech L. Landau e E. Lifschitz - Quantum Mechanics: Non-Relativistic Theory - Elsevier Butterworth-Heinemann S. Gasiorowicz - Quantum Physics - J.Wiley & Sons

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20401813 - METODI MATEMATICI PER LA FISICA

Canale:N0

Docente: DEGRASSI GIUSEPPE

### Italiano

### Prerequisiti

Per poter aggiungere i risultati di apprendimento attesi, lo studente deve avere familiarità con il calcolo integrale e differenziale nel campo dei reali ed avere una buona conoscenza del concetto di spazio vettoriale.

### Programma

Parte I: Funzioni di variabile complessa - Richiami sui numeri complessi - Funzioni analitiche - Integrazione delle funzioni di variabile complessa - Sviluppi in serie - Integrali con i residui - Sviluppi asintotici - Distribuzioni Parte II: Spazi vettoriali e problemi agli autovalori - Spazi lineari finito-dimensionali - Spazi euclidei - Problema agli autovalori - Funzioni di matrice - Spazi lineari astratti - Problema agli autovalori in spazi infinito dimensionali - Trasformata di Fourier Parte III: Operatori integrali e differenziali - Operatori integrali ed equazioni integrali - Operatori autoaggiunti di Sturm-Liouville - Equazioni alle derivate parziali del primo ordine

### Testi

C. Bernardini, O. Ragnisco and P.M. Santini Metodi matematici della Fisica, NIS 1993 B. Chabat, M. Lavrentiev Methodes de la Theorie des fonctions d'une variable complexe, MIR 1972 A. I. Markusevic Elementi di teoria delle funzioni analitiche, Editori Riuniti 1988 F. Bagarello Fisica Matematica, Zanichelli, 2007 P. A. Grassi Esercizi di metodi matematici, Casa Editrice Ambrosiana, 2018

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Al fine di conseguire i risultati di apprendimento attesi, lo svolgimento delle lezioni avverrà tramite lezioni frontali alla lavagna che prevederanno anche un congruo numero di esercitazioni per permettere allo studente di applicare quanto appreso a lezione a problemi facilmente riscontrabili in fisica. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di svolgimento delle attività didattiche e della valutazione degli studenti.

### Modalità di valutazione

La verifica dell'apprendimento avviene in primo luogo attraverso il superamento di due prove scritte in itinere (esoneri) nei mesi di Novembre e Gennaio o, in assenza di risultato positivo ad entrambi gli esoneri, attraverso il superamento di un compito scritto. Sia esoneri che scritti hanno la durata di due ore e sono organizzati in modo da prevedere lo svolgimento di tre esercizi su una rosa di quattro dai quali lo studente può attingere. I compiti scritti sono finalizzati a verificare il livello di comprensione effettiva dei concetti e la capacità degli studenti di applicarli in problemi di fisica ricorrenti a tutti gli indirizzi di studio. Tutti i compiti di esame (e quelli degli esoneri) degli anni precedenti [dall'anno accademico 2017-2018] sono disponibili sul sito del corso: [http://dmf.matfis.uniroma3.it/fisica/triennale/scheda\\_corso.php?id=1179](http://dmf.matfis.uniroma3.it/fisica/triennale/scheda_corso.php?id=1179). L'esame si intende superato se, oltre a riportare la sufficienza nei compiti scritti, lo studente sarà in grado di superare una prova orale basata su domande estratte dal programma del corso. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di svolgimento delle attività didattiche e della valutazione degli studenti. In particolare si applicheranno le seguenti modalità: SCRITTO La prova scritta preselettiva avverrà in remoto tramite l'utilizzo della piattaforma Microsoft Teams con le seguenti modalità: - il docente provvederà a creare una "riunione" su Teams e inviare AI SOLI ISCRITTI ALLO SCRITTO IN GOMP il link per partecipare alla riunione; - accettato il link, lo studente dovrà identificarsi accendendo la telecamera e il microfono del proprio device; questi resteranno accesi durante l'intero svolgimento della prova; - la prova verrà fornita sotto forma di file pdf a partire dall'orario prestabilito (tramite piattaforma Teams); - lo studente dovrà concentrarsi esclusivamente sul monitor, senza distrazioni, evitando di allontanarsi dalla portata della webcam o altri comportamenti che inducano a ritenere l'utilizzo di supporti non autorizzati; - il docente chiederà al candidato di inquadrare il tavolo, sul quale non deve esserci nulla al di fuori del device usato per la connessione a Teams, fogli bianchi per scrivere e penna, e l'ambiente circostante (la parete o la stanza a seconda di come è disposta la scrivania) al fine di verificare che non siano presenti altre persone; - il docente inviterà il candidato a posizionare la sua videocamera in maniera che sia inquadrato a 'mezzobusto', includendo nell'inquadratura le mani e le orecchie scoperte, al fine di verificare che non abbia cellulare o appunti, né auricolari con i quali ricevere comunicazioni; - al termine delle due ore previste, la prova viene dichiarata chiusa e lo studente avrà 10 minuti di tempo per inviare l'elaborato al docente; si può procedere ad una scansione delle pagine del compito, tutte debitamente firmate, oppure a fotografare le singole pagine. I files così ottenuti possono essere caricati su Teams o, in alternativa, inviate per email al docente. In entrambi i casi l'ora ufficiale di consegna (riportata nella chat di Teams o nell'intestazione dell'email) non dovrà eccedere le due ore e dieci minuti. ORALE La prova orale avverrà in remoto tramite l'utilizzo della piattaforma Microsoft Teams con le seguenti modalità: -

allo studente e' fatta richiesta di munirsi di due devices dotati di telecamera (ad esempio pc e tablet); - il docente provvedera' a creare una "riunione" su Teams e inviare AI SOLI ISCRITTI ALL'ORALE IN GOMP il link per partecipare alla riunione; data la richiesta di due devices, ogni studente riceverà due inviti a due indirizzi emails differenti, entrambi caricati previamente su GOMP; - accettato il link, lo studente dovrà identificarsi accendendo la telecamera e il microfono di uno dei devices a disposizione; questi resteranno accesi durante l'intero svolgimento della prova; - uno dei due devices verrà utilizzato per inquadrare lo studente mentre il tablet potrà essere utilizzato per scrivere le risposte alle domande in modalità sharing su Teams (in alternativa, in mancanza di tablet, questo può essere sostituito da altro strumento dotato di telecamera che punti sul foglio su cui lo studente sta scrivendo); - lo studente dovrà concentrarsi esclusivamente sul monitor, senza distrazioni, evitando di allontanarsi dalla portata della webcam o altri comportamenti che inducano a ritenere l'utilizzo di supporti non autorizzati; - il docente chiederà al candidato di inquadrare il tavolo, sul quale non deve esserci niente al di fuori dei devices utilizzati per la connessione (oppure fogli bianchi per scrivere e penna) e l'ambiente circostante (la parete o la stanza a seconda di come è disposta la scrivania) al fine di verificare che non siano presenti altre persone; - il docente inviterà il candidato a posizionare la sua videocamera in maniera che sia inquadrato a 'mezzobusto', includendo nell'inquadratura le mani e le orecchie scoperte, al fine di verificare che non abbia ulteriori cellulari/tablets o appunti, né auricolari con i quali ricevere comunicazioni. Si avvisa che, qualora durante la prova orale si dovesse perdere la connessione, si riprenderà il colloquio formulando una nuova domanda sostitutiva della precedente. Si prega di contattare il docente per eventuali chiarimenti

## English

### Prerequisites

In order to achieve the expected results at the end of the course, the student must be familiar with the standard integral and differential calculus and have a good knowledge of the concept of vector space.

### Programme

Section I: Complex variable functions - Complex numbers - Analytic functions - Integration of complex functions - Power series - Integration using the Residue theorem - Asymptotic expansions - Distributions Section II: Vector spaces and eigenvalue problems - Vector spaces - Euclidean spaces - Eigenvalue problems in  $N$  and infinite-dimensional vector spaces - Function of a matrix - Fourier transform Section III: Integral and differential operators - Integral operators and integral equations - Sturm-Liouville operators - First order partial differential equations

### Reference books

C. Bernardini, O. Ragnisco and P.M. Santini Metodi matematici della Fisica, NIS 1993 B. Chabat, M. Lavrentiev Methodes de la Theorie des fonctions d'une variable complexe, MIR 1972 A. I. Markusevic Elementi di teoria delle funzioni analitiche, Editori Riuniti 1988 F. Bagarello Fisica Matematica, Zanichelli, 2007 P. A. Grassi Esercizi di metodi matematici, Casa Editrice Ambrosiana, 2018

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20401813 - METODI MATEMATICI PER LA FISICA

**Canale:**N0

**Docente:** MELONI DAVIDE

## Italiano

### Prerequisiti

Per poter aggiungere i risultati di apprendimento attesi, lo studente deve avere familiarità con il calcolo integrale e differenziale nel campo dei reali ed avere una buona conoscenza del concetto di spazio vettoriale.

### Programma

Parte I: Funzioni di variabile complessa - Richiami sui numeri complessi - Funzioni analitiche - Integrazione delle funzioni di variabile complessa - Sviluppi in serie - Integrali con i residui - Sviluppi asintotici - Distribuzioni Parte II: Spazi vettoriali e problemi agli autovalori - Spazi lineari finito-dimensionali - Spazi euclidei - Problema agli autovalori - Funzioni di matrice - Spazi lineari astratti - Problema agli autovalori in spazi infinito dimensionali - Trasformata di Fourier Parte III: Operatori integrali e differenziali - Operatori integrali ed equazioni integrali - Operatori autoaggiunti di Sturm-Liouville - Equazioni alle derivate parziali del primo ordine

### Testi

C. Bernardini, O. Ragnisco and P.M. Santini Metodi matematici della Fisica, NIS 1993 B. Chabat, M. Lavrentiev Methodes de la Theorie des fonctions d'une variable complexe, MIR 1972 A. I. Markusevic Elementi di teoria delle funzioni analitiche, Editori Riuniti 1988 F. Bagarello Fisica Matematica, Zanichelli, 2007 P. A. Grassi Esercizi di metodi matematici, Casa Editrice Ambrosiana, 2018

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Al fine di conseguire i risultati di apprendimento attesi, lo svolgimento delle lezioni avverrà tramite lezioni frontali alla lavagna che prevederanno anche un congruo numero di esercitazioni per permettere allo studente di applicare quanto appreso a lezioni a problemi facilmente riscontrabili in fisica. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di svolgimento delle attività didattiche e della valutazione degli studenti. In particolare, le lezioni verranno tenute in remoto tramite applicativo Microsoft Teams, e l'eventuale materiale didattico caricato sulla piattaforma Moodle.

## Modalità di valutazione

La verifica dell'apprendimento avviene in primo luogo attraverso il superamento di due prove scritte in itinere (esoneri) nei mesi di Novembre e Gennaio o, in assenza di risultato positivo ad entrambi gli esoneri, attraverso il superamento di un compito scritto. Sia esoneri che scritti hanno la durata di due ore e sono organizzati in modo da prevedere lo svolgimento di tre esercizi su una rosa di quattro dai quali lo studente può attingere. I compiti scritti sono finalizzati a verificare il livello di comprensione effettiva dei concetti e la capacità degli studenti di applicarli in problemi di fisica ricorrenti a tutti gli indirizzi di studio. Tutti i compiti di esame (e quelli degli esoneri) degli anni precedenti [dall'anno accademico 2017-2018] sono disponibili sul sito del corso: [http://dmf.matfis.uniroma3.it/fisica/triennale/scheda\\_corso.php?id=1179](http://dmf.matfis.uniroma3.it/fisica/triennale/scheda_corso.php?id=1179). L'esame si intende superato se, oltre a riportare la sufficienza nei compiti scritti, lo studente sarà in grado di superare una prova orale basata su domande estratte dal programma del corso. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di svolgimento delle attività didattiche e della valutazione degli studenti. In particolare si applicheranno le seguenti modalità: SCRITTO La prova scritta preselettiva avverrà in remoto tramite l'utilizzo della piattaforma Microsoft Teams con le seguenti modalità: - il docente provvederà a creare una "riunione" su Teams e inviare AI SOLI ISCRITTI ALLO SCRITTO IN GOMP il link per partecipare alla riunione; - accettato il link, lo studente dovrà identificarsi accendendo la telecamera e il microfono del proprio device; questi resteranno accesi durante l'intero svolgimento della prova; - la prova verrà fornita sotto forma di file pdf a partire dall'orario prestabilito (tramite piattaforma Teams); - lo studente dovrà concentrarsi esclusivamente sul monitor, senza distrazioni, evitando di allontanarsi dalla portata della webcam o altri comportamenti che inducano a ritenere l'utilizzo di supporti non autorizzati; - il docente chiederà al candidato di inquadrare il tavolo, sul quale non deve esserci nulla al di fuori del device usato per la connessione a Teams, fogli bianchi per scrivere e penna, e l'ambiente circostante (la parete o la stanza a seconda di come è disposta la scrivania) al fine di verificare che non siano presenti altre persone; - il docente inviterà il candidato a posizionare la sua videocamera in maniera che sia inquadrato a 'mezzobusto', includendo nell'inquadratura le mani e le orecchie scoperte, al fine di verificare che non abbia cellulari o appunti, né auricolari con i quali ricevere comunicazioni; - al termine delle due ore previste, la prova viene dichiarata chiusa e lo studente avrà 10 minuti di tempo per inviare l'elaborato al docente; si può procedere ad una scansione delle pagine del compito, tutte debitamente firmate, oppure a fotografare le singole pagine. I files così ottenuti possono essere caricati su Teams o, in alternativa, inviate per email al docente. In entrambi i casi l'ora ufficiale di consegna (riportata nella chat di Teams o nell'intestazione dell'email) non dovrà eccedere le due ore e dieci minuti. ORALE La prova orale avverrà in remoto tramite l'utilizzo della piattaforma Microsoft Teams con le seguenti modalità: - allo studente è fatta richiesta di munirsi di due devices dotati di telecamera (ad esempio pc e tablet); - il docente provvederà a creare una "riunione" su Teams e inviare AI SOLI ISCRITTI ALL'ORALE IN GOMP il link per partecipare alla riunione; data la richiesta di due devices, ogni studente riceverà due inviti a due indirizzi emails differenti, entrambi caricati previamente su GOMP; - accettato il link, lo studente dovrà identificarsi accendendo la telecamera e il microfono di uno dei devices a disposizione; questi resteranno accesi durante l'intero svolgimento della prova; - uno dei due devices verrà utilizzato per inquadrare lo studente mentre il tablet potrà essere utilizzato per scrivere le risposte alle domande in modalità sharing su Teams (in alternativa, in mancanza di tablet, questo può essere sostituito da altro strumento dotato di telecamera che punti sul foglio su cui lo studente sta scrivendo); - lo studente dovrà concentrarsi esclusivamente sul monitor, senza distrazioni, evitando di allontanarsi dalla portata della webcam o altri comportamenti che inducano a ritenere l'utilizzo di supporti non autorizzati; - il docente chiederà al candidato di inquadrare il tavolo, sul quale non deve esserci niente al di fuori dei devices utilizzati per la connessione (oppure fogli bianchi per scrivere e penna) e l'ambiente circostante (la parete o la stanza a seconda di come è disposta la scrivania) al fine di verificare che non siano presenti altre persone; - il docente inviterà il candidato a posizionare la sua videocamera in maniera che sia inquadrato a 'mezzobusto', includendo nell'inquadratura le mani e le orecchie scoperte, al fine di verificare che non abbia ulteriori cellulari/tablets o appunti, né auricolari con i quali ricevere comunicazioni. Si avvisa che, qualora durante la prova orale si dovesse perdere la connessione, si riprenderà il colloquio formulando una nuova domanda sostitutiva della precedente. Si prega di contattare il docente per eventuali chiarimenti

## English

### Prerequisites

In order to achieve the expected results at the end of the course, the student must be familiar with the standard integral and differential calculus and have a good knowledge of the concept of vector space.

### Programme

Section I: Complex variable functions - Complex numbers - Analytic functions - Integration of complex functions - Power series - Integration using the Residue theorem - Asymptotic expansions - Distributions Section II: Vector spaces and eigenvalue problems - Vector spaces - Euclidean spaces - Eigenvalue problems in N and infinite-dimensional vector spaces - Function of a matrix - Fourier transform Section III: Integral and differential operators - Integral operators and integral equations - Sturm-Liouville operators - First order partial differential equations

### Reference books

C. Bernardini, O. Ragnisco and P.M. Santini Metodi matematici della Fisica, NIS 1993 B. Chabat, M. Lavrentiev Methodes de la Theorie des fonctions d'une variable complexe, MIR 1972 A. I. Markusevic Elementi di teoria delle funzioni analitiche, Editori Riuniti 1988 F. Bagarello Fisica Matematica, Zanichelli, 2007 P. A. Grassi Esercizi di metodi matematici, Casa Editrice Ambrosiana, 2018

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410499 - Principi di Astrofisica

**Docente:** LA FRANCA FABIO

## Italiano

### Prerequisiti

nessuno

## Programma

Argomenti Parte A • Coordinate e Telescopi • Elementi di Spettroscopia • Stelle ed Evoluzione Stellare • Galassie • Nuclei Galattici Attivi  
Programma A - Panoramica generale - Coordinate celesti (1.3) - Telescopi e potere risolutivo (6.1) - Distanza di parallasse (3.1) - Flusso, luminosità, magnitudini apparenti ed assolute, colori (3.2, 3.3, 3.6) - Il corpo nero (3.4, 3.5) - Diagramma di Hertzsprung-Russel (8.2) - Ammassi aperti e globulari: posizione, popolazioni stellari e diagramma HR (13.3) - Nane bianche, Novae e SuperNovae (cenni in 15 e 16) - La classificazione delle galassie (24.1) - La curva di rotazione delle galassie e la materia oscura (25.3) - Il centro della Galassia ed il suo Black Hole (25.4) - Legge di Hubble ed espansione dell'Universo (27.2) - Probabilità di collisione tra stelle e tra galassie (dispense) - Buchi Neri: cenni di Relatività Generale (cenni nel 17) - Nuclei Galattici Attivi (28.1, 28.2, 28.3) Argomenti Parte B • Struttura ed evoluzione stellare • Elementi di Spettroscopia • Distanze ed espansione dell'Universo • Galassie • GRB e onde gravitazionali  
Programma B - Dischi di Accrescimento ed emissione X nei Nuclei Galattici Attivi (28.2) - Stelle di Neutroni e Pulsars (cenni in 16.6, 16.7) - Gamma Ray Bursts (dispense) - Onde Gravitazionali (dispense) - Spettroscopia: eq. di Boltzmann-eccitazione e di Saha-ionizzazione (8.1) - Spettroscopia: misure di velocità, temperatura e densità (8.5) - Eq. di struttura delle stelle, tempo e instabilità di Kelvin-Helmholtz (11.1-4) - Le reazioni nucleari dell'idrogeno (11.3) - Massa di Jeans del collasso gravitazionale, tempo di free-fall e Initial Mass Function (12.2, 12.3) - La Via Lattea (25.1, 25.2) - La metallicità (25.2) - Transito di Venere e misura della distanza Terra-Sole (dispense) - Scala delle distanze (27.1) - Legge di Hubble, espansione dell'Universo (27.2) - Gruppo Locale, Ammassi di Galassie, Struttura su Larga Scala dell'Universo (27.3) - Il Big Bang e la radiazione di fondo (brevi cenni in 29.2 e dispense) Fra parentesi i paragrafi da "An Introduction to Modern Astrophysics II ed.- B.W. Carrol, D.A. Ostlie - Ed. Pearson, Addison Wesley" (copie delle edizioni precedenti sono disponibili in biblioteca). La trattazione nel corso è stata semplificata rispetto a quanto riportato nel testo). Testo alternativo in italiano: Attilio Ferrari, Stelle, Galassie, Universo - Fondamenti di Astrofisica - Ed. Springer

## Testi

La copia delle dispense lezioni puo# essere scaricata dal sito web del corso. Fra parentesi i paragrafi da "An Introduction to Modern Astrophysics, II ed. - B.W. Carrol, D.A. Ostlie - Ed. Pearson, Addison Wesley" (copie disponibili in biblioteca). La trattazione nel corso e# stata semplificata rispetto a quanto riportato nel testo. Testo alternativo in italiano: Attilio Ferrari, Stelle, Galassie, Universo - Fondamenti di Astrofisica - Ed. Springer

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

lezioni tradizionali in aula

## Modalità di valutazione

Modalita# di esame: presentare oralmente un argomento a piacere e rispondere ad alcune domande sul resto del programma. Le domande tipiche consisteranno nel chiedere di esporre una delle altre tematiche elencate nel programma

## English

## Prerequisites

none

## Programme

Topics Part A • Coordinates and Telescopes • Elements of Spectroscopy • Stars and Stellar Evolution • Galaxies • Active Galactic Nuclei  
Program Part A • Overview • Celestial coordinates (1.3) • Telescopes and resolving power (6.1) • Parallax distance (3.1) • Flux, brightness, apparent and absolute magnitudes, colors (3.2, 3.3, 3.6) • The black body (3.4, 3.5) • Hertzsprung-Russel diagram (8.2) • Open and globular clusters: position, stellar populations and HR diagram (13.3) • White dwarfs, Novae and SuperNovae (notes and partly in 15 and 16) • The classification of galaxies (24.1) • The rotation curve of galaxies and dark matter (25.3) • The center of the Galaxy and its Black Hole (25.4) • Hubble's law and expansion of the Universe (27.2) • Probability of collision between stars and galaxies (handouts) • Black Holes: outline of General Relativity (outline 17) • Active Galactic Nuclei (28.1, 28.2, 28.3) Topics Part B • Structure and stellar evolution • Elements of Spectroscopy • Distances and expansion of the Universe • Galaxies • GRB and gravitational waves  
Program Part B • Accretion disks and X-ray emission in Active Galactic Nuclei (28.2) • Stars of Neutrons and Pulsars (16.6, 16.7) • Gamma Ray Bursts (handouts) • Gravitational Waves (lecture notes) • Spectroscopy: eq. Boltzmann-excitation and Saha-ionization (8.1) • Spectroscopy: speed, temperature and density measurements (handouts) • Eq. of star structure, time and Kelvin-Helmholtz instability (11.1-4) • Nuclear reactions of hydrogen (11.3) • Jeans mass of gravitational collapse, free-fall time and Initial Mass Function (12.2, 12.3) • The Milky Way and the local group (25.1, 25.2) • Metallicity (25.2) • Transit of Venus and measurement of the Earth-Sun distance (handouts) • Distance scale (27.1) • Hubble's law and expansion of the Universe (27.2) • Local Group, Clusters of Galaxies, large scale structure of the Universe (27.3) • The Big Bang and the background radiation (29.2 brief notes and lecture notes)

## Reference books

A copy of the lecture notes can be downloaded from the course website. In brackets, the paragraphs from "An Introduction to Modern Astrophysics, II ed. - B.W. Carrol, D.A. Ostlie - Ed. Pearson, Addison Wesley" (copies available in the library). The discussion in the course has been simplified compared to what is reported in the text. Alternative text in Italian: Attilio Ferrari, Stars, Galaxies, Universe - Fundamentals of Astrophysics - Ed. Springer

## Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20410499 - Principi di Astrofisica

**Docente:** MATT GIORGIO

**Italiano**

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

Argomenti Parte A • Coordinate e Telescopi • Elementi di Spettroscopia • Stelle ed Evoluzione Stellare • Galassie • Nuclei Galattici Attivi  
 Programma A - Panoramica generale - Coordinate celesti (1.3) - Telescopi e potere risolutivo (6.1) - Distanza di parallasse (3.1) - Flusso, luminosità, magnitudini apparenti ed assolute, colori (3.2, 3.3, 3.6) - Il corpo nero (3.4, 3.5) - Diagramma di Hertzsprung-Russel (8.2) - Ammassi aperti e globulari: posizione, popolazioni stellari e diagramma HR (13.3) - Nane bianche, Novae e SuperNovae (cenni in 15 e 16) - La classificazione delle galassie (24.1) - La curva di rotazione delle galassie e la materia oscura (25.3) - Il centro della Galassia ed il suo Black Hole (25.4) - Legge di Hubble ed espansione dell'Universo (27.2) - Probabilità di collisione tra stelle e tra galassie (dispense) - Buchi Neri: cenni di Relatività Generale (cenni nel 17) - Nuclei Galattici Attivi (28.1, 28.2, 28.3) Argomenti Parte B • Struttura ed evoluzione stellare • Elementi di Spettroscopia • Distanze ed espansione dell'Universo • Galassie • GRB e onde gravitazionali Programma B - Dischi di Accrescimento ed emissione X nei Nuclei Galattici Attivi (28.2) - Stelle di Neutroni e Pulsars (cenni in 16.6, 16.7) - Gamma Ray Bursts (dispense) - Onde Gravitazionali (dispense) - Spettroscopia: eq. di Boltzmann-eccitazione e di Saha-ionizzazione (8.1) - Spettroscopia: misure di velocità, temperatura e densità (8.5) - Eq. di struttura delle stelle, tempo e instabilità di Kelvin-Helmholtz (11.1-4) - Le reazioni nucleari dell'idrogeno (11.3) - Massa di Jeans del collasso gravitazionale, tempo di free-fall e Initial Mass Function (12.2, 12.3) - La Via Lattea (25.1, 25.2) - La metallicità (25.2) - Transito di Venere e misura della distanza Terra-Sole (dispense) - Scala delle distanze (27.1) - Legge di Hubble, espansione dell'Universo (27.2) - Gruppo Locale, Ammassi di Galassie, Struttura su Larga Scala dell'Universo (27.3) - Il Big Bang e la radiazione di fondo (breve cenni in 29.2 e dispense) Fra parentesi i paragrafi da "An Introduction to Modern Astrophysics II ed.- B.W. Carrol, D.A. Ostlie - Ed. Pearson, Addison Wesley" (copie delle edizioni precedenti sono disponibili in biblioteca). La trattazione nel corso è stata semplificata rispetto a quanto riportato nel testo). Testo alternativo in italiano: Attilio Ferrari, Stelle, Galassie, Universo - Fondamenti di Astrofisica - Ed. Springer

### Testi

La copia delle dispense lezioni puo# essere scaricata dal sito web del corso. Fra parentesi i paragrafi da "An Introduction to Modern Astrophysics, II ed. - B.W. Carrol, D.A. Ostlie - Ed. Pearson, Addison Wesley" (copie disponibili in biblioteca). La trattazione nel corso e# stata semplificata rispetto a quanto riportato nel testo. Testo alternativo in italiano: Attilio Ferrari, Stelle, Galassie, Universo - Fondamenti di Astrofisica - Ed. Springer

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

lezioni tradizionali in aula

### Modalità di valutazione

Modalita# di esame: presentare oralmente un argomento a piacere e rispondere ad alcune domande sul resto del programma. Le domande tipiche consisteranno nel chiedere di esporre una delle altre tematiche elencate nel programma.

**English**

### Prerequisites

none

### Programme

Topics Part A • Coordinates and Telescopes • Elements of Spectroscopy • Stars and Stellar Evolution • Galaxies • Active Galactic Nuclei  
 Program Part A • Overview • Celestial coordinates (1.3) • Telescopes and resolving power (6.1) • Parallax distance (3.1) • Flux, brightness, apparent and absolute magnitudes, colors (3.2, 3.3, 3.6) • The black body (3.4, 3.5) • Hertzsprung-Russel diagram (8.2) • Open and globular clusters: position, stellar populations and HR diagram (13.3) • White dwarfs, Novae and SuperNovae (notes and partly in 15 and 16) • The classification of galaxies (24.1) • The rotation curve of galaxies and dark matter (25.3) • The center of the Galaxy and its Black Hole (25.4) • Hubble's law and expansion of the Universe (27.2) • Probability of collision between stars and galaxies (handouts) • Black Holes: outline of General Relativity (outline 17) • Active Galactic Nuclei (28.1, 28.2, 28.3) Topics Part B • Structure and stellar evolution • Elements of Spectroscopy • Distances and expansion of the Universe • Galaxies • GRB and gravitational waves Program Part B • Accretion disks and X-ray emission in Active Galactic Nuclei (28.2) • Stars of Neutrons and Pulsars (16.6, 16.7) • Gamma Ray Bursts (handouts) • Gravitational Waves (lecture notes) • Spectroscopy: eq. Boltzmann-excitation and Saha-ionization (8.1) • Spectroscopy: speed, temperature and density measurements (handouts) • Eq. of star structure, time and Kelvin-Helmholtz instability (11.1-4) • Nuclear reactions of hydrogen (11.3) • Jeans mass of gravitational collapse, free-fall time and Initial Mass Function (12.2, 12.3) • The Milky Way and the local group (25.1, 25.2) • Metallicity (25.2) • Transit of Venus and measurement of the Earth-Sun distance (handouts) • Distance scale (27.1) • Hubble's law and expansion of the Universe (27.2) • Local Group, Clusters of Galaxies, large scale structure of the Universe (27.3) • The Big Bang and the background radiation (29.2 brief notes and lecture notes)

### Reference books

A copy of the lecture notes can be downloaded from the course website. In brackets, the paragraphs from "An Introduction to Modern Astrophysics, II ed. - B.W. Carrol, D.A. Ostlie - Ed. Pearson, Addison Wesley" (copies available in the library). The discussion in the course has been simplified compared to what is reported in the text. Alternative text in Italian: Attilio Ferrari, Stars, Galaxies, Universe - Fundamentals of Astrophysics - Ed. Springer

### Reference bibliography

-  
**Study modes**

-

**Exam modes**

-

## 20410018 - PRINCIPI DI ASTROFISICA-MODULO A

**Docente:** LA FRANCA FABIO

### Italiano

#### Prerequisiti

nessuno

#### Programma

Argomenti • Coordinate e Telescopi • Elementi di Spettroscopia • Stelle ed Evoluzione Stellare • Galassie • Nuclei Galattici Attivi  
Programma A - Panoramica generale - Coordinate celesti (1.3) - Telescopi e potere risolutivo (6.1) - Distanza di parallasse (3.1) - Flusso, luminosità, magnitudini apparenti ed assolute, colori (3.2, 3.3, 3.6) - Il corpo nero (3.4, 3.5) - Diagramma di Hertzsprung-Russel (8.2) - Ammassi aperti e globulari: posizione, popolazioni stellari e diagramma HR (13.3) - Nane bianche, Novae e SuperNovae (cenni in 15 e 16) - La classificazione delle galassie (24.1) - La curva di rotazione delle galassie e la materia oscura (25.3) - Il centro della Galassia ed il suo Black Hole (25.4) - Legge di Hubble ed espansione dell'Universo (27.2) - Probabilità di collisione tra stelle e tra galassie (dispense) - Buchi Neri: cenni di Relatività Generale (cenni nel 17) - Nuclei Galattici Attivi (28.1, 28.2, 28.3) Fra parentesi i paragrafi da "An Introduction to Modern Astrophysics, II ed. - B.W. Carrol, D.A. Ostlie - Ed. Pearson, Addison Wesley" (copie delle edizioni precedenti sono disponibili in biblioteca). La trattazione nel corso è stata semplificata rispetto a quanto riportato nel testo. Testo alternativo in italiano: Attilio Ferrari, Stelle, Galassie, Universo - Fondamenti di Astrofisica - Ed. Springer

#### Testi

La copia delle dispense lezioni puo# essere scaricata dal sito web del corso. Fra parentesi i paragrafi da "An Introduction to Modern Astrophysics, II ed. - B.W. Carrol, D.A. Ostlie - Ed. Pearson, Addison Wesley" (copie disponibili in biblioteca). La trattazione nel corso e# stata semplificata rispetto a quanto riportato nel testo. Testo alternativo in italiano: Attilio Ferrari, Stelle, Galassie, Universo - Fondamenti di Astrofisica - Ed. Springer

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Lezioni alla lavagna con l'ausilio di proiezioni di immagini, grafici e filmati. Svolgimento di alcuni esercizi.

#### Modalità di valutazione

Modalita# di esame: presentare oralmente un argomento a piacere e rispondere ad alcune domande sul resto del programma. Le domande tipiche consisteranno nel chiedere di esporre una delle altre tematiche elencate nel programma

### English

#### Prerequisites

none

#### Programme

Arguments • Coordinates and Telescopes • Elements of Spectroscopy • Stars and Stellar Evolution • Galaxies • Active Galactic Nuclei  
Program A • Overview • Celestial coordinates (1.3) • Telescopes and resolving power (6.1) • Parallax distance (3.1) • Flux, brightness, apparent and absolute magnitudes, colors (3.2, 3.3, 3.6) • The black body (3.4, 3.5) • Hertzsprung-Russel diagram (8.2) • Open and globular clusters: position, stellar populations and HR diagram (13.3) • White dwarfs, Novae and SuperNovae (notes and partly in 15 and 16) • The classification of galaxies (24.1) • The rotation curve of galaxies and dark matter (25.3) • The center of the Galaxy and its Black Hole (25.4) • Hubble's law and expansion of the Universe (27.2) • Probability of collision between stars and galaxies (handouts) • Black Holes: outline of General Relativity (outline 17) • Active Galactic Nuclei (28.1, 28.2, 28.3)

#### Reference books

A copy of the lecture notes can be downloaded from the course website. In brackets, the paragraphs from "An Introduction to Modern Astrophysics, II ed. - B.W. Carrol, D.A. Ostlie - Ed. Pearson, Addison Wesley" (copies available in the library). The discussion in the course is has been simplified compared to what is reported in the text. Alternative text in Italian: Attilio Ferrari, Stars, Galaxies, Universe - Fundamentals of Astrophysics - Ed. Springer

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410614 - Principi di Fisica delle Particelle e delle Astroparticelle

**Docente:** DI NARDO ROBERTO

## Italiano

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

Le particelle elementari e le interazioni fondamentali. Gli strumenti per studiarle. Le scoperte recenti e i problemi aperti nella fisica delle particelle elementari e astroparticelle: il bosone di Higgs e le sue proprietà, l'unificazione delle forze, le onde gravitazionali, la ricerca della materia oscura, le proprietà dei neutrini, l'asimmetria materia-antimateria nell'universo.

### Testi

dispense fornite dal docente

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Il corso consiste in lezioni frontali supportate dall'utilizzo di videoproiettore.

### Modalità di valutazione

L'esame consiste in un colloquio orale sugli argomenti trattati nel corso

## English

### Prerequisites

none

### Programme

Elementary particles and fundamental interactions. The tools to study them. Recent discoveries and open problems in the physics of elementary particles and astroparticles: the Higgs boson and its properties, the unification of forces, waves gravitational, the search for dark matter, the properties of neutrinos, matter-antimatter asymmetry in the universe

### Reference books

handouts provided by the teacher

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410720 - Principi di fisica Terrestre e Cambiamenti Climatici

**Docente:** PETTINELLI ELENA

## Italiano

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

La terra come pianeta. Origine ed evoluzione della Terra. Interazione Terra-Sole. La Terra come sistema dinamico: geosfera, atmosfera, idrosfera, criosfera. Metodi di misura dei parametri fisici di interesse della fisica terrestre e dell'atmosfera. Problemi aperti in fisica terrestre e cambiamenti climatici.

### Testi

materiale fornito dal docente

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

le lezioni si svolgono in aula, in modalità tradizionale

### Modalità di valutazione

l'esame si svolge unicamente come colloquio orale

## English

### Prerequisites

none

### Programme

The earth as a planet. Origin and evolution of the Earth. Earth-Sun interaction. The Earth as a dynamic system: geosphere, atmosphere, hydrosphere, cryosphere. Methods of measurement of physical parameters of interest to terrestrial and atmospheric physics. Open problems in terrestrial physics and climate change.

### Reference books

material provided by the teacher

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410498 - Principi di Materia Condensata

**Docente:** GALLO PAOLA

### Italiano

#### Prerequisiti

Nessun prerequisito

#### Programma

Il corso completo consta di due parti svolte da due docenti. Programma della prima parte (20 ore): Introduzione alla meccanica Statistica Introduzione alla fisica dei liquidi e della materia soffice. Quantità termodinamiche, quantità strutturali e quantità dinamiche per lo studio di liquidi e materia soffice, biomateria inclusa. Introduzione alla fisica dei vetri e dei sistemi disordinati. Introduzione alla fisica dei solidi.

#### Testi

Prima parte: Dispense fornite dal docente

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Il corso completo consta di due parti svolte da due docenti. Modalità di svolgimento della prima parte: Lezioni frontali con uso della lavagna e di diapositive/presentazioni. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di svolgimento delle attività didattiche e della valutazione degli studenti. In particolare le lezioni si terranno online in diretta su teams e il materiale sarà messo su moodle.

#### Modalità di valutazione

La prova d'esame è scritta e consiste in tre domande a cui rispondere. Le prime due riguardano la prima parte del corso e la terza riguarda la seconda parte del corso. Verranno valutate l'esattezza della risposta e il livello di comprensione del fenomeno e la chiarezza descrittiva nel caso in cui si richieda una risposta estesa. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di svolgimento delle attività didattiche e della valutazione degli studenti. In particolare se necessario gli esami si terranno online con teams.

### English

#### Prerequisites

No preliminary knowledge

#### Programme

The complete course consists of two parts held by two teachers. Program of the first part (20 hours): Introduction to statistical mechanics Introduction to the physics of liquids and soft matter. Thermodynamic quantities, structural quantities and dynamic quantities for the study of liquids and soft matter, including biomatter. Introduction to the physics of glasses and disordered systems. Introduction to the physics of solids.

#### Reference books

First part: Notes provided by the teacher

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

## Exam modes

-

## 20430003 - Statistica per l'Analisi dei Dati

**Docente:** MARI STEFANO MARIA

### Italiano

#### Prerequisiti

nessuno

#### Programma

1. Probabilità e Statistica (6 ore): introduzione alla probabilità, variabili aleatorie e inferenza statistica. Statistica descrittiva: misure di tendenza centrale e dispersione. Introduzione ai tipi di dati e alle distribuzioni. 2. Distribuzioni di Probabilità (10 ore): densità di probabilità (PDF) e funzioni cumulative (CDF). Probabilità condizionata, distribuzioni congiunte e distribuzioni marginali. Teorema di Bayes. 3. Distribuzioni di Probabilità Fondamentali e Teoremi Limite (5 ore): distribuzioni di probabilità comuni (es. normale, binomiale, Poisson). La Legge dei Grandi Numeri e le sue applicazioni. Il Teorema del Limite Centrale e la sua importanza. 4. Likelihood (8 ore): introduzione alle funzioni di Likelihood. Proprietà della stima dei parametri con la funzione Likelihood. Applicazioni. 5. Test del Chi-Quadrato (8 ore): Distribuzione chi-quadrato e sue proprietà. Test del chi-quadrato. Proprietà ed esempi. 6. Fit e goodness-of-Fit (8 ore): Metodi per valutare fit di dati con l'assunzione di modelli statistici. Interpretazione dei risultati e test di ipotesi. Applicazioni. 7. Esercitazioni (15 ore)

#### Testi

"A Modern Introduction to Probability and Statistics" – F.M. Dekking, C. Kraaikamp, H.P. Lopuhaä, L. E. Meester "Bayesian Reasoning in Data Analysis" – G. D'Agostini

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Testi da definire

#### Modalità di valutazione

l'esame consiste in una prova scritta a cui potrà seguire, eventualmente, un colloquio orale

### English

#### Prerequisites

none

#### Programme

1. Introduction to Probability and Statistics (6h): basic concepts of probability, random variables, and statistical inference. Descriptive statistics: measures of central tendency and dispersion. Introduction to data types and distributions. 2. Probability Distributions (10h): Probability density functions (PDFs) and cumulative distribution functions (CDFs). Conditional probability, joint distributions, and marginal distributions. Bayes' theorem. 3. Key Probability Distributions and Limit Theorems (5h): common probability distributions (e.g., normal, binomial, Poisson). The Law of Large Numbers and its applications. The Central Limit Theorem and its significance. 4. Maximum Likelihood Estimation (8h): Introduction to likelihood functions. Principles and methods of maximum likelihood estimation. Application of maximum likelihood estimation. 5. Chi-Square Tests (8h): Chi-square distribution and its properties. Chi-square goodness-of-fit tests. Chi-square tests for independence. 6. Goodness-of-Fit Testing (8h): Methods for assessing the fit of statistical models to data. Interpretation of goodness-of-fit results. Practical application of goodness of fit tests. 7. Practice (15h)

#### Reference books

"A Modern Introduction to Probability and Statistics" – F.M. Dekking, C. Kraaikamp, H.P. Lopuhaä, L. E. Meester "Bayesian Reasoning in Data Analysis" – G. D'Agostini

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

#### Exam modes

-