

DIDATTICA EROGATA 2026/2027

Fisica (LM-17 R)

Dipartimento: MATEMATICA E FISICA

Codice CdS: 104655

INSEGNAMENTI

Primo anno

Primo semestre

20430043 - FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA (- PHYS-04/A - 8 CFU - 80 ore - ITA)

Curricula: Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali - Fisica Teorica e Computazionale della Materia

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
GALLO PAOLA	60	Carico didattico	
RANIERI FLAVIO	20	Affidamento a titolo gratuito	

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20430043 FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA in Fisica LM-17 R GALLO PAOLA	60	
Mutuato da: 20430043 FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA in Fisica LM-17 R Ranieri Flavio	20	
Mutuato da: 20430043 FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA in Fisica LM-17 R GALLO PAOLA	60	
Mutuato da: 20430043 FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA in Fisica LM-17 R Ranieri Flavio	20	
Mutuato da: 20430043 FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA in Fisica LM-17 R GALLO PAOLA	60	
Mutuato da: 20430043 FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA in Fisica LM-17 R Ranieri Flavio	20	
Mutuato da: 20430043 FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA in Fisica LM-17 R GALLO PAOLA	60	
Mutuato da: 20430043 FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA in Fisica LM-17 R Ranieri Flavio	20	
Mutuato da: 20430043 FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA in Fisica LM-17 R GALLO PAOLA	60	
Mutuato da: 20430043 FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA in Fisica LM-17 R Ranieri Flavio	20	
Mutuato da: 20430043 FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA in Fisica LM-17 R GALLO PAOLA	60	
Mutuato da: 20430043 FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA in Fisica LM-17 R Ranieri Flavio	20	

20410581 - FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI (- PHYS-01/A - 8 CFU - 80 ore - ITA)

Curricula: Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali - Fisica Teorica e Computazionale della Materia

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
DI MICCO BIAGIO	64	Carico didattico	
ORESTANO DOMIZIA	16	Carico didattico	

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 R DI MICCO BIAGIO	64	
Mutuato da: 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 R ORESTANO DOMIZIA	16	
Mutuato da: 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 R DI MICCO BIAGIO	64	
Mutuato da: 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 R ORESTANO DOMIZIA	16	
Mutuato da: 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 R DI MICCO BIAGIO	64	

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 R ORESTANO DOMIZIA	16	
Mutuato da: 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 R DI MICCO BIAGIO	64	
Mutuato da: 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 R ORESTANO DOMIZIA	16	
Mutuato da: 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 R DI MICCO BIAGIO	64	
Mutuato da: 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 R ORESTANO DOMIZIA	16	
Mutuato da: 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 R DI MICCO BIAGIO	64	
Mutuato da: 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 R ORESTANO DOMIZIA	16	

20401904 - FISICA TEORICA I (- PHYS-02/A - 8 CFU - 68 ore - ITA)

Curricula: Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali - Fisica Teorica e Computazionale della Materia

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
DEGRASSI GIUSEPPE	68	Carico didattico	N0

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20401904 FISICA TEORICA I in Fisica LM-17 R N0 DEGRASSI GIUSEPPE	68	N0
Mutuato da: 20401904 FISICA TEORICA I in Fisica LM-17 R N0 DEGRASSI GIUSEPPE	68	N0
Mutuato da: 20401904 FISICA TEORICA I in Fisica LM-17 R N0 DEGRASSI GIUSEPPE	68	N0
Mutuato da: 20401904 FISICA TEORICA I in Fisica LM-17 R N0 DEGRASSI GIUSEPPE	68	N0
Mutuato da: 20401904 FISICA TEORICA I in Fisica LM-17 R N0 DEGRASSI GIUSEPPE	68	N0
Mutuato da: 20401904 FISICA TEORICA I in Fisica LM-17 R N0 DEGRASSI GIUSEPPE	68	N0

Secondo semestre

20401878 - ASTROFISICA EXTRAGALATTICA (- PHYS-05/A - 6 CFU - 60 ore - ITA)

Curricula: Astrofisica e cosmologia - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
LA FRANCA FABIO	50	Carico didattico	N0
RICCI FEDERICA	10	Carico didattico	N0

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20401878 ASTROFISICA EXTRAGALATTICA in Fisica LM-17 R N0 LA FRANCA FABIO	50	
Mutuato da: 20401878 ASTROFISICA EXTRAGALATTICA in Fisica LM-17 R N0 RICCI FEDERICA	10	

20410041 - ASTROFISICA GENERALE (- PHYS-05/A - 6 CFU - 60 ore - ITA)

Curricula: Astrofisica e cosmologia - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
BIANCHI STEFANO	60	Carico didattico	

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410041 ASTROFISICA GENERALE in Fisica LM-17 R BIANCHI STEFANO	60	

20402214 - ASTROFISICA STELLARE (- PHYS-05/A - 6 CFU - 48 ore - ITA)

Curricula: Astrofisica e cosmologia - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
VENTURA PAOLO	48	Affidamento in convenzione	N0

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20402214 ASTROFISICA STELLARE in Fisica LM-17 R N0 VENTURA PAOLO	48	

20410084 - COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD A (- MATH-04/A - 3 CFU - 30 ore - ITA)

Curricula: Didattica e Comunicazione scientifica

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410084 COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD A in Fisica L-30 R REUVERS Robin Johannes Petrus	30	

20410085 - COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD. B (- MATH-04/A - 3 CFU - 30 ore - ITA)

Curricula: Didattica e Comunicazione scientifica

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410085 COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD. B in Fisica L-30 R GENTILE GUIDO	30	

20410502 - DIDATTICA DELLA FISICA (- PHYS-06/B - 8 CFU - 64 ore - ITA)

Curricula: Didattica e Comunicazione scientifica

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
Da assegnare	48	Bando	

20410590 - DIDATTICA DELLA FISICA (- PHYS-06/B - 6 CFU - 64 ore - ITA)

Curricula: Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Fruito da: 20410502 DIDATTICA DELLA FISICA in Fisica LM-17 R	64	

20402211 - COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA (- PHYS-02/A - 6 CFU - 60 ore - ITA)

Curricula: Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali - Fisica Teorica e Computazionale della Materia

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
FRANCESCHINI ROBERTO	44	Carico didattico	
FRANCESCHINI ROBERTO	44	Carico didattico	
FRANCESCHINI ROBERTO	16	Affidamento a titolo gratuito	
FRANCESCHINI ROBERTO	16	Affidamento a titolo gratuito	

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20402211 COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA in Fisica LM-17 R FRANCESCHINI ROBERTO	44	
Mutuato da: 20402211 COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA in Fisica LM-17 R FRANCESCHINI ROBERTO	44	
Mutuato da: 20402211 COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA in Fisica LM-17 R FRANCESCHINI ROBERTO	44	

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20402211 COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA in Fisica LM-17 R FRANCESCHINI ROBERTO	44	
Mutuato da: 20402211 COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA in Fisica LM-17 R FRANCESCHINI ROBERTO	44	
Mutuato da: 20402211 COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA in Fisica LM-17 R FRANCESCHINI ROBERTO	44	

20410503 - DIDATTICA DELLA MATEMATICA (- MATH-01/B - 6 CFU - 60 ore - ITA)

Curricula: Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Fruito da: 20410456 MC420-DIDATTICA DELLA MATEMATICA in Matematica LM-40 R MAGRONE PAOLA	60	
Fruito da: 20410456 MC420-DIDATTICA DELLA MATEMATICA in Matematica LM-40 R MAGRONE PAOLA	60	

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

Curricula: Didattica e Comunicazione scientifica

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410023 ELEMENTI DI FISICA TEORICA CONTEMPORANEA in Fisica L-30 R LUBICZ VITTORIO	18	
Mutuato da: 20410023 ELEMENTI DI FISICA TEORICA CONTEMPORANEA in Fisica L-30 R TARANTINO CECILIA	2	

20410721 - Esplorazione spaziale e Fisica planetaria (- PHYS-05/B - 3 CFU - 24 ore - ITA)

Curricula: Didattica e Comunicazione scientifica

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410721 Esplorazione spaziale e Fisica planetaria in Fisica L-30 R PETTINELLI ELENA	24	

20410086 - ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA (- PHYS-05/A - 6 CFU - 50 ore - ITA)

Curricula: Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali - Fisica Teorica e Computazionale della Materia

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
URSINI FRANCESCO	30	Affidamento a titolo gratuito	
FRANCIA DARIO	20	Affidamento a titolo gratuito	

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410086 ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA in Fisica LM-17 R URSINI FRANCESCO	30	
Mutuato da: 20410086 ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA in Fisica LM-17 R FRANCIA DARIO	20	
Mutuato da: 20410086 ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA in Fisica LM-17 R URSINI FRANCESCO	30	
Mutuato da: 20410086 ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA in Fisica LM-17 R FRANCIA DARIO	20	
Mutuato da: 20410086 ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA in Fisica LM-17 R URSINI FRANCESCO	30	
Mutuato da: 20410086 ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA in Fisica LM-17 R FRANCIA DARIO	20	
Mutuato da: 20410086 ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA in Fisica LM-17 R URSINI FRANCESCO	30	
Mutuato da: 20410086 ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA in Fisica LM-17 R FRANCIA DARIO	20	

20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI - MOD. B (- PHYS-01/A - 6 CFU - 48 ore - ITA)

Curricula: Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
DI NARDO ROBERTO	32	Carico didattico	
PETRUCCI FABRIZIO	16	Carico didattico	

20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI MOD. A (- PHYS-01/A - 6 CFU - 48 ore - ITA)

Curricula: Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
DI NARDO ROBERTO	32	Carico didattico	
PETRUCCI FABRIZIO	16	Carico didattico	

20430044 - FOTONICA (- PHYS-03/A - 6 CFU - 48 ore - ITA)

Curricula: Fisica Sperimentale della Materia

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
GIANANI ILARIA	48	Carico didattico	

20410711 - Fisica dei Solidi e delle Nanostrutture - MOD A (- PHYS-03/A - 6 CFU - 48 ore - ITA)

Curricula: Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali - Fisica Teorica e Computazionale della Materia

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
DE SETA MONICA	24	Carico didattico	
DI GASPARE LUCIANA	24	Carico didattico	

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410711 Fisica dei Solidi e delle Nanostrutture - MOD A in Fisica LM-17 R DE SETA MONICA	24	
Mutuato da: 20410711 Fisica dei Solidi e delle Nanostrutture - MOD A in Fisica LM-17 R DI GASPARE LUCIANA	24	
Mutuato da: 20410711 Fisica dei Solidi e delle Nanostrutture - MOD A in Fisica LM-17 R DE SETA MONICA	24	
Mutuato da: 20410711 Fisica dei Solidi e delle Nanostrutture - MOD A in Fisica LM-17 R DI GASPARE LUCIANA	24	

20410879 - Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia (- PHYS-05/B - 6 CFU - 48 ore - ITA)

Curricula: Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PETTITA MARCELLO	40	Carico didattico	
CALMANTI SANDRO	20	Carico didattico	

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410879 Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia in Fisica LM-17 R PETTITA MARCELLO	40	
Mutuato da: 20410879 Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia in Fisica LM-17 R CALMANTI Sandro	20	

20410424 - IN450- ALGORITMI PER LA CRITTOGRAFIA (- INFO-01/A - 6 CFU - 60 ore - ITA)

Curricula: Fisica Teorica e Computazionale della Materia

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410424 IN450- ALGORITMI PER LA CRITTOGRAFIA in Matematica LM-40 R PEDICINI MARCO	60	

20410426 - IN480 - CALCOLO PARALLELO E DISTRIBUITO (- INFO-01/A - 6 CFU - 72 ore - ITA)

Curricula: Fisica Teorica e Computazionale della Materia

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410426 IN480 - CALCOLO PARALLELO E DISTRIBUITO in Matematica LM-40 R LOMBARDI FLAVIO		

20410459 - MC430 - LABORATORIO DI DIDATTICA DELLA MATEMATICA (- MATH-01/B - 6 CFU - 60 ore - ITA)

Curricula: Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Frutto da: 20411076 MC430 - LABORATORIO DI DIDATTICA DELLA MATEMATICA in Matematica LM-40 R FALCOLINI CORRADO	60	
Frutto da: 20411076 MC430 - LABORATORIO DI DIDATTICA DELLA MATEMATICA in Matematica LM-40 R FALCOLINI CORRADO	60	

20410879 - Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia (- PHYS-05/B - 6 CFU - 60 ore - ITA)

Curricula: Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PETTITA MARCELLO	40	Carico didattico	
CALMANTI SANDRO	20	Carico didattico	

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410879 Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia in Fisica LM-17 R PETTITA MARCELLO	40	
Mutuato da: 20410879 Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia in Fisica LM-17 R CALMANTI Sandro	20	

20402218 - FISICA TEORICA II (- PHYS-02/A - 6 CFU - 52 ore - ITA)

Curricula: Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali - Fisica Teorica e Computazionale della Materia

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
DEGRASSI GIUSEPPE	34	Carico didattico	N0
MELONI DAVIDE	12	Affidamento a titolo gratuito	N0
MELONI DAVIDE	12	Affidamento a titolo gratuito	N0
MELONI DAVIDE	6	Carico didattico	N0
MELONI DAVIDE	6	Carico didattico	N0

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20402218 FISICA TEORICA II in Fisica LM-17 R N0 DEGRASSI GIUSEPPE	34	
Mutuato da: 20402218 FISICA TEORICA II in Fisica LM-17 R N0 MELONI DAVIDE	6	

20410042 - FISICA TERRESTRE (- PHYS-05/B - 6 CFU - 48 ore - ITA)

Curricula: Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali - Fisica Teorica e Computazionale della Materia

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PETTINELLI ELENA	48	Carico didattico	

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410042 FISICA TERRESTRE in Fisica LM-17 R PETTINELLI ELENA	48	
Mutuato da: 20410042 FISICA TERRESTRE in Fisica LM-17 R PETTINELLI ELENA	48	
Mutuato da: 20410042 FISICA TERRESTRE in Fisica LM-17 R PETTINELLI ELENA	48	

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410042 FISICA TERRESTRE in Fisica LM-17 R PETTINELLI ELENA	48	

20410438 - MF410 - FINANZA COMPUTAZIONALE (- STAT-04/A - 6 CFU - 60 ore - ITA)

Curricula: Fisica Teorica e Computazionale della Materia

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Fruito da: 21201730 FINANZA COMPUTAZIONALE in Finanza e impresa LM-16 R CESARONE FRANCESCO	60	

20410429 - FS510 - METODO MONTECARLO (- PHYS-01/A - 6 CFU - 60 ore - ITA)

Curricula: Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali - Fisica Teorica e Computazionale della Materia

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
FRANCESCHINI ROBERTO	40	Carico didattico	
Da assegnare	20	Bando	

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410429 FS510 - METODO MONTECARLO in Fisica LM-17 R FRANCESCHINI ROBERTO	40	
Mutuato da: 20410429 FS510 - METODO MONTECARLO in Fisica LM-17 R		
Mutuato da: 20410429 FS510 - METODO MONTECARLO in Fisica LM-17 R FRANCESCHINI ROBERTO	40	
Mutuato da: 20410429 FS510 - METODO MONTECARLO in Fisica LM-17 R		

20410499 - Principi di Astrofisica (- PHYS-05/A - 6 CFU - 60 ore - ITA)

Curricula: Didattica e Comunicazione scientifica

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410499 Principi di Astrofisica in Fisica L-30 R LA FRANCA FABIO	40	
Mutuato da: 20410499 Principi di Astrofisica in Fisica L-30 R MATT GIORGIO	20	

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

Curricula: Didattica e Comunicazione scientifica

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 (- PHYS-01/A - 3 CFU - 24 ore - ITA)

Curricula: Didattica e Comunicazione scientifica

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410614 Principi di Fisica delle Particelle e delle Astroparticelle in Fisica L-30 R DI NARDO ROBERTO	24	

20410720 - Principi di fisica Terrestre e Cambiamenti Climatici (- PHYS-05/B - 3 CFU - 24 ore - ITA)

Curricula: Didattica e Comunicazione scientifica

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410720 Principi di fisica Terrestre e Cambiamenti Climatici in Fisica L-30 R PETTINELLI ELENA	24	

20410498 - Principi di Materia Condensata (- PHYS-04/A - 3 CFU - 30 ore - ITA)

Curricula: Didattica e Comunicazione scientifica

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410498 Principi di Materia Condensata in Fisica L-30 R GALLO PAOLA	20	
Mutuato da: 20410498 Principi di Materia Condensata in Fisica L-30 R CAPELLINI GIOVANNI	10	

20410719 - Sismologia generale (- PHYS-05/B - 6 CFU - 48 ore - ITA)

Curricula: Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
Da assegnare	24	Bando	

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410719 Sismologia generale in Fisica LM-17 R		

20430046 - SPETTROSCOPIA (- PHYS-03/A - 6 CFU - 48 ore - ITA)

Curricula: Fisica Sperimentale della Materia

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
RUOCCO ALESSANDRO	48	Carico didattico	

20410717 - Teorie Quantistiche della Materia (- PHYS-03/A - 8 CFU - 64 ore - ITA)

Curricula: Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Teorica e Computazionale della Materia

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
RAIMONDI ROBERTO	44	Affidamento a titolo gratuito	
RAIMONDI ROBERTO	44	Affidamento a titolo gratuito	
RAIMONDI ROBERTO	20	Carico didattico	
RAIMONDI ROBERTO	20	Carico didattico	

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410717 Teorie Quantistiche della Materia in Fisica LM-17 R RAIMONDI ROBERTO	20	

20410718 - Teorie Quantistiche della Materia - Mod. A (- PHYS-03/A - 6 CFU - 60 ore - ITA)

Curricula: Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Fruito da: 20410717 Teorie Quantistiche della Materia in Fisica LM-17 R RAIMONDI ROBERTO	60	

Secondo anno

Primo semestre

20402354 - MECCANICA STATISTICA (- FIS/02 - 6 CFU - 60 ore - ITA)

Curricula: Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Frutto da: 20401425 MECCANICA STATISTICA in Fisica LM-17 R LUPI LAURA	60	
Frutto da: 20401425 MECCANICA STATISTICA in Fisica LM-17 R LUPI LAURA	60	
Frutto da: 20401425 MECCANICA STATISTICA in Fisica LM-17 R LUPI LAURA	60	
Frutto da: 20401425 MECCANICA STATISTICA in Fisica LM-17 R LUPI LAURA	60	
Frutto da: 20401425 MECCANICA STATISTICA in Fisica LM-17 R LUPI LAURA	60	
Frutto da: 20401425 MECCANICA STATISTICA in Fisica LM-17 R LUPI LAURA	60	

20402215 - METODI SPERIMENTALI DI STRUTTURA DELLA MATERIA (- FIS/03 - 9 CFU - 84 ore - ITA)

Curricula: Fisica Sperimentale della Materia

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Frutto da: 20430046 SPETTROSCOPIA in Fisica LM-17 R RUOCO ALESSANDRO	84	

20410897 - Metodi sperimentali in Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti (- FIS/06 - 8 CFU - 82 ore - ITA)

Curricula: Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
LAURO SEBASTIAN EMANUEL	60	Affidamento a titolo gratuito	
LAURO SEBASTIAN EMANUEL	28	Carico didattico	
LAURO SEBASTIAN EMANUEL	28	Carico didattico	
LAURO SEBASTIAN EMANUEL	22	Affidamento a titolo gratuito	

20410584 - RETI COMPLESSE (- FIS/03 - 6 CFU - 60 ore - ITA)

Curricula: Fisica Teorica e Computazionale della Materia

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Frutto da: 20411003 FS520 – RETI COMPLESSE in Matematica LM-40 R GUARINO STEFANO	60	

20402155 - MISURE ASTROFISICHE (- FIS/05 - 6 CFU - 70 ore - ITA)

Curricula: Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
DE ROSA ALESSANDRA	40	Affidamento in convenzione	
LA FRANCA FABIO	30	Carico didattico	

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20402155 MISURE ASTROFISICHE in Fisica LM-17 R DE ROSA Alessandra	40	
Mutuato da: 20402155 MISURE ASTROFISICHE in Fisica LM-17 R LA FRANCA FABIO	30	
Mutuato da: 20402155 MISURE ASTROFISICHE in Fisica LM-17 R DE ROSA Alessandra	40	
Mutuato da: 20402155 MISURE ASTROFISICHE in Fisica LM-17 R LA FRANCA FABIO	30	
Mutuato da: 20402155 MISURE ASTROFISICHE in Fisica LM-17 R DE ROSA Alessandra	40	
Mutuato da: 20402155 MISURE ASTROFISICHE in Fisica LM-17 R LA FRANCA FABIO	30	

20410891 - SISMOLOGIA OSSERVAZIONALE (- GEO/10 - 6 CFU - 48 ore - ITA)

Curricula: Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410891 SISMOLOGIA OSSERVAZIONALE in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R		

Dettaglio	Ore	Canale
CAMMARANO FABIO		
Mutuato da: 20410891 SISMOLOGIA OSSERVAZIONALE in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R CAMMARANO FABIO		
Mutuato da: 20410891 SISMOLOGIA OSSERVAZIONALE in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R CAMMARANO FABIO		
Mutuato da: 20410891 SISMOLOGIA OSSERVAZIONALE in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R CAMMARANO FABIO		
Mutuato da: 20410891 SISMOLOGIA OSSERVAZIONALE in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R CAMMARANO FABIO		
Mutuato da: 20410891 SISMOLOGIA OSSERVAZIONALE in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R CAMMARANO FABIO		

20401000 - STRUMENTAZIONE FISICA PER LA MEDICINA E LA BIOLOGIA (- FIS/04 - 6 CFU - 48 ore - ITA)

Curricula: Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
FABBRI ANDREA	48	Affidamento in convenzione	

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20401000 STRUMENTAZIONE FISICA PER LA MEDICINA E LA BIOLOGIA in Fisica LM-17 R FABBRI ANDREA	48	
Mutuato da: 20401000 STRUMENTAZIONE FISICA PER LA MEDICINA E LA BIOLOGIA in Fisica LM-17 R FABBRI ANDREA	48	
Mutuato da: 20401000 STRUMENTAZIONE FISICA PER LA MEDICINA E LA BIOLOGIA in Fisica LM-17 R FABBRI ANDREA	48	

20430009 - Teoria dei Campi e Gravità (- FIS/02 - 6 CFU - 48 ore - ITA)

Curricula: Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
FRANCIA DARIO	48	Carico didattico	

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20430009 Teoria dei Campi e Gravità in Fisica LM-17 R FRANCIA DARIO	48	
Mutuato da: 20430009 Teoria dei Campi e Gravità in Fisica LM-17 R FRANCIA DARIO	48	
Mutuato da: 20430009 Teoria dei Campi e Gravità in Fisica LM-17 R FRANCIA DARIO	48	
Mutuato da: 20430009 Teoria dei Campi e Gravità in Fisica LM-17 R FRANCIA DARIO	48	
Mutuato da: 20430009 Teoria dei Campi e Gravità in Fisica LM-17 R FRANCIA DARIO	48	

20410610 - Terremoti e Deformazione crostale (- GEO/10 - 6 CFU - 48 ore - ITA)

Curricula: Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410610 Terremoti e Deformazione crostale in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R CULTRERA GIOVANNA	24	
Mutuato da: 20410610 Terremoti e Deformazione crostale in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R D'AGOSTINO NICOLA	24	
Mutuato da: 20410610 Terremoti e Deformazione crostale in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R CULTRERA GIOVANNA	24	
Mutuato da: 20410610 Terremoti e Deformazione crostale in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R D'AGOSTINO NICOLA	24	
Mutuato da: 20410610 Terremoti e Deformazione crostale in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R CULTRERA GIOVANNA	24	
Mutuato da: 20410610 Terremoti e Deformazione crostale in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R D'AGOSTINO NICOLA	24	

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410610 Terremoti e Deformazione crostale in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R CULTRERA GIOVANNA	24	
Mutuato da: 20410610 Terremoti e Deformazione crostale in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R D'AGOSTINO NICOLA	24	
Mutuato da: 20410610 Terremoti e Deformazione crostale in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R CULTRERA GIOVANNA	24	
Mutuato da: 20410610 Terremoti e Deformazione crostale in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R D'AGOSTINO NICOLA	24	
Mutuato da: 20410610 Terremoti e Deformazione crostale in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R CULTRERA GIOVANNA	24	
Mutuato da: 20410610 Terremoti e Deformazione crostale in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R D'AGOSTINO NICOLA	24	

20410901 - VULCANO-TETTONICA (- GEO/03 - 6 CFU - 48 ore - ITA)

Curricula: Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410901 VULCANO-TETTONICA in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R ACOCELLA VALERIO	48	
Mutuato da: 20410901 VULCANO-TETTONICA in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R ACOCELLA VALERIO	48	
Mutuato da: 20410901 VULCANO-TETTONICA in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R ACOCELLA VALERIO	48	
Mutuato da: 20410901 VULCANO-TETTONICA in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R ACOCELLA VALERIO	48	
Mutuato da: 20410901 VULCANO-TETTONICA in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R ACOCELLA VALERIO	48	
Mutuato da: 20410901 VULCANO-TETTONICA in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R ACOCELLA VALERIO	48	

20401070 - ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI (- FIS/04 - 6 CFU - 60 ore - ITA)

Curricula: Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
BRANCHINI PAOLO	60	Carico didattico	

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20401070 ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI in Fisica LM-17 R Branchini Paolo	60	
Mutuato da: 20401070 ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI in Fisica LM-17 R Branchini Paolo	60	
Mutuato da: 20401070 ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI in Fisica LM-17 R Branchini Paolo	60	

20410885 - Applicazioni della fisica delle particelle alla terapia medica (- FIS/04 - 6 CFU - 48 ore - ITA)

Curricula: Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
ATTILI ANDREA	48	Carico didattico	

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410885 Applicazioni della fisica delle particelle alla terapia medica in Fisica LM-17 R ATTILI Andrea	48	

20402143 - COSMOLOGIA (- FIS/05 - 8 CFU - 64 ore - ITA)

Curricula: Astrofisica e cosmologia

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
MAGLIOCCHETTI MANUELA	64	Affidamento in convenzione	N0

20401139 - FISICA DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI (- FIS/02 - 8 CFU - 64 ore - ITA)

Curricula: Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
TARANTINO CECILIA	64	Carico didattico	N0

20410427 - IN490 - LINGUAGGI DI PROGRAMMAZIONE (- INF/01 - 6 CFU - 72 ore - ITA)

Curricula: Fisica Teorica e Computazionale della Materia

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410427 IN490 - LINGUAGGI DI PROGRAMMAZIONE in Matematica LM-40 R LOMBARDI FLAVIO		

20402146 - ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE (- FIS/05 - 6 CFU - 60 ore - ITA)

Curricula: Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
BIANCHI STEFANO	60	Carico didattico	

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20402146 ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE in Fisica LM-17 R BIANCHI STEFANO	60	
Mutuato da: 20402146 ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE in Fisica LM-17 R BIANCHI STEFANO	60	
Mutuato da: 20402146 ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE in Fisica LM-17 R BIANCHI STEFANO	60	
Mutuato da: 20402146 ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE in Fisica LM-17 R BIANCHI STEFANO	60	
Mutuato da: 20402146 ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE in Fisica LM-17 R BIANCHI STEFANO	60	

20410506 - COSMOLOGIA (- FIS/05 - 6 CFU - 48 ore - ITA)

Curricula: Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Fruito da: 20402143 COSMOLOGIA in Fisica LM-17 R N0 MAGLIOCCHETTI Manuela	48	
Fruito da: 20402143 COSMOLOGIA in Fisica LM-17 R N0 MAGLIOCCHETTI Manuela	48	
Fruito da: 20402143 COSMOLOGIA in Fisica LM-17 R N0 MAGLIOCCHETTI Manuela	48	
Fruito da: 20402143 COSMOLOGIA in Fisica LM-17 R N0 MAGLIOCCHETTI Manuela	48	
Fruito da: 20402143 COSMOLOGIA in Fisica LM-17 R N0 MAGLIOCCHETTI Manuela	48	

20410877 - IN500 – QUANTUM COMPUTING (- INF/01 - 6 CFU - 10 ore - ITA)

Curricula: Fisica Teorica e Computazionale della Materia

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Fruito da: 20411002_2 IN510 – QUANTUM COMPUTING MODULO B in Matematica LM-40 R PEDICINI MARCO	10	

20410432 - IN550 – MACHINE LEARNING (- INF/01 - 6 CFU - 60 ore - ITA)

Curricula: Fisica Teorica e Computazionale della Materia

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410432 IN550 – MACHINE LEARNING in Matematica LM-40 R BONIFACI VINCENZO		

20410504 - INTRODUZIONE ALLA BIOLOGIA (- BIO/13 - 6 CFU - 48 ore - ITA)

Curricula: Didattica e Comunicazione scientifica

Mutuaioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Fruito da: 20440000 Introduzione alla Biologia in Scienze biologiche L-13 R BERARDINELLI FRANCESCO	48	
Fruito da: 20440000 Introduzione alla Biologia in Scienze biologiche L-13 R COLASANTI MARCO	48	
Fruito da: 20440000 Introduzione alla Biologia in Scienze biologiche L-13 R ROSSI MARIANNA NICOLETTA	48	

20410580 - Education & Outreach, la comunicazione della scienza (- FIS/08 - 6 CFU - 52 ore - ITA)

Curricula: Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
RAIMONDI ROBERTO	40	Carico didattico	
DE ANGELIS ILARIA	23	Carico didattico	

Mutuaioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410580 Education & Outreach, la comunicazione della scienza in Fisica LM-17 R RAIMONDI ROBERTO	40	
Mutuato da: 20410580 Education & Outreach, la comunicazione della scienza in Fisica LM-17 R DE ANGELIS ILARIA	23	
Mutuato da: 20410580 Education & Outreach, la comunicazione della scienza in Fisica LM-17 R RAIMONDI ROBERTO	40	
Mutuato da: 20410580 Education & Outreach, la comunicazione della scienza in Fisica LM-17 R DE ANGELIS ILARIA	23	
Mutuato da: 20410580 Education & Outreach, la comunicazione della scienza in Fisica LM-17 R RAIMONDI ROBERTO	40	
Mutuato da: 20410580 Education & Outreach, la comunicazione della scienza in Fisica LM-17 R DE ANGELIS ILARIA	23	
Mutuato da: 20410580 Education & Outreach, la comunicazione della scienza in Fisica LM-17 R RAIMONDI ROBERTO	40	
Mutuato da: 20410580 Education & Outreach, la comunicazione della scienza in Fisica LM-17 R DE ANGELIS ILARIA	23	
Mutuato da: 20410580 Education & Outreach, la comunicazione della scienza in Fisica LM-17 R RAIMONDI ROBERTO	40	
Mutuato da: 20410580 Education & Outreach, la comunicazione della scienza in Fisica LM-17 R DE ANGELIS ILARIA	23	

20401425 - MECCANICA STATISTICA (- FIS/02 - 8 CFU - 80 ore - ITA)

Curricula: Fisica Teorica e Computazionale della Materia

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
LUPI LAURA	60	Carico didattico	
LUPI LAURA	20	Affidamento a titolo gratuito	

20410585 - FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE (- FIS/03 - 6 CFU - 60 ore - ITA)

Curricula: Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali - Fisica Teorica e Computazionale della Materia

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
GALLO PAOLA	42	Affidamento a titolo gratuito	

Mutuaioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410585 FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE in Fisica LM-17 R GALLO PAOLA	42	
Mutuato da: 20410585 FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE in Fisica LM-17 R GALLO PAOLA	42	
Mutuato da: 20410585 FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE in Fisica LM-17 R GALLO PAOLA	42	
Mutuato da: 20410585 FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE in Fisica LM-17 R GALLO PAOLA	42	
Mutuato da: 20410585 FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE in Fisica LM-17 R GALLO PAOLA	42	

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410585 FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE in Fisica LM-17 R GALLO PAOLA	42	

20402259 - FISICA DEL CLIMA (- FIS/06 - 6 CFU - 48 ore - ITA)

Curricula: Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PETTITA MARCELLO	30	Carico didattico	
DELL'AQUILA ALESSANDRO	18	Carico didattico	

Mutuzioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20402259 FISICA DEL CLIMA in Fisica LM-17 R PETTITA MARCELLO	30	
Mutuato da: 20402259 FISICA DEL CLIMA in Fisica LM-17 R DELL'AQUILA Alessandro	18	
Mutuato da: 20402259 FISICA DEL CLIMA in Fisica LM-17 R PETTITA MARCELLO	30	
Mutuato da: 20402259 FISICA DEL CLIMA in Fisica LM-17 R DELL'AQUILA Alessandro	18	
Mutuato da: 20402259 FISICA DEL CLIMA in Fisica LM-17 R PETTITA MARCELLO	30	
Mutuato da: 20402259 FISICA DEL CLIMA in Fisica LM-17 R DELL'AQUILA Alessandro	18	
Mutuato da: 20402259 FISICA DEL CLIMA in Fisica LM-17 R PETTITA MARCELLO	30	
Mutuato da: 20402259 FISICA DEL CLIMA in Fisica LM-17 R DELL'AQUILA Alessandro	18	
Mutuato da: 20402259 FISICA DEL CLIMA in Fisica LM-17 R PETTITA MARCELLO	30	
Mutuato da: 20402259 FISICA DEL CLIMA in Fisica LM-17 R DELL'AQUILA Alessandro	18	

20410098 - FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI (- FIS/05 - 6 CFU - 48 ore - ITA)

Curricula: Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
TOSI FEDERICO	24	Affidamento in convenzione	
CLAUDI RICCARDO	24	Esperto di alta qualificazione retribuito	

Mutuzioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410098 FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI in Fisica LM-17 R CLAUDI Riccardo	24	
Mutuato da: 20410098 FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI in Fisica LM-17 R TOSI Federico	24	
Mutuato da: 20410098 FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI in Fisica LM-17 R CLAUDI Riccardo	24	
Mutuato da: 20410098 FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI in Fisica LM-17 R TOSI Federico	24	
Mutuato da: 20410098 FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI in Fisica LM-17 R CLAUDI Riccardo	24	
Mutuato da: 20410098 FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI in Fisica LM-17 R TOSI Federico	24	

20402026 - FISICA DELLA IONOSFERA E DELLA MAGNETOSFERA (- FIS/06 - 6 CFU - 48 ore - ITA)

Curricula: Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
SCOTTO CARLO	48	Affidamento in convenzione	

Mutuzioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20402026 FISICA DELLA IONOSFERA E DELLA MAGNETOSFERA in Fisica LM-17 R SCOTTO Carlo	48	
Mutuato da: 20402026 FISICA DELLA IONOSFERA E DELLA MAGNETOSFERA in Fisica LM-17 R SCOTTO Carlo	48	

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20402026 FISICA DELLA IONOSFERA E DELLA MAGNETOSFERA in Fisica LM-17 R SCOTTO Carlo	48	

20410051 - FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE (- FIS/03 - 6 CFU - 48 ore - ITA)

Curricula: Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
OFFI FRANCESCO	48	Carico didattico	

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410051 FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE in Fisica LM-17 R OFFI FRANCESCO	48	
Mutuato da: 20410051 FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE in Fisica LM-17 R OFFI FRANCESCO	48	
Mutuato da: 20410051 FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE in Fisica LM-17 R OFFI FRANCESCO	48	
Mutuato da: 20410051 FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE in Fisica LM-17 R OFFI FRANCESCO	48	

20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE (- FIS/04 - 6 CFU - 48 ore - ITA)

Curricula: Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
SALAMANNA GIUSEPPE	22	Carico didattico	
MARI STEFANO MARIA	21	Affidamento a titolo gratuito	
MARI STEFANO MARIA	3	Carico didattico	
SALAMANNA GIUSEPPE	2	Affidamento a titolo gratuito	

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410505 FISICA DELLE ASTROPARTICELLE in Fisica LM-17 R MARI STEFANO MARIA	24	
Mutuato da: 20410505 FISICA DELLE ASTROPARTICELLE in Fisica LM-17 R SALAMANNA GIUSEPPE	24	
Mutuato da: 20410505 FISICA DELLE ASTROPARTICELLE in Fisica LM-17 R MARI STEFANO MARIA	24	
Mutuato da: 20410505 FISICA DELLE ASTROPARTICELLE in Fisica LM-17 R SALAMANNA GIUSEPPE	24	
Mutuato da: 20410505 FISICA DELLE ASTROPARTICELLE in Fisica LM-17 R MARI STEFANO MARIA	24	
Mutuato da: 20410505 FISICA DELLE ASTROPARTICELLE in Fisica LM-17 R SALAMANNA GIUSEPPE	24	

20410097 - FOTONICA QUANTISTICA (- FIS/03 - 6 CFU - 48 ore - ITA)

Curricula: Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali - Fisica Teorica e Computazionale della Materia

Mutuazioni:

Dettaglio	Ore	Canale
Fruito da: 20430044 FOTONICA in Fisica LM-17 R GIANANI ILARIA	48	
Fruito da: 20430044 FOTONICA in Fisica LM-17 R GIANANI ILARIA	48	
Fruito da: 20430044 FOTONICA in Fisica LM-17 R GIANANI ILARIA	48	
Fruito da: 20430044 FOTONICA in Fisica LM-17 R GIANANI ILARIA	48	
Fruito da: 20430044 FOTONICA in Fisica LM-17 R GIANANI ILARIA	48	
Fruito da: 20430044 FOTONICA in Fisica LM-17 R GIANANI ILARIA	48	
Fruito da: 20430044 FOTONICA in Fisica LM-17 R GIANANI ILARIA	48	

20401859 - LABORATORIO DI FISICA SUBNUCLEARE (- FIS/04,FIS/01 - 8 CFU - 82 ore - ITA)

Curricula: Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari

Docenti:

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
MARI STEFANO MARIA	35	Carico didattico	

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
DI MICCO BIAGIO	29	Affidamento a titolo gratuito	
DI MICCO BIAGIO	29	Carico didattico	
MONTEREALI FEDERICO	9	Affidamento di incarico retribuito	
Da assegnare	9	Bando	
Da assegnare	9	Bando	

INCARICHI DIDATTICI DEL CORSO DI LAUREA

Nominativo	Tot.Ore	Tipo incarico	Ore	Attività didattica
ATTILI ANDREA	48	Carico didattico	48	20410885 - Applicazioni della fisica delle particelle alla terapia medica
BIANCHI STEFANO	120	Carico didattico	60	20402146 - ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE
		Carico didattico	60	20410041 - ASTROFISICA GENERALE
BRANCHINI PAOLO	60	Carico didattico	60	20401070 - ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI
CALMANTI SANDRO	20	Carico didattico	20	20410879 - Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia
CLAUDI RICCARDO	24	Esperto di alta qualificazione retribuito	24	20410098 - FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI
DE ANGELIS ILARIA	23	Carico didattico	23	20410580 - Education & Outreach, la comunicazione della scienza
DE ROSA ALESSANDRA	40	Affidamento in convenzione	40	20402155 - MISURE ASTROFISICHE
DE SETA MONICA	24	Carico didattico	24	20410711 - Fisica dei Solidi e delle Nanostrutture - MOD A
DEGRASSI GIUSEPPE	102	Carico didattico	68	20401904 - FISICA TEORICA I
		Carico didattico	34	20402218 - FISICA TEORICA II
DELL'AQUILA ALESSANDRO	18	Carico didattico	18	20402259 - FISICA DEL CLIMA
DI GASPARE LUCIANA	24	Carico didattico	24	20410711 - Fisica dei Solidi e delle Nanostrutture - MOD A
DI MICCO BIAGIO	93	Carico didattico	64	20410581 - FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI
		Carico didattico	29	20401859 - LABORATORIO DI FISICA SUBNUCLEARE
		Affidamento a titolo gratuito	29	20401859 - LABORATORIO DI FISICA SUBNUCLEARE
		Carico didattico	29	20401859 - LABORATORIO DI FISICA SUBNUCLEARE
		Affidamento a titolo gratuito	29	20401859 - LABORATORIO DI FISICA SUBNUCLEARE
DI NARDO ROBERTO	64	Carico didattico	32	20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)
		Carico didattico	32	20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)
FABBRI ANDREA	48	Affidamento in convenzione	48	20401000 - STRUMENTAZIONE FISICA PER LA MEDICINA E LA BIOLOGIA
FRANCESCHINI ROBERTO	100	Carico didattico	40	20402211 - COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA
		Affidamento a titolo gratuito	44	20402211 - COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA
		Carico didattico	40	20402211 - COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA
		Affidamento a titolo gratuito	16	20402211 - COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA
		Carico didattico	40	20410429 - FS510 - METODO MONTECARLO
FRANCIA DARIO	68	Affidamento a titolo gratuito	20	20410086 - ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA
		Carico didattico	48	20430009 - Teoria dei Campi e Gravità
GALLO PAOLA	102	Affidamento a titolo gratuito	42	20410585 - FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE
		Carico didattico	60	20430043 - FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA
GIANANI ILARIA	48	Carico didattico	48	20430044 - FOTONICA
LA FRANCA FABIO	80	Carico didattico	50	20401878 - ASTROFISICA EXTRAGALATTICA
		Carico didattico	30	20402155 - MISURE ASTROFISICHE
LAURO SEBASTIAN EMANUEL	82	Carico didattico	28	20410897 - Metodi sperimentali in Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti
		Affidamento a titolo gratuito	60	20410897 - Metodi sperimentali in Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti
		Carico didattico	28	20410897 - Metodi sperimentali in Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti
		Affidamento a titolo gratuito	22	20410897 - Metodi sperimentali in Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti
LUPI LAURA	80	Carico didattico	60	20401425 - MECCANICA STATISTICA
		Affidamento a titolo gratuito	20	20401425 - MECCANICA STATISTICA
MAGLIOCCHETTI MANUELA	64	Affidamento in convenzione	64	20402143 - COSMOLOGIA
MARI STEFANO MARIA	59	Carico didattico	3	20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE
		Affidamento a titolo gratuito	21	20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE
		Carico didattico	3	20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE
		Affidamento a titolo gratuito	21	20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE
		Carico didattico	3	20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE
		Affidamento a titolo gratuito	21	20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE
MELONI DAVIDE	18	Carico didattico	6	20402218 - FISICA TEORICA II
		Affidamento a titolo gratuito	6	20402218 - FISICA TEORICA II
		Carico didattico	12	20402218 - FISICA TEORICA II
		Affidamento a titolo gratuito	12	20402218 - FISICA TEORICA II
MONTEREALI FEDERICO	9	Affidamento di incarico retribuito	9	20401859 - LABORATORIO DI FISICA SUBNUCLEARE
OFFI FRANCESCO	48	Carico didattico	48	20410051 - FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE
ORESTANO DOMIZIA	16	Carico didattico	16	20410581 - FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI

Nominativo	Tot.Ore	Tipo incarico	Ore	Attività didattica
PETITTA MARCELLO	70	Carico didattico	30	20402259 - FISICA DEL CLIMA
		Carico didattico	40	20410879 - Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia
PETRUCCI FABRIZIO	32	Carico didattico	16	20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)
		Carico didattico	16	20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)
PETTINELLI ELENA	48	Carico didattico	48	20410042 - FISICA TERRESTRE
RAIMONDI ROBERTO	104	Carico didattico	40	20410580 - Education & Outreach, la comunicazione della scienza
		Carico didattico	20	20410717 - Teorie Quantistiche della Materia
		Affidamento a titolo gratuito	44	20410717 - Teorie Quantistiche della Materia
		Carico didattico	20	20410717 - Teorie Quantistiche della Materia
		Affidamento a titolo gratuito	44	20410717 - Teorie Quantistiche della Materia
RANIERI FLAVIO	20	Affidamento a titolo gratuito	20	20430043 - FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA
RICCI FEDERICA	10	Carico didattico	10	20401878 - ASTROFISICA EXTRAGALATTICA
RUOCCO ALESSANDRO	48	Carico didattico	48	20430046 - SPETTROSCOPIA
SALAMANNA GIUSEPPE	24	Carico didattico	22	20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE
		Affidamento a titolo gratuito	2	20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE
		Carico didattico	22	20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE
		Affidamento a titolo gratuito	2	20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE
		Carico didattico	22	20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE
SCOTTO CARLO	48	Affidamento in convenzione	48	20402026 - FISICA DELLA IONOSFERA E DELLA MAGNETOSFERA
			48	20401139 - FISICA DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI
TARANTINO CECILIA	64	Carico didattico	64	20401139 - FISICA DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI
TOSI FEDERICO	24	Affidamento in convenzione	24	20410098 - FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI
URSINI FRANCESCO	30	Affidamento a titolo gratuito	30	20410086 - ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA
VENTURA PAOLO	48	Affidamento in convenzione	48	20402214 - ASTROFISICA STELLARE
DOCENTE NON DEFINITO	110	Bando	48	20410502 - DIDATTICA DELLA FISICA
		Bando	20	20410429 - FS510 - METODO MONTECARLO
		Bando	9	20401859 - LABORATORIO DI FISICA SUBNUCLEARE
		Bando	9	20401859 - LABORATORIO DI FISICA SUBNUCLEARE
		Bando	24	20410719 - Sismologia generale
Totale ore	2162			

CONTENUTI DIDATTICI

20401070 - ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI

Docente: Branchini Paolo

Italiano

Prerequisiti

Il corso richiede una preparazione di base nelle discipline scientifiche, in particolare conoscenze elementari di matematica (algebra, funzioni e concetti introduttivi di probabilità) e di fisica. È inoltre richiesta una familiarità di base con l'utilizzo del computer e degli strumenti informatici più comuni. Non sono richieste conoscenze pregresse di programmazione, elettronica digitale, machine learning o calcolo quantistico, in quanto tali argomenti saranno introdotti e sviluppati durante il corso.

Programma

Il corso introduce i principali sistemi di acquisizione dati e i fondamenti dell'elettronica digitale, partendo dall'algebra di Boole e dalle porte logiche fino ad arrivare a memorie e processori. Verranno inoltre presentati i concetti di base del calcolo quantistico e delle porte logiche quantistiche. La seconda parte del corso sarà dedicata alla programmazione scientifica in Python, con esercitazioni di laboratorio finalizzate all'acquisizione e all'elaborazione dei dati e al controllo di un braccio robotico. Saranno quindi introdotti i principi del machine learning, partendo dai modelli di Ising, utilizzati anche in applicazioni di trigger e selezione degli eventi negli esperimenti di fisica. Le esercitazioni pratiche riguarderanno problemi di classificazione e l'addestramento di modelli di apprendimento automatico. Il corso si concluderà con un'introduzione al quantum computing attraverso l'utilizzo del simulatore IBM Quantum e di sistemi quantistici reali, mostrando le basi del quantum machine learning e le sue applicazioni elementari alla classificazione dei dati. Risultati di apprendimento attesi: al termine del corso lo studente avrà acquisito competenze di base sui sistemi di acquisizione dati, sull'elettronica digitale, sulla programmazione in Python, sulle tecniche fondamentali di machine learning e sui principi del calcolo e dell'apprendimento automatico quantistico.

Testi

Per gli argomenti relativi all'elettronica digitale, ai sistemi di acquisizione dati (DAQ) e trigger, nonché all'introduzione al calcolo quantistico, il docente fornirà dispense e materiale didattico integrativo. Come testi di riferimento e approfondimento si consigliano: a) M. A. Nielsen, I. L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press. b) J. Watrous, Understanding Quantum Information and Computation, Cambridge University Press. c) Dispense del corso di Elettronica Digitale. d) Appunti e materiale didattico del corso sui sistemi di Data Acquisition (DAQ) e Trigger. Il materiale fornito dal docente sarà comunque sufficiente per la preparazione dell'esame e per lo svolgimento delle attività di laboratorio.

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Le lezioni si svolgeranno prevalentemente in presenza, con didattica frontale alla lavagna, al fine di favorire l'interazione diretta con gli studenti e la comprensione graduale dei concetti teorici. La trattazione degli argomenti sarà supportata dall'utilizzo di slide e di materiale didattico integrativo. In casi specifici potranno essere previsti interventi seminariali o testimonianze da remoto da parte di esperti del settore. Le attività di laboratorio saranno svolte mediante esercitazioni pratiche assistite, con particolare attenzione alla programmazione in Python e alle applicazioni di machine learning e calcolo quantistico.

Modalità di valutazione

La verifica dell'apprendimento consisterà in una prova pratica e in una prova orale, che si svolgeranno nella medesima giornata. La prova pratica sarà finalizzata a valutare le competenze acquisite nell'ambito della programmazione, dell'analisi dei dati e delle attività di laboratorio svolte durante il corso. La prova orale verterà sugli argomenti teorici trattati, con particolare riferimento ai sistemi di acquisizione dati, all'elettronica digitale, al machine learning e ai fondamenti del calcolo quantistico. La valutazione finale terrà conto dell'esito complessivo di entrambe le prove.

English

Prerequisites

The course requires a basic background in scientific disciplines, specifically elementary knowledge of mathematics (algebra, functions, and introductory probability concepts) and physics. Basic familiarity with using computers and common software tools is also required. No prior knowledge of programming, digital electronics, machine learning, or quantum computing is required, as these topics will be introduced and developed during the course.

Programme

The course introduces the main data acquisition systems and the fundamentals of digital electronics, covering everything from Boolean algebra and logic gates to memory units and processors. Basic concepts of quantum computing and quantum logic gates will also be presented. The second part of the course focuses on scientific programming in Python, featuring laboratory exercises aimed at data acquisition and processing, as well as the control of a robotic arm. Machine learning principles will then be introduced, starting with Ising models—which are also used in trigger and event selection applications within physics experiments. Practical exercises will address classification problems and the training of machine learning models. The course concludes with an introduction to quantum computing using the IBM Quantum simulator and real quantum systems, demonstrating the basics of quantum machine learning and its elementary applications in data classification. Expected learning outcomes: By the end of the course, students will have acquired fundamental skills in data acquisition systems, digital electronics, Python programming, core machine learning techniques, and the principles of quantum computing and quantum machine learning.

Reference books

For topics related to digital electronics, data acquisition (DAQ) and trigger systems, and the introduction to quantum computing, the instructor will provide lecture notes and supplementary teaching materials. Recommended reference and supplementary texts include:

a) M. A. Nielsen, I. L. Chuang, *Quantum Computation and Quantum Information*, Cambridge University Press. b) J. Watrous, *Understanding Quantum Information and Computation*, Cambridge University Press. c) Lecture notes from the Digital Electronics course. d) Notes and teaching materials from the course on Data Acquisition (DAQ) and Trigger systems. In any case, the material provided by the instructor will be sufficient for exam preparation and for carrying out laboratory activities.

Reference bibliography

-

Study modes

Classes will be held primarily in person, featuring lectures at the board to foster direct interaction with students and facilitate a gradual understanding of theoretical concepts. The presentation of topics will be supported by slides and supplementary teaching materials. In specific instances, seminars or remote guest presentations by industry experts may be included. Laboratory activities will consist of supervised practical exercises, with a particular focus on Python programming and applications in machine learning and quantum computing.

Exam modes

-

20410885 - Applicazioni della fisica delle particelle alla terapia medica

Docente: ATTILI Andrea

Italiano

Prerequisiti

Programma

Testi da definire

Testi

Testi da definire

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Testi da definire

Modalità di valutazione

Testi da definire

English

Prerequisites

Programme

-

Reference books

-

Reference bibliography

-

Study modes

-

Exam modes

-

20402146 - ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE

Docente: BIANCHI STEFANO

Italiano

Prerequisiti

Non sono richieste specifiche conoscenze pregresse.

Programma

OGGETTI COMPATTI: NANE BIANCHE, STELLE DI NEUTRONI. LIMITE DI CHANDRASEKHAR, PULSAR, BUCHI NERI
ACCRESCIMENTO: TEORIA, LIMITE DI EDDINGTON, DISCHI DI ACCRESCIMENTO BINARIE X: FENOMENOLOGIA E
CLASSIFICAZIONE, VARIABILI CATACLISMICHE, BINARIE X DI PICCOLA E GRANDE MASSA, CANDIDATI BUCHI NERI NUCLEI
GALATTICI ATTIVI: FENOMENOLOGIA E CLASSIFICAZIONE, EMISSIONE IN BANDA X E GAMMA, GETTI, MOTI SUPERLUMINALI

GAMMA RAY BURST: FENOMENOLOGIA, ORIGINE E MECCANISMI DI EMISSIONE AMMASSI DI GALASSIE: EMISSIONE X DAL MEZZO INTERGALATTICO, COOLING FLOW RAGGI COSMICI: COMPOSIZIONE, SPETTRO ED ORIGINE, RESTI DI SUPERNOVA, RAGGI COSMICI DI ALTISSIMA ENERGIA.

Testi

(LONGAIR MALCOM S.) HIGH ENERGY ASTROPHYSICS 3RD ED. [CAMBRIDGE 2011] (KIPPENHAHN R., WEIGERT A.) STELLAR STRUCTURE AND EVOLUTION [SPRINGER 1994] (G.B. RYBICKI, A.P. LIGHTMAN) RADIATIVE PROCESSES IN ASTROPHYSICS [WILEY] (VIETRI M.) ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE [BORINGHIERI] (SHAPIRO S.L, TEUKOLSKY S.A.) BLACK HOLES, WHITE DWARFS AND NEUTRON STARS [WILEY]

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Lezioni frontali con proiezione di slide e approfondimenti, seguite da domande e risposte.

Modalità di valutazione

Prova orale sugli argomenti del corso, con discussione approfondita e corredata da formule e grafici in caso di necessita'.

English

Prerequisites

No prior knowledge is required.

Programme

COMPACT OBJECTS: WHITE DWARFS, NEUTRON STARS, THE CHANDRASEKHAR LIMIT, PULSARS, BLACK HOLES ACCRETION: THEORY, EDDINGTON LIMIT, ACCRETION DISKS X-RAY BINARIES: CLASSIFICATION AND PHENOMENOLOGY, CATAclysmic VARIABLES, LOW-MASS AND HIGH-MASS X-RAY BINARIES, BLACK HOLE CANDIDATES ACTIVE GALACTIC NUCLEI: CLASSIFICATION AND PHENOMENOLOGY, X-RAY AND GAMMA-RAY EMISSION, JETS, SUPERLUMINAL MOTIONS GAMMA RAY BURSTS: PHENOMENOLOGY, ORIGIN, EMISSION MECHANISMS CLUSTER OF GALAXIES: EMISSION FROM THE INTERGALACTIC MEDIUM, COOLING FLOWS COSMIC RAYS: COMPOSITION, SPECTRUM AND ORIGIN, SUPERNOVA REMNANTS, ULTRA HIGH ENERGY COSMIC RAYS

Reference books

(LONGAIR MALCOM S.) HIGH ENERGY ASTROPHYSICS 3RD ED. [CAMBRIDGE 2011] (KIPPENHAHN R., WEIGERT A.) STELLAR STRUCTURE AND EVOLUTION [SPRINGER 1994] (G.B. RYBICKI, A.P. LIGHTMAN) RADIATIVE PROCESSES IN ASTROPHYSICS [WILEY] (VIETRI M.) ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE [BORINGHIERI] (SHAPIRO S.L, TEUKOLSKY S.A.) BLACK HOLES, WHITE DWARFS AND NEUTRON STARS [WILEY]

Reference bibliography

-

Study modes

Slideshow lectures, with in-depth discussions, followed by questions/answers.

Exam modes

-

20401878 - ASTROFISICA EXTRAGALATTICA

Canale:N0

Docente: RICCI FEDERICA

Italiano

Prerequisites

nessuno specifico

Programma

si veda la scheda del docente titolare

Testi

L.S. Sparke and J.S. Gallagher Galaxies in the Universe - An Introduction. Cambridge University Press

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

si veda la scheda del docente titolare

Modalità di valutazione

si veda la scheda del docente titolare

English

Prerequisites

none

Programme

see the profile of the lecturer

Reference books

L.S. Sparke and J.S. Gallagher Galaxies in the Universe - An Introduction. Cambridge University Press

Reference bibliography

-

Study modes

see the profile of the lecturer

Exam modes

-

20401878 - ASTROFISICA EXTRAGALATTICA

Canale:N0

Docente: LA FRANCA FABIO

Italiano

Prerequisiti

nessuno specifico

Programma

Programma 1. Cenni di evoluzione stellare 2. Cenni sulla strumentazione 3. La Via Lattea 4. Il buco nero centrale 5. Classificazione delle galassie 6. Potenziali delle galassie, distribuzione di massa e andamento delle isofote 7. Le curve di rotazione 8. Relazioni di scala nelle galassie 9. Spettroscopia: gas freddo, gas caldo e gas molecolare 10. Misure spettroscopiche di velocità, temperatura e densità 11. Gli AGN: motore e struttura centrale 12. La misura della massa dei black holes 13. Gli AGN: evoluzione 14. Coevoluzione AGN/galassie 15. Misura e storia delle Star Formation and Accretion Rates 16. Misura e riproduzione di: fondi cosmici, funzioni di luminosità e di massa 17. La metallicità 18. Gli ammassi di galassie

Testi

L.S. Sparke and J.S. Gallagher Galaxies in the Universe - An Introduction. Cambridge University Press

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

Il candidato deve esporre un argomento a sua scelta inquadrandolo scientificamente, mettendo in evidenza gli aspetti fisici più rilevanti e possibilmente dimostrando come si giunge alle relazioni fisiche che lo descrivono. In seguito la commissione sceglie altri due argomenti da far esporre sempre nella stessa maniera al candidato. Verranno valutati la correttezza, la completezza, e lo spirito critico delle esposizioni.

English

Prerequisites

none

Programme

1. Principles of Stellar Evolution 2. Principles of Observational Astronomy 3. The Milky Way 4. The central Black Hole of the Milky Way 5. Galaxy classification 6. Mass distribution, potentials, and isophotes 7. Rotation curves 8. Scaling relations in galaxies 9. Astrophysical Spectroscopy: cold gas, hot gas and molecular gas 10. Velocity, temperature and density measures 11. Active Galactic Nuclei: the structure and the central engine 12. The measure of the supermassive black hole masses 13. The evolution of the Active Galactic Nuclei 14. AGN/galaxy coevolution 15. Measure and history of the Star Formation Rate of galaxies 16. Luminosity and mass functions evolution of AGN and galaxies. Synthesis of the cosmic backgrounds. 17. Metallicity 18. Clusters of galaxies

Reference books

L.S. Sparke and J.S. Gallagher Galaxies in the Universe - An Introduction. Cambridge University Press

Reference bibliography

-

Study modes

Lectures are given by using the blackboard and by projecting slides. Some exercises are solved.

Exam modes

-

20410041 - ASTROFISICA GENERALE

Docente: BIANCHI STEFANO

Italiano

Prerequisiti

Non e' necessaria una specifica conoscenza pregressa.

Programma

Processi Radiativi in Astrofisica: Equazione del Trasporto, Bremsstrahlung, Sincrotrone, Effetto Compton Inverso, Produzione di Coppie, Effetto Cherenkov Interazioni Nucleari, Righe Nucleari Spettroscopia: Notazione, Livelli di Energia, Regole di Selezione, Bilancio di Ionizzazione, Righe di Emissione e Assorbimento, Misure di Densità e Temperatura, Polvere ed Estinzione Spettroscopia Molecolare Altri Messaggeri in Astrofisica: Onde Gravitazionali, Neutrini Accelerazione di Particelle: Meccanismi di Fermi, Onde d'urto

Testi

(LONGAIR MALCOM S.) HIGH ENERGY ASTROPHYSICS 3RD ED. [CAMBRIDGE 2011] (G.B. RYBICKI, A.P. LIGHTMAN) RADIATIVE PROCESSES IN ASTROPHYSICS [WILEY] (SHAPIRO S.L, TEUKOLSKY S.A.) BLACK HOLES, WHITE DWARFS AND NEUTRON STARS [WILEY] G. Ghisellini "Radiative Processes in High Energy Astrophysics", 2013

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Lezioni frontali con proiezione di slide e approfondimenti, seguite da domande e risposte.

Modalità di valutazione

Prova orale sugli argomenti del corso, con discussione approfondita e corredata da formule e grafici in caso di necessita'.

English

Prerequisites

No prior knowledge is required.

Programme

Radiative processes in Astrophysics: Transfer Equation, Bremsstrahlung, Synchrotron Emission, Inverse Compton Effect, Pairs Production, Cherenkov Effect Nuclear Interactions, Nuclear Lines Spectroscopy: Spectroscopic Notation, Energy Levels, Selection Rules, Ionization Balance, Emission and Absorption Lines, Density and Temperature Measures, Dust and Extinction Molecular Spectroscopy Other Messengers in Astrophysics: Gravitational Waves, Neutrinos Particle Acceleration: Fermi Mechanisms, Shocks

Reference books

(LONGAIR MALCOM S.) HIGH ENERGY ASTROPHYSICS 3RD ED. [CAMBRIDGE 2011] (G.B. RYBICKI, A.P. LIGHTMAN) RADIATIVE PROCESSES IN ASTROPHYSICS [WILEY] (SHAPIRO S.L, TEUKOLSKY S.A.) BLACK HOLES, WHITE DWARFS AND NEUTRON STARS [WILEY] G. Ghisellini "Radiative Processes in High Energy Astrophysics", 2013

Reference bibliography

-

Study modes

Slideshow lectures, with in-depth discussions, followed by questions/answers.

Exam modes

-

20402214 - ASTROFISICA STELLARE

Canale:N0

Docente: VENTURA PAOLO

Italiano

Prerequisiti

Conoscenza delle regole base del calcolo infinitesimale. Conoscenza delle Meccanica Newtoniana e della Termodinamica classica

Programma

INTRODUZIONE AL CORSO: Definizione di magnitudine. Magnitudini apparenti e assolute. Sistemi fotometrici. Magnitudini bolometriche. Leggi di Stefan e di Stefan-Boltzmann. Trasporto radiativo. Righe di emissione e assorbimento. Temperatura effettiva delle stelle. Diagrammi Hertzsprung-Russell e colore-magnitudine. Le classi spettrali. ELEMENTI DI TRASPORTO RADIATIVO: Legame tra gradiente di temperatura e flusso energetico in ambienti radiativi. Meccanismi di opacità: bound-bound, bound-free, free-free. La diffusione Thompson. La conduzione elettronica. Gradiente logaritmico di temperatura L'INSTABILITA' CONVETTIVA: Meccanismi di

instabilità convettive. I criteri di Schwarzschild e Ledoux per la stabilità radiativa. Gradienti di temperatura in regioni convettive: i casi limite. La Mixing Length Theory. EQUAZIONE DI STATO: La distribuzione di Maxwell-Boltzmann. La degenerazione elettronica. Equazione di stato di un gas degenerare. Degenerazione relativistica. Cristallizzazione. Neutronizzazione. Equazione di stato nel piano densità-temperatura. LE REAZIONI DI FUSIONE NUCLEARE: Effetto tunnel. Sezioni d'urto e rate di reazioni di fusione nucleare. Il picco di Gamov. Dipendenza delle sezioni d'urto delle reazioni nucleari dalla temperatura. Risonanze. Screening elettronico. La catena protone-protone. Il ciclo CNO. La combustione di elio. LE EQUAZIONE DELL'EQUILIBRIO STELLARE Equazione di conservazione della massa. Equazione dell'equilibrio idrostatico. Espressione del coefficiente di generazione di energia gravo-termica. I neutrini. Equazione di conservazione dell'energia. Condizioni al contorno. Raccordo tra integrazione della struttura interna e l'atmosfera. Equazioni dell'equilibrio stellare in forma adimensionale. LA FORMAZIONE STELLARE Il teorema del viriale. Bilancio energetico delle stelle giovani. Le nubi molecolari. Il criterio di Jeans per il collasso delle nubi molecolari. Collasso e frammentazione delle nubi molecolari. Ruolo della polvere. Collasso isoterma e adiabatico. Evoluzione di pre-sequenza: la teoria di Hayashi. La linea di Hayashi nel diagramma di Hertzsprung-Russell. Tracce evolutive di pre-sequenza nel diagramma HR. Il modello Palla e Stahler e il ruolo dell'accrescimento. La combustione del Deuterio. La "birthline". La fusione del Litio durante la fase di pre-sequenza. Il ruolo della rotazione. Evoluzione del momento angolare. Il disk-locking e il frenamento magnetico. Il modello core-disk coupling di Bouvier. Stelle e nane brune. LA FASE DI SEQUENZA PRINCIPALE Le sequenze principali di ammassi aperti e globulari. Relazione massa-luminosità per stelle di sequenza principale. La morfologia della sequenza principale nel piano HR. Il ruolo della metallicità. Limite in massa per combustioni protone-protone e CNO. Durata della fase di sequenza principale in funzione della massa stellare Struttura interna delle stelle di sequenza principale. Incertezze nella modellistica della sequenza principale delle stelle di piccola massa. Proprietà evolutive delle stelle di sequenza principale: escursione delle tracce evolutive sul diagramma di Hertzsprung-Russell. LA FASE DI GIGANTE ROSSA Le fasi conclusive della sequenza principale. Motivo fisico per l'espansione e l'evoluzione in gigante rossa. La combustione CNO in shell. La formazione di un involucro convettivo durante la fase di gigante rossa. Il primo dredge-up e la conseguente alterazione della composizione chimica superficiale. Tracce evolutive di stelle giganti rosse nel diagramma HR. Il bump delle giganti e relativo impatto sulle funzione di luminosità. Il thermohaline mixing. Caratteristiche principali dell'evoluzione di giganti rosse: raffreddamento, contrazione del core e aumento di luminosità. Evoluzione termodinamica dei nuclei delle stelle giganti. Limite in massa per la formazione di nuclei degeneri. Relazione tra luminosità e massa di core per stelle giganti di piccola massa. La perdita di massa e relativo impatto sull'innescio dell'elio. LA FASE DI COMBUSTIONE DI ELIO NEL NUCLEO Innescio dell'elio in nuclei degeneri: il flash. Evoluzione delle proprietà strutturali delle stelle durante il flash. Tracce evolutive delle stelle durante il flash dell'elio: spiegazione dei diagrammi colore-colore degli ammassi globulari. La sequenza principale delle stelle che bruciano elio nel nucleo. Morfologia di ramo orizzontale: ruolo della massa di core e della massa dell'involucro. La combustione dell'elio nelle stelle di massa intermedia. "Clump" di ammassi aperti. EVOLUZIONE DI RAMO ASINTOTICO La formazione di un nucleo di carbonio e ossigeno degenerare in stelle di massa sotto 8 masse solari. Il secondo dredge-up. Struttura fisica e chimica di una stella AGB. Il meccanismo del pulso termico per l'innescio dell'elio in shell. Relazione luminosità - massa di core per stelle AGB. Hot bottom burning. Il terzo dredge-up e la formazione delle stelle al carbonio. Evoluzione di stelle di ramo asintotico di massa diversa. Yield chimici di stelle di ramo asintotico. Le stelle super-AGB Formazione di polvere nei venti delle stelle di ramo asintotico. Mineralogia della polvere al variare della massa iniziale e della metallicità. Stabilità termodinamica delle specie di polvere. Stratificazione chimico-dinamica di venti di stelle AGB. Yield di polvere di stelle AGB. Evoluzione della distribuzione spettrale. LE NANE BIANCHE Fasi evolutive finali. Le nebulose planetarie. La teoria di Chandrasekhar per la struttura della nane bianche: la relazione massa-raggio. La massa di Chandrasekhar. Bilancio energetico delle nane bianche. Teoria del raffreddamento. LA VARIABILITÀ STELLARE Stelle variabili. Meccanismi alla base della variabilità. Le stelle come macchine termiche. La striscia di instabilità. Variabili RR Lyrae e Cefeidi. Relazione periodo-luminosità per le stelle Cefeidi. LE STELLE MASSICCE Fasi combustione avanzate: carbon, neon, oxygen, silicon burning. La formazione del core di ferro. il collasso del core. Evidenze osservative di evoluzione di stelle massicce: red super giants, luminous blue variables, stelle Wolf Rayet. Supernovae di tipo I e II GLI AMMASSI GLOBULARI Metodi per la determinazione dell'età degli ammassi globulari. Determinazione di arrossamento e distanza. I rami orizzontali. Il ruolo della metallicità Rami orizzontali di ammassi globulari. Anomalie chimiche: trend ossigeno-sodio e magnesio-alluminio. Lo scenario AGB per la formazione degli ammassi globulari.

Testi

Astrofisica Stellare Vittorio Castellani disponibile al link: <https://astrofiscastellare.altervista.org/>

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Lezioni frontali della durata di 2 ore, con esposizione degli argomenti oggetto del programma del corso, mediante presentazioni Power Point

Modalità di valutazione

E' prevista una prova scritta intermedia, strutturata in domande a risposta aperta, inerente la prima parte del corso, fino alla fase di sequenza principale. La prova orale a fine corso consiste in un colloquio articolato tipicamente in due o tre domande, che riguardano i contenuti del corso. In caso di esito positivo della prova intermedia, la prova orale riguarda esclusivamente la parte di programma della seconda metà del corso, a partire dalle fasi di combustione centrale dell'elio.

English

Prerequisites

Knowledge of the basic rules of derivation and integration of one variable functions. Knowledge of Newtonian mechanics and classic thermodynamics

Programme

INTRODUCTION: Stellar magnitudes. Apparent and absolute magnitudes. Photometric systems. Bolometric magnitudes. Stefan and Stefan-Boltzmann laws. Radiative transport. Formation of emission and absorption lines. Effective temperature of stars. Hertzsprung-Russell and colour-magnitude diagrams. Spectral classes. BASICS OF RADIATIVE TRANSPORT: Link between temperature gradient and energy flux in radiative environments. Opacity mechanisms: bound-bound, bound-free, free-free opacities. Thompson scattering. Electronic conduction. The logarithmic temperature gradient. CONVECTIVE INSTABILITY: The reasons for the set-up of convective currents. The Schwarzschild and Ledoux criteria for the radiative stability. Temperature gradients in regions of the stars unstable to convection: the extreme cases of highly efficient and low-efficiency convection. The Mixing Length Theory. THE EQUATION OF STATE: The Maxwell-Boltzmann. distribution of energies Electron degeneracy. The equation of state for a degenerate gas. Relativistic degeneracy. Cristallization.. Neutronization. The equation of state on the density-temperature plane.

THERMONUCLEAR REACTION: S The tunnel effect. Cross sections and reaction rates of nuclear reactions. The Gamov peak. The sensitivity of the nuclear cross section to the gas temperature. Nuclear resonances. Electron screening. The proton-proton chain. The CNO cycle. Helium nucleosynthesis. **LE EQUAZIONE DELL'EQUILIBRIO STELLARE** Equazione di conservazione della massa. Equazione dell'equilibrio idrostatico. Espressione del coefficiente di generazione di energia gravo-termica. I neutrini. Equazione di conservazione dell'energia. Condizioni al contorno. Raccordo tra integrazione della struttura interna e l'atmosfera. Equazioni dell'equilibrio stellare in forma adimensionale. **LA FORMAZIONE STELLARE** Il teorema del viriale. Bilancio energetico delle stelle giovani. Le nubi molecolari. Il criterio di Jeans per il collasso delle nubi molecolari. Collasso e frammentazione delle nubi molecolari. Ruolo della polvere. Collasso isoterma e adiabatico. Evoluzione di pre-sequenza: la teoria di Hayashi. La linea di Hayashi nel diagramma di Hertzsprung-Russell. Tracce evolutive di pre-sequenza nel diagramma HR. Il modello Palla e Stahler e il ruolo dell'accrescimento. La combustione del Deuterio. La "birthline". La fusione del Litio durante la fase di pre-sequenza. Il ruolo della rotazione. Evoluzione del momento angolare. Il disk-locking e il frenamento magnetico. Il modello core-disk coupling di Bouvier. Stelle e nane brune. **LA FASE DI SEQUENZA PRINCIPALE** Le sequenze principali di ammassi aperti e globulari. Relazione massa-luminosità per stelle di sequenza principale. La morfologia della sequenza principale nel piano HR. Il ruolo della metallicità. Limite in massa per combustioni protone-protone e CNO. Durata della fase di sequenza principale in funzione della massa stellare. Struttura interna delle stelle di sequenza principale. Incertezze nella modellistica della sequenza principale delle stelle di piccola massa. Proprietà evolutive delle stelle di sequenza principale: escursione delle tracce evolutive sul diagramma di Hertzsprung-Russell. **LA FASE DI GIGANTE ROSSA** Le fasi conclusive della sequenza principale. Motivo fisico per l'espansione e l'evoluzione in gigante rossa. La combustione CNO in shell. La formazione di un inviluppo convettivo durante la fase di gigante rossa. Il primo dredge-up e la conseguente alterazione della composizione chimica superficiale. Tracce evolutive di stelle giganti rosse nel diagramma HR. Il bump delle giganti e relativo impatto sulle funzioni di luminosità. Il thermohaline mixing. Caratteristiche principali dell'evoluzione di giganti rosse: raffreddamento, contrazione del core e aumento di luminosità. Evoluzione termodinamica dei nuclei delle stelle giganti. Limite in massa per la formazione di nuclei degeneri. Relazione tra luminosità e massa di core per stelle giganti di piccola massa. La perdita di massa e relativo impatto sull'innescamento dell'elio. **LA FASE DI COMBUSTIONE DI ELIO NEL NUCLEO** Innescamento dell'elio in nuclei degeneri: il flash. Evoluzione delle proprietà strutturali delle stelle durante il flash. Tracce evolutive delle stelle durante il flash dell'elio: spiegazione dei diagrammi colore-colore degli ammassi globulari. La sequenza principale delle stelle che bruciano elio nel nucleo. Morfologia di ramo orizzontale: ruolo della massa di core e della massa dell'inviluppo. La combustione dell'elio nelle stelle di massa intermedia. "Clump" di ammassi aperti. **EVOLUZIONE DI RAMO ASINTOTICO** La formazione di un nucleo di carbonio e ossigeno degeneri in stelle di massa sotto 8 masse solari. Il secondo dredge-up. Struttura fisica e chimica di una stella AGB. Il meccanismo del pulso termico per l'innescamento dell'elio in shell. Relazione luminosità - massa di core per stelle AGB. Hot bottom burning. Il terzo dredge-up e la formazione delle stelle al carbonio. Evoluzione di stelle di ramo asintotico di massa diversa. Yield chimici di stelle di ramo asintotico. Le stelle super-AGB. Formazione di polvere nei venti delle stelle di ramo asintotico. Mineralogia della polvere al variare della massa iniziale e della metallicità. Stabilità termodinamica delle specie di polvere. Stratificazione chimico-dinamica di venti di stelle AGB. Yield di polvere di stelle AGB. Evoluzione della distribuzione spettrale. **LE NANE BIANCHE** Fasi evolutive finali. Le nebulose planetarie. La teoria di Chandrasekhar per la struttura delle nane bianche: la relazione massa-raggio. La massa di Chandrasekhar. Bilancio energetico delle nane bianche. Teoria del raffreddamento. **LA VARIABILITÀ STELLARE** Stelle variabili. Meccanismi alla base della variabilità. Le stelle come macchine termiche. La striscia di instabilità. Variabili RR Lyrae e Cefeidi. Relazione periodo-luminosità per le stelle Cefeidi. **LE STELLE MASSICCE** Fasi combustione avanzate: carbon, neon, oxygen, silicon burning. La formazione del core di ferro. il collasso del core. Evidenze osservative di evoluzione di stelle massicce: red super giants, luminous blue variables, minimi quadrati, ottimizzazione di tipo I e II. **GLI AMMASSI GLOBULARI** Metodi per la determinazione dell'età degli ammassi globulari. Determinazione di arrossamento e distanza. I rami orizzontali. Il ruolo della metallicità. Rami orizzontali di ammassi globulari. Anomalie chimiche: trend ossigeno-sodio e magnesio-alluminio. Lo scenario AGB per la formazione degli ammassi globulari.

Reference books

1) Stellar structure and evolution Rudolf Kippenhahn and Alfred Weigert Springer - 1990 2) Introduction to Stellar Astrophysics - Volume 2: Stellar atmospheres Erika Böhm-Vitense Cambridge University Press - 1989 3) Introduction to Stellar Astrophysics - Volume 3: Stellar structure and evolution Erika Böhm-Vitense Cambridge University Press - 1992

Reference bibliography

-

Study modes

-

Exam modes

-

20402211 - COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA

Docente: FRANCESCHINI ROBERTO

Italiano

Prerequisiti

Conoscenza dell'algebra lineare. Conoscenza ed esperienza pratica con un linguaggio di programmazione per computer.

Programma

Teoria dei Gruppi (CA) $SU(2)$ e $SU(3)$ La forma di Killing Algebre di Lie semplici Rappresentazioni Radici semplici e la matrice di Cartan Le algebre "classiche" Le algebre "eccezionali" Operatore di Casimir e la formula di Freudenthal Il gruppo di Weyl La formula della dimensione di Weyl Riduzione del prodotto di rappresentazioni Sub-algebre Regole di decomposizione Metodi Numerici Probabilità e variabili random Richiami su Misure, incertezze e loro propagazione Richiami su Fit di una curva, minimi quadrati, ottimizzazione Integrazione numerica classica, velocità di convergenza Integrazione MC, media e varianza Strategie di campionamento Applicazioni Propagazione delle incertezze Note Generazione di dati secondo una distribuzione Corrispondenza tra argomenti e sezioni dei libri su <http://webusers.fis.uniroma3.it/franceschini/cmm.html>

Testi

Robert Cahn - Semi-Simple Lie Algebras and Their Representations - Dover Publications 2014 (disponibile presso Roma TRE BAST Sede Centrale e presso la pagina dell'autore) Weinzierl, S. - Introduction to Monte Carlo methods arXiv:hep-ph/0006269 Taylor, J. - An

introduction to error analysis - University Science Books Sausalito, California Disponibile nella biblioteca Scientifica di Roma Tre Dubi, A. - Monte Carlo applications in systems engineering - Wiley Disponibile nella biblioteca Scientifica di Roma Tre materiale fornito a lezione ed elencato sul web <http://webusers.fis.uniroma3.it/franceschini/cmm.html>

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Lezioni frontali in aula e in laboratorio di calcolo. Esercitazioni in aula, in laboratorio di calcolo e a casa.

Modalità di valutazione

L'esame prevede una prova scritta e una prova orale. Durante la prova scritta si richiede di scrivere un programma per computer per risolvere un problema di teoria dei gruppi o di metodi numerici tra quelli in programma. L'orale verte su tutto il programma svolto a lezione e su una tesina. Nell'esame orale si richiede di enunciare e dimostrare proprietà delle algebre di Lie e loro rappresentazioni, come illustrate a lezione, o di esporre un metodo numerico tra quelli in programma descrivendone finalità e proprietà. La tesina sarà su un argomento a scelta dello studente tra una rosa di proposte su argomenti inerenti la prima parte del corso (teoria dei gruppi) o la seconda parte del corso (metodi numerici). Gli argomenti possibili per la tesina sono pubblicati ogni anno su <http://webusers.fis.uniroma3.it/franceschini/cmm.html> Le/gli studenti con disabilità e DSA potranno fare richiesta degli strumenti da riconoscere in fase d'esame attraverso l'apposito portale di Ateneo, raggiungibile al seguente link: <https://www.uniroma3.it/roma-tre-inclusiva-studenti-con-disabilita-e-con-dsa/>

English

Prerequisites

Linear algebra. Knowledge and some experience with any computer programming language.

Programme

Group Theory (CA) SU(2) and SU(3) The Killing Form Simple Lie Algebras Representations Simple Roots and the Cartan Matrix The Classical Lie Algebras The Exceptional Lie Algebras Casimir Operators and Freudenthal's Formula The Weyl Group Weyl's Dimension Formula Reducing Product Representations Subalgebras Branching Rules Numerical Methods Refresh on Probability and Random variables Refresh on Measurement, uncertainty and its propagation Refresh on Curve-fitting, least-squares, optimization Classical numerical integration, speed of convergence Integration MC (Mean, variance) Sampling Strategies Applications Propagation of uncertainties Generation according to a distribution Sections of the textbooks for each topic are listed on <http://webusers.fis.uniroma3.it/franceschini/cmm.html>

Reference books

Robert Cahn - Semi-Simple Lie Algebras and Their Representations - Dover Publications 2014 (available at Roma TRE BAST Sede Centrale and from the author's web page) Weinzierl, S. - Introduction to Monte Carlo methods arXiv:hep-ph/0006269 Taylor, J. - An introduction to error analysis - University Science Books Sausalito, California Disponibile nella biblioteca Scientifica di Roma Tre Dubi, A. - Monte Carlo applications in systems engineering - Wiley Disponibile nella biblioteca Scientifica di Roma Tre readings supplied during class and listed on the web <http://webusers.fis.uniroma3.it/franceschini/cmm.html>

Reference bibliography

-

Study modes

Lectures in the classroom and in the computer lab. Exercises sessions in the classroom, computer lab, and at home.

Exam modes

-

20410506 - COSMOLOGIA

Docente: MAGLIOCCHETTI Manuela

Italiano

Prerequisites

nessuno specifico

Programma

60 ore frontali •Brevi richiami di relatività generale ed equazione di Einstein •Metrica di Robertson-Walker •Legge di Hubble e Hubble tension •Redshift •Distanze cosmologiche •La costante cosmologica •Modelli di Friedmann e di Einstein-de Sitter •Storia Termica dell'Universo •Cosmic Microwave Background (CMB) •Teoria di Jeans per Instabilità Gravitazionale •Applicazione della teoria di Jeans in Cosmologia: evoluzione lineare •Formazione di Strutture I: caso solo barioni •Formazione di Strutture II: caso con anche materia non barionica •Spettro delle perturbazioni, filtri e funzioni di trasferimento •Funzioni di covarianza •Teoria ed osservazioni legate alla teoria lineare: fluttuazioni del CMB •Evoluzione non-lineare delle perturbazioni •Struttura a grande scala dell'Universo: analisi statistiche della distribuzione di galassie •Strutture virializzate: la teoria di Press e Schechter e sua estensione •Materia luminosa e materia oscura: il problema del bias. •Cenni su missioni cosmologiche presenti e future: Euclid •Cenni su radio sorgenti extra-galattiche Completamento delle 64 ore: studio dell'articolo "Hosts and Environments: a (large-scale) radio history of AGN and star-forming galaxies" (<https://link.springer.com/article/10.1007/s00159-022-00142-1>)

Testi

Testi principali: - Cosmology: The Origin and Evolution of Cosmic Structure by P. Coles and F. Lucchin - Structure Formation in the Universe by T. Padmanabhan Testi consigliati: - Cosmological Physics by J.A. Peacock - The Large Scale Structure of the Universe by

P.J.E. Peebles

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

lezioni tradizionali in aula con eventuale utilizzo della lavagna in ardesia

Modalità di valutazione

L'esame consisterà nella discussione di un capitolo a scelta dell'articolo sopracitato per poi proseguire con domande su tutto il programma trattato a lezione

English

Prerequisites

none

Programme

60 hours of lectures • Brief review of general relativity and Einstein's equation • Robertson-Walker metric • Hubble's law and Hubble tension • Redshift • Cosmological distances • The cosmological constant • Friedmann and Einstein-de Sitter models • Thermal history of the Universe • Cosmic Microwave Background (CMB) • Jeans theory for gravitational instability • Application of Jeans theory in cosmology: linear evolution • Structure Formation I: baryon-only case • Structure Formation II: case including non-baryonic matter • Spettro delle perturbazioni, filtri e funzioni di trasferimento • Spectrum of perturbations, filters, and transfer functions • Covariance functions • Theory and observations related to linear theory: CMB fluctuations • Non-linear evolution of perturbations • Large-scale structure of the Universe: statistical analysis of galaxy distribution • Virialized structures: Press and Schechter theory and its extension • Luminous matter and dark matter: the bias problem • Brief overview of current and future cosmological missions: Euclid • Brief overview of extragalactic radio sources Completion of 64 hours: study of the article "Hosts and Environments: a (large-scale) radio history of AGN and star-forming galaxies" (<https://link.springer.com/article/10.1007/s00159-022-00142-1>)

Reference books

Testi principali: - Cosmology: The Origin and Evolution of Cosmic Structure by P. Coles and F. Lucchin - Structure Formation in the Universe by T. Padhmanaban Testi consigliati: - Cosmological Physics by J.A. Peacock - The Large Scale Structure of the Universe by P.J.E. Peebles

Reference bibliography

-

Study modes

traditional classroom lessons with possible use of the slate board

Exam modes

-

20402143 - COSMOLOGIA

Canale:N0

Docente: MAGLIOCCETTI Manuela

Italiano

Prerequisiti

nessuno specifico

Programma

vedere le informazioni indicate nello stesso corso del Curriculum di Astrofisica

Testi

Testi principali: - Cosmology: The Origin and Evolution of Cosmic Structure by P. Coles and F. Lucchin - Structure Formation in the Universe by T. Padhmanaban Testi consigliati: - Cosmological Physics by J.A. Peacock - The Large Scale Structure of the Universe by P.J.E. Peebles

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

vedere le informazioni indicate nello stesso corso del Curriculum di Astrofisica

Modalità di valutazione

vedere le informazioni indicate nello stesso corso del Curriculum di Astrofisica

English

Prerequisites

none

Programme

see the information listed in the same course of the Astrophysics Curriculum

Reference books

Testi principali: - Cosmology: The Origin and Evolution of Cosmic Structure by P. Coles and F. Lucchin - Structure Formation in the Universe by T. Padhmanaban Testi consigliati: - Cosmological Physics by J.A. Peacock - The Large Scale Structure of the Universe by P.J.E. Peebles

Reference bibliography

-

Study modes

see the information listed in the same course of the Astrophysics Curriculum

Exam modes

-

20410503 - DIDATTICA DELLA MATEMATICA

Docente: MAGRONE PAOLA

Italiano

Prerequisiti

Contenuti di qualunque corso di primo anno di matematica di base (istituzioni di matematiche, analisi uno...)

Programma

Il corso si propone di introdurre gli studenti all'insegnamento della matematica nella scuola secondaria di primo e secondo grado, attraverso un approccio storico-epistemologico ai concetti di base della matematica elementare (aritmetica, geometria, algebra, probabilità, funzioni). In particolare verranno trattati gli argomenti: l'insegnamento della matematica e la sua evoluzione; sistemi numerici; gli assiomi e i postulati di Euclide; le geometrie non euclidee e localmente euclidee; le costruzioni geometriche con riga e compasso e le macchine matematiche; elementi di storia del calcolo infinitesimale. Cenni alle indicazioni nazionali.

Testi

GIORGIO ISRAEL, ANA MILLÁN GASCA, Pensare in matematica, Zanichelli, 2012. ANA MILLÁN GASCA, All'inizio fu lo scriba, Mimesis, 2004 ENRICO GIUSTI, Analisi matematica 1, Bollati Boringhieri, 2002

Bibliografia di riferimento

ANA MILLÁN GASCA, All'inizio fu lo scriba, Mimesis, 2004 GIORGIO ISRAEL, ANA MILLÁN GASCA, Pensare in matematica, Zanichelli, 2012. ENRICO GIUSTI, Analisi matematica 1, Bollati Boringhieri, 2002 PAOLA MAGRONE, ANA MILLÁN GASCA, I bambini e il pensiero scientifico, Carocci, 2018 FEDERIGO ENRIQUES 1921, "Insegnamento dinamico", Periodico di Matematiche, s. IV, 1, pp. 6-16. GEORGE POLYA, How to solve it, Princeton University Press, 1945, 2a edizione 1957

Modalità erogazione

Lezioni frontali e sessioni laboratoriali. Durante le settimane di lezione vengono assegnate delle consegne da svolgere singolarmente o in gruppo, che verranno corrette e discusse in aula.

Modalità di valutazione

La valutazione si basa su 3-4 prove scritte assegnate durante il corso (dei brevi saggi da consegnare); una lezione simulata, che si svolge durante il corso; una prova scritta e una prova orale.

English

Prerequisites

The contents of a Calculus course

Programme

The course aims to introduce students to the teaching of mathematics in first and second grade secondary schools, through a historical-epistemological approach to the basic concepts of elementary mathematics (arithmetic, geometry, algebra, probability, functions). In particular: the teaching of mathematics and its evolution; numerical systems; Euclid's axioms and postulates; non-Euclidean and locally Euclidean geometries; geometric constructions with ruler and compass and mathematical machines; elements of history of infinitesimal calculus. Outline of national indications.

Reference books

GIORGIO ISRAEL, ANA MILLÁN GASCA, Pensare in matematica, Zanichelli, 2012. ANA MILLÁN GASCA, All'inizio fu lo scriba, Mimesis, 2004 ENRICO GIUSTI, Analisi matematica 1, Bollati Boringhieri, 2002

Reference bibliography

ANA MILLÁN GASCA, All'inizio fu lo scriba, Mimesis, 2004 GIORGIO ISRAEL, ANA MILLÁN GASCA, Pensare in matematica, Zanichelli, 2012. ENRICO GIUSTI, Analisi matematica 1, Bollati Boringhieri, 2002 PAOLA MAGRONE, ANA MILLÁN GASCA, I bambini e il pensiero scientifico, Carocci, 2018 FEDERIGO ENRIQUES 1921, "Insegnamento dinamico", Periodico di Matematiche, s. IV, 1, pp. 6-16. GEORGE POLYA, How to solve it, Princeton University Press, 1945, 2a edizione 1957

Study modes

Lectures and laboratory sessions. During the weeks of lessons, assignments are assigned to be carried out individually or in groups, which will be corrected and discussed in the classroom.

Exam modes

-

20410580 - Education & Outreach, la comunicazione della scienza

Docente: DE ANGELIS ILARIA

Italiano

Prerequisiti

È richiesta una solida conoscenza della fisica di base. È inoltre utile una conoscenza di base di storia della fisica per una più agevole comprensione e analisi critica degli articoli scientifici trattati nel corso. Il corso è indirizzato a studenti/studentesse che abbiano completato la Laurea Triennale in Fisica o Matematica (o che possiedano una preparazione di livello equivalente), necessaria per la comprensione, l'analisi critica e la rielaborazione degli articoli scientifici e delle fonti storiche trattate a lezione.

Programma

Il corso intende fornire un percorso integrato tra l'analisi critica di grandi scoperte della fisica moderna e le metodologie pratiche e teoriche per la loro diffusione pubblica. L'insegnamento si articola in due nuclei tematici: - Tecniche di comunicazione: introduzione ai principi e ai concetti di base della comunicazione della scienza. Sviluppo e acquisizione di competenze pratiche sulle tecniche di presentazione efficace di argomenti complessi, sull'uso consapevole della voce e del linguaggio corporeo, e sulla progettazione di interventi per diversi tipi di pubblico. - Narrare la fisica attraverso le fonti: analisi critica e lettura guidata di articoli e testi scientifici originali che hanno segnato la storia della fisica (da Galileo fino agli sviluppi contemporanei). Esplorazione del legame tra la formulazione della scoperta scientifica, la consapevolezza comunicativa degli autori e il loro impatto sullo sviluppo della scienza.

Testi

Selezione di articoli scientifici originali e capitoli scelti messi a disposizione dai docenti all'inizio e nel corso delle lezioni. Materiale didattico, slide e dispense curate dai docenti.

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Lezioni frontali partecipate, che alternano: Moduli di analisi guidata e discussione critica in aula di articoli scientifici originali. Sessioni teorico-pratiche dedicate alle tecniche di public speaking, con esercitazioni espositive e simulazioni di presentazioni divulgative.

Modalità di valutazione

L'esame consiste in una prova orale divisa in due parti: - Presentazione divulgativa (simulazione pratica): Il/la candidato/a dovrà esporre uno dei case studies presentati a lezione dedicati agli articoli scientifici storici. La presentazione dovrà essere strutturata come una breve lezione o intervento divulgativo simulato per un pubblico a scelta dello studente (es. classe di liceo, docenti di scuola superiore, o pubblico generico). Verrà valutata la capacità di trasporre la complessità della fonte originale in un racconto chiaro, rigoroso ed efficace dal punto di vista comunicativo. - Colloquio orale: Discussione con domande aperte sui concetti teorici della comunicazione della scienza, sulle tecniche di public speaking e sui contenuti analizzati a lezione. Criteri di attribuzione del voto. La valutazione terrà conto di: - Padronanza e rigore scientifico nell'analisi della fonte / case study selezionato. - Efficacia comunicativa, chiarezza espositiva e capacità di adattamento del linguaggio al pubblico target scelto. - Capacità critica e rielaborazione personale durante le domande aperte.

English

Prerequisites

A solid background in basic physics is required. A basic knowledge of the history of physics is also helpful for a smoother understanding and critical analysis of the scientific papers covered in the course. The course is intended for students who have completed a Bachelor's degree in Physics or Mathematics (or who possess an equivalent level of preparation), which is necessary to understand, critically analyze, and re-elaborate the scientific papers and historical sources addressed during the lectures.

Programme

The course aims to provide an integrated pathway combining the critical analysis of major discoveries in modern physics with practical and theoretical methodologies for their public dissemination. The course is structured into two main thematic modules: Communication Techniques: An introduction to the fundamental principles and concepts of science communication. Development and acquisition of practical skills in effective presentation techniques for complex topics, the conscious use of voice and body language, and the design of communication activities tailored to various target audiences. Narrating Physics Through Original Sources: Critical analysis and guided reading of seminal scientific articles and original texts that have shaped the history of physics (from Galileo to contemporary developments). Exploration of the connection between the formulation of a scientific discovery, the authors' communicative awareness, and its impact on the advancement of science.

Reference books

-

Reference bibliography

-

Study modes

Exam modes

20410580 - Education & Outreach, la comunicazione della scienza

Docente: RAIMONDI ROBERTO

Italiano

Prerequisiti

È richiesta una solida conoscenza della fisica di base. È inoltre utile una conoscenza di base di storia della fisica per una più agevole comprensione e analisi critica degli articoli scientifici trattati nel corso. Il corso è indirizzato a studenti/studentesse che abbiano completato la Laurea Triennale in Fisica o Matematica (o che possiedano una preparazione di livello equivalente), necessaria per la comprensione, l'analisi critica e la rielaborazione degli articoli scientifici e delle fonti storiche trattate a lezione.

Programma

Il corso intende fornire un percorso integrato tra l'analisi critica di grandi scoperte della fisica moderna e le metodologie pratiche e teoriche per la loro diffusione pubblica. L'insegnamento si articola in due nuclei tematici: - Tecniche di comunicazione: introduzione ai principi e ai concetti di base della comunicazione della scienza. Sviluppo e acquisizione di competenze pratiche sulle tecniche di presentazione efficace di argomenti complessi, sull'uso consapevole della voce e del linguaggio corporeo, e sulla progettazione di interventi per diversi tipi di pubblico. - Narrare la fisica attraverso le fonti: analisi critica e lettura guidata di articoli e testi scientifici originali che hanno segnato la storia della fisica (da Galileo fino agli sviluppi contemporanei). Esplorazione del legame tra la formulazione della scoperta scientifica, la consapevolezza comunicativa degli autori e il loro impatto sullo sviluppo della scienza.

Testi

Selezione di articoli scientifici originali e capitoli scelti messi a disposizione dai docenti all'inizio e nel corso delle lezioni. Materiale didattico, slide e dispense curate dai docenti.

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Lezioni frontali partecipate, che alternano: Moduli di analisi guidata e discussione critica in aula di articoli scientifici originali. Sessioni teorico-pratiche dedicate alle tecniche di public speaking, con esercitazioni espositive e simulazioni di presentazioni divulgative.

Modalità di valutazione

L'esame consiste in una prova orale divisa in due parti: Presentazione divulgativa (simulazione pratica): Il/la candidato/a dovrà esporre uno dei case studies presentati a lezione dedicati agli articoli scientifici storici. La presentazione dovrà essere strutturata come una breve lezione o intervento divulgativo simulato per un pubblico a scelta dello studente (es. classe di liceo, docenti di scuola superiore, o pubblico generico). Verrà valutata la capacità di trasporre la complessità della fonte originale in un racconto chiaro, rigoroso ed efficace dal punto di vista comunicativo. Colloquio orale: Discussione con domande aperte sui concetti teorici della comunicazione della scienza, sulle tecniche di public speaking e sui contenuti analizzati a lezione. Criteri di attribuzione del voto. La valutazione terrà conto di: - Padronanza e rigore scientifico nell'analisi della fonte / case study selezionato. - Efficacia comunicativa, chiarezza espositiva e capacità di adattamento del linguaggio al pubblico target scelto. - Capacità critica e rielaborazione personale durante le domande aperte.

English

Prerequisites

none

Programme

Reference books

Reference bibliography

Study modes

Exam modes

20410086 - ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA

Docente: URSINI FRANCESCO

Italiano

Prerequisiti

si vedano le informazioni presenti nella scheda del titolare del corso

Programma

si vedano le informazioni presenti nella scheda del titolare del corso

Testi

si vedano le informazioni presenti nella scheda del titolare del corso

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

si vedano le informazioni presenti nella scheda del titolare del corso

Modalità di valutazione

si vedano le informazioni presenti nella scheda del titolare del corso

English

Prerequisites

see the information in the course holder's sheet

Programme

see the information in the course holder's sheet

Reference books

see the information in the course holder's sheet

Reference bibliography

-

Study modes

see the information in the course holder's sheet

Exam modes

-

20410086 - ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA

Docente: FRANCIA DARIO

Italiano

Prerequisiti

Relatività Speciale. Elettromagnetismo.

Programma

§I. Introduzione: inerzia e covarianza Relatività Galileiana e Relatività Speciale. Il principio di equivalenza. Motivazioni per la covarianza generale. Sistemi inerziali locali. §II. Spaziotempo dinamico: fondamenti della Relatività Generale Coordinate curvilinee. Vettori e tensori sotto trasformazioni generali di coordinate. Trasporto parallelo e simboli di Christoffel. Derivate covarianti e compatibilità metrica. Vettori covariantemente conservati e densità vettoriali conservate. Trasformazione dei simboli di Christoffel. Il teorema di Ricci. Geodetiche e loro limite newtoniano. Curve tipo-spazio, tipo-tempo e tipo-luce. Coordinate normali e sistemi inerziali locali. Derivazione covariante lungo una curva. Tensore di curvatura di Riemann. Proprietà algebriche. Identità Bianchi. Sistemi inerziali locali. Caratterizzazione degli spazi piatti. Deviazione geodetica. Azione di Einstein-Hilbert ed equazioni del moto. L'identità di Palatini. Costante cosmologica. Accoppiamento a materia non dinamica: identità di Bianchi contratta, tensore energia impulso della materia e conservazione covariante. Accoppiamento minimale a campi scalari ed elettromagnetici. §III. Approssimazione lineare e onde gravitazionali Motivazioni. Fluttuazioni dello spazio-tempo piatto: tensore di Riemann linearizzato e sua invarianza di gauge abeliana. Equazioni del moto: gauge di de Donder e onde gravitazionali. Confronto con la teoria di Maxwell. §IV. Isometrie e spazi massimamente simmetrici Simmetrie di tensori: invarianza di forma. Equazioni di Killing. Condizione di integrabilità e numero massimo di isometrie. La derivata di Lie. Vettori di Killing e leggi di conservazione. L'esempio dello spazio di Minkowski. Isometrie traslazionali. §V. La soluzione di Schwarzschild Metrica di Schwarzschild. Simmetria sferica e teorema di Birkhoff (senza dimostrazione). Vettori di Killing della metrica di Schwarzschild. Redshift gravitazionale.

Testi

- Susskind L, Cabannes - Relatività Generale, (Raffaello Cortina Editore, 2024) Altri testi consigliati: - Rovelli C, Relatività Generale, (Adelphi, 2021).

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Lezioni frontali alla lavagna

Modalità di valutazione

Prove in itinere: due esoneri, ciascuno della durata di un'ora, con domande a risposta aperta. Il primo esonero viene proposto a metà corso, il secondo successivamente al completamento del programma. Gli esoneri simulano in forma scritta lo svolgimento di un esame

orale. Le domande sono formulate per punti, così da consentire agli studenti di sviluppare la loro risposta anche in assenza del feedback del docente. Vengono aggiunte domande segnalate come opzionali pensate per consentire per gli studenti di migliorare il livello degli elaborati. La valutazione dei compiti prevede una griglia di punteggio assegnata ad ogni punto, ma resta libera la discrezione del docente di valutare aspetti complessivi degli elaborati quali la padronanza complessiva della materia, la coerenza e la completezza del discorso, l'accuratezza del linguaggio e così via. Con la sufficienza ad entrambi gli esoneri si è esentati dalla prova orale per la parte di Relatività Generale Esami orali: una domanda relativa alla parte di Relatività Generale

English

Prerequisites

Special Relativity. Electromagnetism.

Programme

§I. Introduction: inertia and covariance Galilean Relativity and Special Relativity. The Equivalence Principle. Motivations for general covariance. Local inertial frames. §II. Dynamical spacetime: basics of General Relativity Curvilinear coordinates. Vectors and tensors under general coordinate transformations. Parallel transport and Christoffel symbols. Covariant derivatives and metric compatibility. Covariantly conserved vectors and conserved vector densities. Transformation of the Christoffel symbols. Ricci's theorem. Geodesics and their Newtonian limit. Time-like, null and space-like curves. Normal coordinates and local inertial frames. Covariant derivation along curves. Riemann curvature tensor. Algebraic properties. Bianchi identities. Local inertial frames. Characterisation of flat spaces. Geodesic deviation. Einstein-Hilbert action and equations of motion. The Palatini identity. Non-dynamical sources: contracted Bianchi identity, matter energy-momentum tensor and covariant conservation. Minimal coupling to scalar fields and to Maxwell fields. §III. Linear approximation and gravitational waves Motivations. Weak fluctuations over flat space-time: linearised Riemann tensor and its abelian gauge invariance. Equations of motion: de Donder gauge and gravitational waves. Comparing to Maxwell's theory. §IV. Isometries and maximally symmetric spaces Symmetries of tensors: form-invariance. Killing equations. Integrability condition and maximal number of isometries. The Lie derivative. Killing vectors and conservation laws. The example of Minkowski space. Translational isometries. §V. Basics of the Schwarzschild solution Schwarzschild metric. Spherical symmetry and Birkhoff's theorem (without proof). Killing vectors of Schwarzschild's metric. Gravitational redshift.

Reference books

- Wald R, General Relativity (The University of Chicago Press, 1984). -Carroll S Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity (Addison-Wesley 2014/Cambridge University Press, 2019) Additional references: -Dirac P A M General Theory of Relativity (Princeton University Press, 1996) -Hartle S Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity (Cambridge University Press, 2021) -Rovelli C, General Relativity - the Essentials, (Cambridge University Press, 2021). -Weinberg S, Gravitation and Cosmology - principles and applications of the general theory of relativity, (John Wiley & Sons, 1972).

Reference bibliography

-

Study modes

Blackboard lectures

Exam modes

-

20410585 - FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE

Docente: GALLO PAOLA

Italiano

Prerequisiti

Nessun prerequisito

Programma

1 - Richiami di Termodinamica e Meccanica Statistica. Funzioni termodinamiche estensive ed intensive. Condizioni di equilibrio. Trasformate di Legendre e potenziali termodinamici. Condizioni di stabilità delle fasi. Transizioni di fase e loro classificazione. Equazione di Van der Waals. Richiami della teoria degli ensembles statistici. Fluttuazioni. 2 - Forze fra atomi e ordine a corto raggio. Caratterizzazione dello stato liquido della materia. Caratterizzazione dei materiali soffici. Forze fra atomi e potenziali efficaci. Funzioni di distribuzione nel canonico e nel gran canonico. Funzione di distribuzione radiale e relazione con la termodinamica. Il fattore di struttura statico. Misura della struttura di un liquido con tecniche di scattering di raggi X e di neutroni. Fattori di struttura e funzioni di distribuzione radiale di miscele liquide e liquidi molecolari. Teoria del funzionale densità classico. Equazione di Ornstein-Zernike. Relazioni di chiusura per il funzionale di densità. 3 - Simulazione numerica di material liquida e soffice Metodi di simulazione stocastici e deterministici. Metodo della Dinamica Molecolare. Algoritmi alla Verlet. Dinamica molecolare a temperatura e a pressione costante. Il metodo di simulazione Monte Carlo. Simulazione Monte Carlo in diversi ensemble. Metodi di simulazione di equilibrio delle fasi. Applicazione dei metodi Monte Carlo e Dinamica Molecolare ai liquidi complessi e ai materiali soffici. 4 - Dinamica dei liquidi e della materia soffice Funzioni di correlazione dipendenti dal tempo. Diffusione anelastica dei neutroni e misura del fattore di struttura dinamico. Funzioni di correlazione di Van Hove. Principio del bilancio dettagliato. Teoria della risposta lineare. Funzione risposta. Teorema di fluttuazione-dissipazione. Diffusione delle particelle. Coefficiente di diffusione. Funzione di correlazione delle velocità. Idrodinamica e modi collettivi. Scattering Brillouin. Funzioni memoria. 5 - Stati metastabili, liquidi sottoraffreddati e transizione vetrosa per liquidi e materiali soffici. Stabilità e metastabilità. Curva spinodale dall'equazione di Van der Waals. Fluttuazioni e andamenti delle funzioni di correlazione vicino al punto critico. Liquidi sottoraffreddati e transizione vetrosa. Diagramma di Angell. Entropia configurazionale e temperatura di Kauzmann. La dinamica lenta dei liquidi sottoraffreddati e della materia soffice e la teoria di Mode Coupling.

Testi

J.P. Hansen and I.R. McDonald, Theory of Simple Liquids, seconda edizione, Academic Press. N. H. March and M. P. Tosi, Introduction

to Liquid State Physics, World Scientific. P. G. Debenedetti, Metastable Liquids, Princeton University Press.

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

La parte di esposizione delle teorie viene svolta alla lavagna per consentire agli studenti di comprendere gli sviluppi analitici necessari. In particolare viene mostrato come da modelli microscopici si possano ricavare risultati da confrontare con esperimenti. Vengono introdotti poi i metodi sperimentali che consentono di osservare le proprietà dei vari sistemi di interesse. Per tale motivo in alcune fasi del corso le lezioni alla lavagna vengono integrate da presentazioni con proiezione di risultati sperimentali e/o ottenuti con simulazione al computer.

Modalità di valutazione

L'esame finale è in forma orale. Esso consiste di due parti. La prima è l'esposizione di un argomento a scelta dello studente fra quelli in programma. Questa parte consente di evidenziare quanto lo studente sappia approfondire un tema ed entrare nei dettagli sia della derivazione teorica sia della fenomenologia. Lo studente che si trova all'ultimo anno della laurea magistrale apprende in questo modo ad esporre l'argomento come si trattasse di un seminario, questo è utile per il suo futuro di laureando. La seconda parte dell'esame orale consiste in una domanda su altro argomento in programma. In questo caso lo studente può rispondere senza entrare in tutti i dettagli della derivazione dei risultati. Sapere esporre un argomento a grandi linee in modo comprensibile è anche importante nei diversi rami della Fisica.

English

Prerequisites

No previous knowledge

Programme

1 - Review of Thermodynamics and Statistical Mechanics. Extensive and intensive thermodynamic functions. Conditions of equilibrium. Legendre transforms and thermodynamic potentials. Phase stability conditions. Phase transitions and their classification. Van der Waals equation. Review of the theory of statistical ensembles. Fluctuations. 2 - Forces between atoms and short-range order. Characterization of the liquid state of matter. Characterization of soft materials. Forces between atoms and effective potentials. Distribution functions in the canon and the grand canon. Radial distribution function and relationship with thermodynamics. The static structure factor. Measurement of the structure of a liquid with X-ray and neutron scattering techniques. Structure factors and radial distribution functions of liquid and liquid molecular mixtures. Classic density functional theory. Ornstein-Zernike equation. Closing relations for the density functional. 3 - Numerical simulation of liquid and soft material Stochastic and deterministic simulation methods. Molecular Dynamics Method. Verlet-style algorithms. Molecular dynamics at constant temperature and pressure. The Monte Carlo simulation method. Monte Carlo simulation in different ensembles. Phase equilibrium simulation methods. Application of Monte Carlo and Molecular Dynamics methods to complex liquids and soft materials. 4 - Dynamics of liquids and soft matter Time-dependent correlation functions. Inelastic diffusion of neutrons and measurement of the dynamic structure factor. Van Hove correlation functions. Principle of the detailed budget. Linear response theory. Answer function. Fluctuation-dissipation theorem. Diffusion of particles. Diffusion coefficient. Speed correlation function. Hydrodynamics and collective modes. Scattering Brillouin. Memory functions. 5 - Metastable states, subcooled liquids and glass transition for liquids and soft materials. Stability and metastability. Spinodal curve from the Van der Waals equation. Fluctuations and trends of correlation functions near the critical point. Subcooled liquids and glass transition. Angell diagram. Configurational entropy and Kauzmann temperature. The slow dynamics of subcooled liquids and soft matter and the theory of Mode Coupling.

Reference books

J.P. Hansen and I.R. McDonald, Theory of Simple Liquids, seconda edizione, Academic Press. N. H. March and M. P. Tosi, Introduction to Liquid State Physics, World Scientific. P. G. Debenedetti, Metastable Liquids, Princeton University Press.

Reference bibliography

-

Study modes

The exposition part of the theories is done on the board to allow students to understand the necessary analytical developments. In particular, it is shown how from microscopic models it is possible to obtain results to be compared with experiments. The experimental methods are then introduced that allow to observe the properties of the various systems of interest. For this reason, in some phases of the course the lessons on the blackboard are integrated with presentations with projection of experimental results and / or obtained with computer simulation.

Exam modes

-

20410098 - FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI

Docente: TOSI Federico

Italiano

Prerequisiti

nessuno specifico

Programma

1 Sistema Solare - Descrizione del Sistema Solare nel suo insieme, distribuzione di massa e di momento angolare, osservabili astrofisiche. - Descrizione delle osservabili planetologiche: caratteristiche dei pianeti, dei sistemi di satelliti, dei corpi minori del Sistema Solare - I pianeti terrestri: caratteristiche generali e processi evolutivi delle superfici planetarie. - I pianeti terrestri: storia termica, craterizzazione, vulcanismo, tettonica. Planetologia comparata. - Meteoriti e corpi minori: indizi per la formazione del Sistema Solare,

cenni sulla datazione - I pianeti giganti - Satelliti planetari - Struttura interna dei pianeti, differenze tra pianeti terrestri e giganti, evoluzione - Atmosfere planetarie 2 Pianeti Extrasolari - Introduzione storica - Metodi indiretti per la scoperta dei pianeti Extrasolari - Metodi diretti per la scoperta dei pianeti Extrasolari - Caratteristiche dei pianeti Extrasolari - Fisica dei Pianeti Extrasolari - Caratterizzazione e risultati - Quale vita? - Abitabilità e zona abitabile - La ricerca della vita 3 Parte Comune - Cenni sulla Teoria della formazione planetaria

Testi

non esiste un testo unico che tratti in modo completo gli argomenti del corso. Un testo consigliato è: Imke de Pater and Jack J. Lissauer, Planetary Sciences, Cambridge University Press. Durante il corso verranno suggeriti di volta in volta articoli scientifici di review.

Materiali: - Slides del corso - Articoli scientifici

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Le lezioni avvengono in aula in modo frontale utilizzando sia supporti digitali (proiezione di slide, corti filmati) sia supporti tradizionali (uso della lavagna) soprattutto nella spiegazione e svolgimento delle dimostrazioni. Durante lo svolgimento delle lezioni è incoraggiata la discussione su articoli scientifici inerenti agli argomenti di frontiera che vengono trattati nel corso.

Modalità di valutazione

L'esame si svolge in forma orale sulla base di tre domande aperte volte a comprendere la padronanza e la preparazione degli argomenti del corso. Inoltre, allo studente vengono forniti due articoli di revisione scientifica che lo studente deve studiare. Durante l'esame, lo studente dovrà esporre quello che viene estratto a sorte. La valutazione si basa sulla comprensione e padronanza dell'argomento e sulla proprietà del linguaggio con cui è esposto.

English

Prerequisites

none

Programme

1 Solar System Part - Overall description of the Solar System, mass and angular momentum distribution, astrophysical variables. - Overall description of planets, their main characteristics ; description of planetary satellites systems and of minor bodies of the Solar System. - Terrestrial planets: main characteristics and evolutive processes of planetary surfaces. - Terrestrial planets: thermal history, impact cratering processes, volcanism, tectonics.Comparative planetology. - Meteorites and minor bodies; radiometric dating and clues for the formation of the Solar System. - Giant planets - Planetary satellites - Internal structure of planets, different evolution of terrestrial and giant planets. - Planetary atmospheres 2 Extrasolar Planets Part - Historical Introduction - Exo planets Indirect discovery methods - Exo planets Direct discovery methods - Exo Planets Characteristics - Physics of extrasolar Planets - Characterization and results - Which Life? - Habitability and Habitable Zone - The search for life 3 Common Part - Introduction to the Planetary formation Theory

Reference books

There isn't a single book that covers all the topics of the course completely. A recommended book is: Imke de Pater and Jack J. Lissauer, Planetary Sciences, Cambridge University Press. During the course, review scientific articles will be suggested from time to time. Materials: - Course slides - Scientific articles

Reference bibliography

-

Study modes

The lectures take place in the classroom in a frontal way using both digital supports (slide projection, short films) and traditional supports (use of the blackboard) especially in the explanation and development of the demonstrations. During the lessons, discussion on scientific articles related to the frontier topics that are treated during the course is encouraged.

Exam modes

-

20410098 - FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI

Docente: CLAUDI Riccardo

Italiano

Prerequisiti

nessuno specifico

Programma

1 Sistema Solare - Descrizione del Sistema Solare nel suo insieme, distribuzione di massa e di momento angolare, osservabili astrofisiche. - Descrizione delle osservabili planetologiche: caratteristiche dei pianeti, dei sistemi di satelliti, dei corpi minori del Sistema Solare - I pianeti terrestri:caratteristiche generali e processi evolutivi delle superfici planetarie. - I pianeti terrestri:storia termica, craterizzazione, vulcanismo, tettonica. Planetologia comparata. - Meteoriti e corpi minori: indizi per la formazione del Sistema Solare, cenni sulla datazione - I pianeti giganti - Satelliti planetari - Struttura interna dei pianeti, differenze tra pianeti terrestri e giganti, evoluzione - Atmosfere planetarie 2 Pianeti Extrasolari - Introduzione storica - Metodi indiretti per la scoperta dei pianeti Extrasolari - Metodi diretti per la scoperta dei pianeti Extrasolari - Caratteristiche dei pianeti Extrasolari - Fisica dei Pianeti Extrasolari - Caratterizzazione e risultati - Quale vita? - Abitabilità e zona abitabile - La ricerca della vita 3 Parte Comune - Cenni sulla Teoria della formazione planetaria

Testi

- non esiste un testo unico che tratti in modo completo gli argomenti del corso. Un testo consigliato è: Imke de Pater and Jack J. Lissauer, Planetary Sciences, Cambridge University Press. Durante il corso verranno suggeriti di volta in volta articoli scientifici di review. Materiali: - Slides del corso - Articoli scientifici

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Le lezioni avvengono in aula in modo frontale utilizzando sia supporti digitali (proiezione di slide, corti filmati) sia supporti tradizionali (uso della lavagna) soprattutto nella spiegazione e svolgimento delle dimostrazioni. Durante lo svolgimento delle lezioni è incoraggiata la discussione su articoli scientifici inerenti agli argomenti di frontiera che vengono trattati nel corso.

Modalità di valutazione

L'esame si svolge in forma orale sulla base di tre domande aperte volte a comprendere la padronanza e la preparazione degli argomenti del corso. Inoltre, allo studente vengono forniti due articoli di revisione scientifica che lo studente deve studiare. Durante l'esame, lo studente dovrà esporre quello che viene estratto a sorte. La valutazione si basa sulla comprensione e padronanza dell'argomento e sulla proprietà del linguaggio con cui è esposto.

English

Prerequisites

none

Programme

1 Solar System Part - Overall description of the Solar System, mass and angular momentum distribution, astrophysical variables. - Overall description of planets, their main characteristics ; description of planetary satellites systems and of minor bodies of the Solar System. - Terrestrial planets: main characteristics and evolutive processes of planetary surfaces. - Terrestrial planets: thermal history, impact cratering processes, volcanism, tectonics. Comparative planetology. - Meteorites and minor bodies; radiometric dating and clues for the formation of the Solar System. - Giant planets - Planetary satellites - Internal structure of planets, different evolution of terrestrial and giant planets. - Planetary atmospheres 2 Extrasolar Planets Part - Historical Introduction - Exo planets Indirect discovery methods - Exo planets Direct discovery methods - Exo Planets Characteristics - Physics of extrasolar Planets - Characterization and results - Which Life? - Habitability and Habitable Zone - The search for life 3 Common Part - Introduction to the Planetary formation Theory

Reference books

There isn't a single book that covers all the topics of the course completely. A recommended book is: Imke de Pater and Jack J. Lissauer, Planetary Sciences, Cambridge University Press. During the course, review scientific articles will be suggested from time to time. Materials: - Course slides - Scientific articles

Reference bibliography

-

Study modes

Lessons take place in the classroom in a frontal way using both digital supports (slide projection, short films) and traditional supports (use of the blackboard) especially in the explanation and development of the demonstrations. During the lessons, discussion on scientific articles related to the frontier topics that are treated during the course is encouraged.

Exam modes

-

20410711 - Fisica dei Solidi e delle Nanostrutture - MOD A

Docente: DE SETA MONICA

Italiano

Prerequisiti

Elementi base di fisica dei solidi. Reticolo di Bravais e reticolo reciproco nei solidi cristallini. Struttura a bande dei solidi cristallini e teorema di Bloch. Densità degli stati e degli stati occupati. Trattazione semiclassica e quantistica delle vibrazioni reticolari: branche acustiche e ottiche per i fononi. Distribuzione di Bose Einstein per i fononi e modello di Debye. Equazioni semiclassiche della dinamica dell'elettrone di Bloch. Concetto di massa efficace. Modello di Drude per la corrente e proprietà elettriche di isolanti metalli e semiconduttori. Fisica di base dei semiconduttori, concetto di lacuna, portatori di equilibrio in semiconduttori intrinseci e drogati n e p. Fenomenologia della giunzione p-n.

Programma

Richiami di calcolo a bande nei solidi. Bande di sistemi semiconduttori III-V e IV. Bande e superficie di Fermi dei metalli alcalini, metalli nobili, metalli semplici bivalenti e trivalenti; metalli di transizione. Proprietà di trasporto Richiami del modello di Drude. Equazioni semiclassiche del moto. Equazione del trasporto di Boltzmann. Interazione elettrone - fonone. Approssimazione del tempo di rilassamento. Conduttività elettrica nell'approssimazione del tempo di rilassamento. Potere termoelettrico e conducibilità termica degli elettroni. Corrente di diffusione e di drift. Equazione di continuità e termini di generazione e ricombinazione nei semiconduttori. Tempo di ricombinazione e lunghezza di diffusione. Giunzione p-n in condizioni di non equilibrio. Proprietà ottiche Equazioni di Maxwell nei solidi. Costante dielettrica complessa e suo significato. Coefficiente di assorbimento e riflessione. Relazioni di Kramers Kronig. Oscillatore di Lorentz. Teoria di Drude delle proprietà ottiche di cariche libere. Oscillazioni di plasma. Modello classico per la costante dielettrica. Transizioni interbanda: transizioni dirette. Densità congiunta degli stati, punti critici. Funzione dielettrica del Ge e della grafite. Transizioni interbanda indirette. Effetti eccitonici. Assorbimento da fononi ottici. Proprietà magnetiche della materia. Moto di

elettroni liberi e di elettroni di Bloch in campo magnetico. Trattazione quantistica e livelli di Landau. Degenerazione e riempimento dei livelli di Landau. Suscettività magnetica. Paramagnetismo e diamagnetismo. Diamagnetismo di Larmor. Origine del momento magnetico atomico, regole di Hund. Effetti del campo cristallino nei solidi. Legge di Curie del paramagnetismo. Paramagnetismo di Van Vleck e di Pauli. Diamagnetismo di Landau. Teoria di campo medio del ferromagnetismo: modello di Weiss. Legge di Curie-Weiss. Anti-Ferromagnetismo. Interazione di scambio e modello di Heisenberg. Interpretazione microscopica del campo di Weiss. Interazione dipolare e domini magnetici. Approssimazione della massa efficace. Livelli di impurezza nei semiconduttori drogati. Eterogiunzioni e eterostrutture. Stati elettronici e densità degli stati nelle buche quantiche, nei fili quantici e nei punti quantici. Giunzione metallo semiconduttore. Gas di elettroni 2D: lunghezze caratteristiche per il trasporto in sistemi a bassa dimensionalità. Trasporto balistico e quantizzazione della conduttanza nei sistemi 1-dimensionali. Effetto Hall quantistico. Diodo tunnel Risonante. Proprietà ottiche dei sistemi a bassa dimensionalità.

Testi

Grosso-Pastori-Parravicini: "Solid State Physics" Datta s.: Electronic transport in mesoscopic systems [Cambridge university press] Davies j. H. : The physics of low dimensional semiconductors [Cambridge university press] Ashcroft-Mermin: "Solid State Physics"

Bibliografia di riferimento

Datta s.: Electronic transport in mesoscopic systems [Cambridge university press] Davies j. H. : The physics of low dimensional semiconductors [Cambridge university press] Ashcroft-Mermin: "Solid State Physics"

Modalità erogazione

Lezioni frontali. I dettagli dei calcoli matematici saranno eseguiti alla lavagna. Alcuni argomenti verranno illustrati proiettando delle diapositive e riportando come esempio casi presi dalla letteratura scientifica recente.

Modalità di valutazione

esame finale in forma orale. L'esame consiste in 2-3 domande sugli argomenti del corso. Si richiede allo studente di mostrare una autonoma capacità di inquadrare gli argomenti richiesti in un quadro generale, nonché di saper eseguire i calcoli matematici

English

Prerequisites

Elements of solid-state physics. Bravais lattice and reciprocal lattice in crystalline solids. Band structure of crystalline solids and Bloch's theorem. Density of states and density of occupied states. Semiclassical and quantum treatment of lattice vibrations: acoustic and optical branches for phonons. Bose-Einstein distribution for phonons and the Debye model. Semiclassical equations of Bloch electron dynamics. Concept of effective mass. Drude model for electrical current and electrical properties of insulators, metals, and semiconductors. Basic semiconductor physics, the concept of holes, and equilibrium carriers in intrinsic and n- and p-type doped semiconductors. Phenomenology of the p-n junction.

Programme

Electronic Band Structure in Solids Review of band structure calculations in solids. Electronic band structures of III-V and group-IV semiconductors. Electronic bands and Fermi surfaces of alkali metals, noble metals, simple divalent and trivalent metals, and transition metals. Transport Properties Review of the Drude model. Semiclassical equations of motion. Boltzmann transport equation. Electron-phonon interaction. Relaxation-time approximation. Electrical conductivity within the relaxation-time approximation. Thermoelectric power and electronic thermal conductivity. Diffusion and drift currents. Continuity equation and generation-recombination processes in semiconductors. Recombination time and diffusion length. Non-equilibrium p-n junctions. Optical Properties Maxwell's equations in solids. Complex dielectric constant and its physical meaning. Absorption and reflection coefficients. Kramers-Kronig relations. Lorentz oscillator model. Drude theory of the optical properties of free carriers. Plasma oscillations. Classical model of the dielectric constant. Interband transitions: direct transitions. Joint density of states and critical points. Dielectric function of germanium and graphite. Indirect interband transitions. Excitonic effects. Optical-phonon absorption. Magnetic Properties of Matter Motion of free electrons and Bloch electrons in a magnetic field. Quantum-mechanical treatment and Landau levels. Magnetic susceptibility. Paramagnetism and diamagnetism. Larmor diamagnetism. Origin of the atomic magnetic moment and Hund's rules. Crystal-field effects in solids. Curie law of paramagnetism. Van Vleck and Pauli paramagnetism. Landau diamagnetism. Mean-field theory of ferromagnetism: Weiss model. Curie-Weiss law. Antiferromagnetism. Exchange interaction and the Heisenberg model. Microscopic interpretation of the Weiss field. Dipolar interactions and magnetic domains. Low-Dimensional Systems Effective-mass approximation. Impurity levels in doped semiconductors. Heterojunctions and heterostructures. Electronic states and density of states in quantum wells, quantum wires, and quantum dots. Metal-semiconductor junctions. Two-dimensional electron gas (2DEG): characteristic length scales for transport in low-dimensional systems. Ballistic transport and conductance quantization in one-dimensional systems. Quantum Hall effect. Resonant tunneling diode. Optical properties of low-dimensional systems.

Reference books

Grosso-Pastori-Parravicini: "Solid State Physics" Datta s.: Electronic transport in mesoscopic systems [Cambridge university press] Davies j. H. : The physics of low dimensional semiconductors [Cambridge university press] Ashcroft-Mermin: "Solid State Physics"

Reference bibliography

Datta s.: Electronic transport in mesoscopic systems [Cambridge university press] Davies j. H. : The physics of low dimensional semiconductors [Cambridge university press] Ashcroft-Mermin: "Solid State Physics"

Study modes

Lectures . The details of the mathematical calculations will be performed on the black-board. Some topics will be shown by projecting slides and reporting examples taken from recent scientific literature as an example.

Exam modes

-

20410711 - Fisica dei Solidi e delle Nanostrutture - MOD A

Docente: DI GASPARE LUCIANA

Italiano

Prerequisiti

Conoscenze di base di fisica dello stato solido

Programma

Richiamo dei metodi di calcoli della struttura a bande nei solidi: strutture a bande elettroniche dei semiconduttori III-V e del gruppo IV. Bande elettroniche e superfici di Fermi dei metalli alcalini, metalli nobili, metalli semplici divalenti e trivalenti, e metalli di transizione. Proprietà di Trasporto Richiamo del modello di Drude. Equazioni semiclassiche del moto. Equazione del trasporto di Boltzmann. Interazione elettrone-fonone. Approssimazione del tempo di rilassamento. Conduttività elettrica nell'approssimazione del tempo di rilassamento. Potere termoelettrico e conducibilità termica elettronica. Correnti di diffusione e di drift. Equazione di continuità e processi di generazione-ricombinazione nei semiconduttori. Tempo di ricombinazione e lunghezza di diffusione. Giunzioni p-n in non-equilibrio. Proprietà Ottiche Equazioni di Maxwell nei solidi. Costante dielettrica complessa e suo significato fisico. Coefficienti di assorbimento e riflessione. Relazioni di Kramers-Kronig. Modello dell'oscillatore di Lorentz. Teoria di Drude delle proprietà ottiche dei portatori liberi. Oscillazioni di plasma. Modello classico della costante dielettrica. Transizioni interbanda: transizioni dirette. Densità congiunta degli stati e punti critici. Funzione dielettrica del germanio e della grafite. Transizioni interbanda indirette. Effetti eccitonici. Assorbimento da fononi ottici. Proprietà Magnetiche della Materia Moto di elettroni liberi ed elettroni di Bloch in un campo magnetico. Trattamento quantistico e livelli di Landau. Suscettività magnetica. Paramagnetismo e diamagnetismo. Diamagnetismo di Larmor. Origine del momento magnetico atomico e regole di Hund. Effetti di campo cristallino nei solidi. Legge di Curie del paramagnetismo. Paramagnetismo di Van Vleck e di Pauli. Diamagnetismo di Landau. Teoria del campo medio del ferromagnetismo: modello di Weiss. Legge di Curie-Weiss. Antiferromagnetismo. Interazione di scambio e modello di Heisenberg. Interpretazione microscopica del campo di Weiss. Interazioni dipolari e domini magnetici. Sistemi a Bassa Dimensionalità Approssimazione della massa efficace. Livelli impuri nei semiconduttori drogati. Eterogiunzioni ed eterostrutture. Stati elettronici e densità degli stati in buche quantiche, fili quantici e punti quantici (quantum dots). Giunzioni metallo-semiconduttore. Gas elettronico bidimensionale (2DEG): scale di lunghezza caratteristiche per il trasporto nei sistemi a bassa dimensionalità. Trasporto balistico e quantizzazione della conduttanza in sistemi monodimensionali. Effetto Hall quantistico. Diodo a effetto tunnel risonante. Proprietà ottiche dei sistemi a bassa dimensionalità.

Testi

Ashcroft-Mermin: "Solid State Physics" Grosso-Pastori-Parravicini: "Solid State Physics" Datta s.: Electronic transport in mesoscopic systems [Cambridge university press] Davies j. H. : The physics of low dimensional semiconductors [Cambridge university press]

Bibliografia di riferimento

Ashcroft-Mermin: "Solid State Physics" Grosso-Pastori-Parravicini: "Solid State Physics" Datta s.: Electronic transport in mesoscopic systems [Cambridge university press] Davies j. H. : The physics of low dimensional semiconductors [Cambridge university press]

Modalità erogazione

Lezioni frontali. I dettagli dei calcoli matematici saranno eseguiti alla lavagna. Alcuni argomenti verranno illustrati proiettando delle diapositive e riportando come esempio casi presi dalla letteratura scientifica recente.

Modalità di valutazione

esame finale in forma orale. L'esame consiste in 2-3 domande sugli argomenti del corso. Si richiede allo studente di mostrare una autonoma capacità di inquadrare gli argomenti richiesti in un quadro generale, nonché di saper eseguire i calcoli matematici

English

Prerequisites

Basic Knowledge of Solid State Physics

Programme

Review of band structure calculations in solids: electronic band structures of III-V and group-IV semiconductors. Electronic bands and Fermi surfaces of alkali metals, noble metals, simple divalent and trivalent metals, and transition metals. Transport Properties Review of the Drude model. Semiclassical equations of motion. Boltzmann transport equation. Electron-phonon interaction. Relaxation-time approximation. Electrical conductivity within the relaxation-time approximation. Thermoelectric power and electronic thermal conductivity. Diffusion and drift currents. Continuity equation and generation-recombination processes in semiconductors. Recombination time and diffusion length. Non-equilibrium p-n junctions. Optical Properties Maxwell's equations in solids. Complex dielectric constant and its physical meaning. Absorption and reflection coefficients. Kramers-Kronig relations. Lorentz oscillator model. Drude theory of the optical properties of free carriers. Plasma oscillations. Classical model of the dielectric constant. Interband transitions: direct transitions. Joint density of states and critical points. Dielectric function of germanium and graphite. Indirect interband transitions. Excitonic effects. Optical-phonon absorption. Magnetic Properties of Matter Motion of free electrons and Bloch electrons in a magnetic field. Quantum-mechanical treatment and Landau levels. Magnetic susceptibility. Paramagnetism and diamagnetism. Larmor diamagnetism. Origin of the atomic magnetic moment and Hund's rules. Crystal-field effects in solids. Curie law of paramagnetism. Van Vleck and Pauli paramagnetism. Landau diamagnetism. Mean-field theory of ferromagnetism: Weiss model. Curie-Weiss law. Antiferromagnetism. Exchange interaction and the Heisenberg model. Microscopic interpretation of the Weiss field. Dipolar interactions and magnetic domains. Low-Dimensional Systems Effective-mass approximation. Impurity levels in doped semiconductors. Heterojunctions and heterostructures. Electronic states and density of states in quantum wells, quantum wires, and quantum dots. Metal-semiconductor junctions. Two-dimensional electron gas (2DEG): characteristic length scales for transport in low-dimensional systems. Ballistic transport and conductance quantization in one-dimensional systems. Quantum Hall effect. Resonant tunneling diode. Optical properties of low-dimensional systems.

Reference books

Ashcroft-Mermin: "Solid State Physics" Grosso-Pastori-Parravicini: "Solid State Physics" Datta s.: Electronic transport in mesoscopic systems [Cambridge university press] Davies j. H. : The physics of low dimensional semiconductors [Cambridge university press]

Reference bibliography

Ashcroft-Mermin: "Solid State Physics" Grosso-Pastori-Parravicini: "Solid State Physics" Datta s.: Electronic transport in mesoscopic

systems [Cambridge university press] Davies j. H. : The physics of low dimensional semiconductors [Cambridge university press)

Study modes

Lectures . The details of the mathematical calculations will be performed on the black-board. Some topics will be shown by projecting slides and reporting examples taken from recent scientific literature as an example.

Exam modes

-

20402259 - FISICA DEL CLIMA

Docente: DELL'AQUILA Alessandro

Italiano

Prerequisiti

vedere le informazioni nella scheda del corso relativa al docente titolare

Programma

vedere le informazioni nella scheda del corso relativa al docente titolare

Testi

vedere le informazioni nella scheda del corso relativa al docente titolare

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

vedere le informazioni nella scheda del corso relativa al docente titolare

Modalità di valutazione

vedere le informazioni nella scheda del corso relativa al docente titolare

English

Prerequisites

see the information on the course page about the main instructor

Programme

see the information on the course page about the main instructor

Reference books

-

Reference bibliography

-

Study modes

see the information on the course page about the main instructor

Exam modes

-

20402259 - FISICA DEL CLIMA

Docente: PETITTA MARCELLO

Italiano

Prerequisiti

Conoscenze di meccanica, fluidodinamica, trasferimento radiativo, termodinamica.

Programma

Prima parte Definizione di clima (climatologia e meteorologia). Il sistema climatico (atmosfera, biosfera, criosfera, geosfera, idrosfera, Sole). La radiazione solare e il bilancio energetico della Terra (richiami di fisica solare, leggi della radiazione, assorbimento della radiazione solare nell'atmosfera). Atmosfera e clima (richiami di composizione, struttura e circolazione dell'atmosfera). Nubi e aerosol (richiami di processi di condensazione e formazione delle nubi). Oceano e clima (richiami di composizione, struttura e circolazione dell'oceano). Trasferimento radiativo (richiami di assorbimento, emissione e trasferimento radiativo dell'atmosfera). L'effetto serra (l'atmosfera come serra, i gas serra, calcolo del bilancio energetico, modelli di effetto serra). Lo strato di ozono (radiazione ultravioletta in atmosfera, fotochimica della produzione di ozono, misure di ozono, "buco" dell'ozono). Osservazioni climatiche con telerilevamento (misure da terra, misure satellitari, strumenti infrarossi, strumenti "limb viewing", applicazioni del telerilevamento agli studi climatici). Sensitività climatica e cambiamento climatico (cambiamenti astronomici, solari, atmosferici, oceanici e fluttuazioni di temperatura). Clima di altri pianeti. Clima e società. Variabilità multidecadale della temperatura superficiale del mare (seminario del Dr. Salvatore Marullo). Misura lidar di gas serra (visita al Centro Ricerche ENEA di Frascati). Seconda parte Introduzione ai modelli climatici. Il percorso concettuale dalle osservazioni alle simulazioni. Approcci dinamico e statistico. Gerarchia dei modelli climatici e loro

componenti, tipologie di modelli, il concetto di parametrizzazione. Modelli a Bilancio di Energia (EBM). Struttura generale di un EBM, EBM 0-dimensionali, EBM 1-dimensionali, parametrizzazioni negli EBM, applicazioni. Modelli Radiativo-Convettivi (RC) e Modelli a Complessità Intermedia (EMIC). Equilibrio radiativo e radiativo-convettivo e implementazione nei modelli climatici a complessità intermedia. Modelli Climatici Globali (GCM). Struttura di un GCM, componenti e interazioni, equazioni fondamentali e loro modellazione. Attività di attribution e risultati. Validazione dei modelli di clima. Cenni di modellistica climatica regionale e tecniche di downscaling. Scenari e proiezioni climatiche per il XXI secolo. Analizzare il clima e i suoi cambiamenti da un altro punto di vista: modelli a rete neurale e analisi di causalità di Granger. Dettagli sulle tecniche e risultati di attribution. Downscaling con modelli a rete neurale.

Testi

F. W. Taylor (2005), Elementary Climate Physics, Oxford. K. McGuffie & A. Henderson-Sellers (2014), The Climate Modelling Primer, 4th Edition, Wiley.

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Lezioni. Proiezione di slide. Elaborazione di semplici modelli climatici. Domande e risposte.

Modalità di valutazione

Esame finale orale: lo studente risponderà a un paio di domande, una relativa alla prima parte del corso, l'altra alla seconda, dimostrando una buona conoscenza dei temi

English

Prerequisites

Programme

first part Definition of climate (climatology and meteorology). The climate system (atmosphere, biosphere, cryosphere, geosphere, hydrosphere, Sun). The solar radiation and the energy balance of the Earth (solar physics calls, laws of radiation, absorption of solar radiation in the atmosphere). Atmosphere and Climate (recalls of composition, structure and circulation of the atmosphere). Clouds and aerosols (calls processes of condensation and cloud formation). Ocean and climate (recalls composition, structure and ocean circulation). Radiative transfer (calls of absorption, emission and radiative transfer of the atmosphere). The greenhouse effect (the atmosphere as greenhouse gas emissions, the calculation of the energy balance, greenhouse models). The ozone layer (ultraviolet radiation in the atmosphere, photochemical production of ozone, ozone measurements, "hole" ozone). Climate observation with remote sensing (measurements from land, satellite measurements, infrared instruments, tools "limb viewing", applications of remote sensing to studies climate). Climate sensitivity and climate change (changes astronomical, solar, atmospheric, oceanic and temperature fluctuations). Atmosphere of other planets. Climate and society. Multidecadal variability of sea surface temperature (seminar Dr. Salvatore Marullo). Lidar measurement of greenhouse gases (visit to the ENEA Frascati Research Center). second part Introduction to climate models. The conceptual path from observations to simulations. Dynamic and statistical approaches. Hierarchy of climate models and their components, types of models, the concept of parameter. Models Power Budget (EBM). General structure of an EBM, EBM 0-dimensional, one-dimensional EBM, parameter in EBM, applications. Radiative-convective models (RC) and models Intermediate Complexity (EMIC). Radiative-convective and radiative balance in climate models and implementation at intermediate complexity. Global Climate Models (GCMs). Structure of a GCM, components and interactions, fundamental equations and their modeling. Activities and results of attribution. Validation of climate models. Elements of regional climate modeling and downscaling techniques. Scenarios and climate projections for the XXI century. Analyze the climate and its changes from another point of view: neural network models and analysis of Granger causality. Details on techniques and results of attribution. Downscaling with neural network models.

Reference books

F. W. Taylor (2005), Elementary Climate Physics, Oxford. K. McGuffie & A. Henderson-Sellers (2014), The Climate Modelling Primer, 4th Edition, Wiley.

Reference bibliography

-

Study modes

Lessons. Slide projection. Development of simple climate models. Questions and answers.

Exam modes

-

20402259 - FISICA DEL CLIMA

Docente: DELL'AQUILA Alessandro

Italiano

Prerequisiti

vedere le informazioni nella scheda del corso relativa al docente titolare

Programma

vedere le informazioni nella scheda del corso relativa al docente titolare

Testi

vedere le informazioni nella scheda del corso relativa al docente titolare

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

vedere le informazioni nella scheda del corso relativa al docente titolare

Modalità di valutazione

vedere le informazioni nella scheda del corso relativa al docente titolare

English

Prerequisites

see the information on the course page about the main instructor

Programme

see the information on the course page about the main instructor

Reference books

-

Reference bibliography

-

Study modes

see the information on the course page about the main instructor

Exam modes

-

20402026 - FISICA DELLA IONOSFERA E DELLA MAGNETOSFERA

Docente: SCOTTO Carlo

Italiano

Prerequisiti

Nozioni di meccanica, termodinamica, campo magnetico, campo elettrico, onde elettromagnetiche a livello dei corsi di laurea triennale in fisica. Elementi di analisi matematica a livello dei corsi di laurea triennale in fisica.

Programma

Programma del Corso di fisica della ionosfera e della magnetosfera Docente: Carlo Scotto La maggior parte degli argomenti è trattato sul libro di G.W. Pröls ("Physics of the Earth's Space Environment", ed. Springer). Viene fatto riferimento ai paragrafi di detto libro. I restanti argomenti sono riportati nelle note di lezione distribuite. In esse è riportata la relativa bibliografia dettagliata. Introduzione: scopo del corso e presentazione degli argomenti trattati 1. Nozioni di fisica del plasma magneto-ionosferico Frequenza di plasma, distanza di Debye e potenziale di Debye-Hückel, condizioni di plasma, libero cammino medio, indice di rifrazione di fase per le onde radio in un plasma senza collisioni e in assenza di campo magnetico, plasma non caldo (Note di lezione). (pag. 232, § 7.3.1, § 7.3.2, § 7.3.3) . Energia del campo elettromagnetico (Note di lezione) . Moto delle cariche elettriche in un campo magnetico: moto di girazione, il momento magnetico come invariante adiabatico, moto ove $\text{grad}(B)$ è parallelo a B , bounce motion (§ 5.3.1, § 5.3.2, pp. 220-228), gradient drift motion (§ 5.3.2, pp. 228-229), neutral shift drift, drift $E \times B$ e conduttività del plasma in assenza di collisioni, drift sotto l'azione di forze esterne (§ 5.3.1, § 5.3.2, § 5.3.3 pp. 219-233). 2. Il mezzo interplanetario. La corona solare e il vento solare (§ 6.1 e 6.1.1, pp. 278-282, compresi tutti i richiami). Struttura del vento solare a grande scala e sul piano dell'eclittica (§ 6.1.6). Il campo magnetico interplanetario: osservazioni e caratteristiche fisiche (§ 6.2.1, pp. 300-304). Il current sheet eliosferico (§ 6.2.4). Struttura a settori della componente polare di B (§ 6.2.5). Teorema di Alfvén (Appendice A.14, pp.484-487). 3. Magnetosfera Il campo geomagnetico in prossimità della Terra (§ 5.2). Drift di curvatura (p. 233). Drift totale (p. 234-235). Moto composto dei portatori di cariche (§ 5.3.4). Popolazioni di particelle nella magnetosfera interna: fasce di radiazione, ring current, plasmasfera (§ 5.4). Il campo geomagnetico distante: configurazione e classificazione, correnti sul lato diurno della magnetopausa, riflessione delle particelle e formazione della corrente, sistema di correnti nella coda geomagnetica (§ 5.5). Popolazione di particelle nella magnetosfera esterna: magnetotail plasma sheet, magnetotail lobe plasma, magnetospheric boundary layer (§ 5.6). Formazione del bow shock e cenno al magnetosheat (§ 6.4 introduzione e § 6.4.1, pp. 325-328). 4. Ionosfera Processi di assorbimento, attenuazione della radiazione nei gas, deposizione di energia nell'alta atmosfera: funzione di Chapman. Ionosfera terrestre: cenni storici, profilo verticale di densità elettronica, temperatura ionosferica, produzione e scomparsa di ionizzazione, regioni ionosferiche, equilibrio elettronico, profilo verticale di densità elettronica nella regione E e nella regione F2. (§ 3.2; introduzione del cap 4, § 4.1, § 4.2, § 4.3). Morfologia della ionosfera: le cuspidi sulla traccia degli ionogrammi e le regioni ionosferiche (Note di lezione). Variazioni regolari della ionosfera: strati E ed F1 (Note di lezione). Variazioni irregolari della ionosfera: strato F2 (Note di lezione) . Strato E sporadico (Note di lezione) . Modello fotochimico semplificato per le regioni E ed F: strato F1 (Note di lezione). Modello fotochimico semplificato per la regione D (Note di lezione). Indice di rifrazione per le onde radio con collisioni ed in assenza di campo magnetico; interpretazione della parte immaginaria dell'indice di rifrazione: l'assorbimento (Note di lezione). Solar flares e short waves fadeout (Note di lezione). Ulteriori note sullo strato F1 (Note di lezione). Ulteriori note sullo strato E (Note di lezione). 5. Teoria Magnetoionica Introduzione. Equazioni costitutive per un plasma freddo con collisioni ed in presenza di un campo magnetico (Note di lezione). Indice di rifrazione per le onde radio nella ionosfera, trascurando le collisioni e considerando il campo magnetico terrestre: equazione di Appleton-Hartree (Note di lezione). Continuità di n_f in $X=1$. Gli zeri dell'equazione di Appleton-Hartree senza collisioni: caso di propagazione longitudinale, trasversale e generale (Note di lezione). Polarizzazione: continuità in $X=1$ nel caso generale e nel caso di propagazione longitudinale. Polarizzazione in propagazione longitudinale: dipendenza dal segno di Y_L . Polarizzazione in condizioni generali, per $X=1$ (Note di lezione). Indice di rifrazione per le onde radio nella ionosfera, considerando le collisioni e il campo magnetico terrestre. Cenno alla polarizzazione nel caso collisionale. Curve di $\#(X)$ con collisioni: importanza della regola di Booker (Note di lezione). Condizioni di riflessione e ionogrammi, traccia ordinaria, straordinaria. Raggio Z (Note di lezione). Esempi di ionogrammi (Note di lezione) Così come indicato nelle note di lezione, il materiale di questa unità didattica si trova su: Ratcliffe, J. A. (1959), The magneto-Ionic Theory and its Applications to the Ionosphere, Cambridge

University Press. 6. Assorbimento e dissipazione dell'energia del vento solare Topologia dell'alta atmosfera polare (§ 7.1). Campi elettrici, e convezione del plasma (§ 7.2). Conduttività e correnti nella ionosfera polare (§ 7.3). Aurore polari: dissipazione dell'energia delle particelle aurorali, origine delle particelle aurorali, aurora diffusa e discreta (§ 7.4). Solar Wind Dynamo (§ 7.6.1), magnetosfera aperta (§ 7.6.2), convezione del plasma nella magnetosfera aperta (§ 7.6.3), magnetosfera aperta con coda (§ 7.6.4), cenno alla riconnessione (parte del § 7.6.5), correnti di Birkeland nelle regioni 1 e 2 (§ 7.6.6). 7. Tempeste geosferiche Tempeste magnetiche: variazione regolari, elettrogetto equatoriale, attività magnetica alle basse, alte e medie latitudini, indici geomagnetici (§ 8.1). Sottotempeste magnetiche: fase di crescita e espansione, onde di Alfvén e loro ruolo (§ 8.3). Tempeste ionosferiche: tempeste negative e positive (§ 8.5).

Testi

1) G.W. Prölss "Physics of the Earth's Space Environment" 2) Appunti di lezione.

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

La materia trattata nel corso di "Fisica della ionosfera e della magnetosfera", richiede l'illustrazione di figure e schemi complessi. Essi non possono essere riprodotti, in tutti i casi, manualmente sulla lavagna in modo efficace per cui si deve ricorrere alla proiezione di diapositive (slides). Le diapositive hanno anche un'altra funzione: con esse si mostrano spesso degli schemi logici, attraverso i quali si cerca di focalizzare l'attenzione dello studente sui punti salienti delle trattazioni, sulle ipotesi dei ragionamenti, sui dati sperimentali che vengono assunti e su quanto, di volta in volta, si intende dimostrare. Una volta che la diapositiva di riferimento è stata proiettata, la trattazione prosegue in modo tradizionale alla lavagna, anche con lo svoglimento dei necessari passaggi matematici. Alcuni argomenti che sul testo di riferimento sono presentati in forma teorica, vengono invece proposti in forma di esercizio o di problema. Si crea così l'occasione per valutare se i risultati ottenuti siano plausibili e per focalizzare sull'ordine di grandezza dei diversi parametri fisici coinvolti. Una uscita di istruzione viene poi solitamente effettuata alla fine del corso, per visitare i laboratori dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Vengono presentati agli studenti, in modo diretto, i sistemi di acquisizione ed elaborazione di dati magnetici ed ionosferici, nonché i servizi in ambito Space Weather dell'INGV. Con l'occasione si mostrano attraverso l'internet anche i servizi di altre istituzioni nazionali ed internazionali. Si intende così richiamare l'attenzione degli studenti sul valore applicativo delle nozioni apprese durante il corso, sull'interesse verso lo Space Weather, sui notevoli investimenti che esso richiama e sul fatto che molteplici collaborazioni internazionali sono attive in detto settore.

Modalità di valutazione

L'esame viene svolto in forma orale tradizionale. Vengono solitamente rivolte allo studente tre domande su argomenti piuttosto ampi, trattati a lezione, ed esplicitamente indicati nel programma. Le domande sono poste in maniera tale da consentire una risposta con diversi gradi di approfondimento, permettendo allo studente di mostrare il livello di competenza raggiunta sull'argomento richiesto. Per ciascuna domanda principale, possono essere poste domande successive per richiedere precisazioni. Le domande successive, sono utili soprattutto per capire se una possibile esposizione troppo superficiale, è da porsi in relazione all'acquisizione approssimativa delle competenze oppure ad un eccessivo desiderio di sintesi. Allo studente non viene richiesto di svolgere esercizi o problemi durante l'esame orale, oltre a quelli discussi a lezione con, al più, qualche minima variante.

English

Prerequisites

Notions of mechanics, thermodynamics, magnetic field, electric field, electromagnetic waves at the level of three-year degree courses in physics. Elements of mathematical analysis at the level of three-year degree courses in physics.

Programme

Program of the course of "Physics of the Ionosphere and Magnetosphere" prof. Carlo Scotto Most of the topics are dealt in the book by G.W. Prölss ("Physics of the Earth's Space Environment", ed. Springer). Reference is made to the paragraphs of this book. The remaining topics are reported in the distributed Lesson Notes. The relevant detailed bibliography is shown in them. Introduction: purpose of the course and presentation of the topics covered. 1. Notions of magneto-ionospheric plasma physics Plasma frequency, Debye distance and Debye-Hückel potential, plasma conditions, free mean path, phase refraction index for radio waves in a plasma without collisions and in the absence of magnetic field, cold plasma (Lesson notes). (P. 232, § 7.3.1, § 7.3.2, § 7.3.3). Energy of the electromagnetic field (Lesson notes). Motion of electric charges in a magnetic field: gyration motion, the magnetic moment as an adiabatic invariant, motion where $\text{grad}(B)$ is parallel to B , bounce motion (§ 5.3.1, § 5.3.2, pp. 220-228), gradient drift motion (§ 5.3.2, pp. 228-229), neutral shift drift, drift $E \times B$ and plasma conductivity in the absence of collisions, drift under the action of external forces (§ 5.3.1, § 5.3.2, § 5.3.3 pp. 219-233). 2. The interplanetary medium. The solar corona and the solar wind (§ 6.1 and 6.1.1, pp. 278-282, including all the references). Large-scale solar wind structure and on the ecliptic plane (§ 6.1.6). The interplanetary magnetic field: observations and physical characteristics (§ 6.2.1, pp. 300-304). The heliospheric current sheet (§ 6.2.4). Segment structure of the polar component of B (§ 6.2.5). Alfvén's theorem (Appendix A.14, pp.484-487). 3. Magnetosphere The geomagnetic field near the Earth (§ 5.2). Curvature drift (p. 233). Total drift (p. 234-235). Composed motion of charge carriers (§ 5.3.4). Particle populations in the internal magnetosphere: radiation belts, ring current, plasmasphere (§ 5.4). The distant geomagnetic field: configuration and classification, currents on the diurnal side of the magnetopause, reflection of the particles and formation of the current, system of currents in the geomagnetic tail (§ 5.5). Particle population in the external magnetosphere: magnetotail plasma sheet, magnetotail lobe plasma, magnetospheric boundary layer (§ 5.6). Formation of bow shock and the magnetosheath (§ 6.4 introduction and § 6.4.1, pp. 325-328). 4. Ionosphere Absorption processes, gas radiation attenuation, energy deposition in the upper atmosphere: Chapman function. Earth ionosphere: historical outline, vertical profile of electron density, ionospheric temperature, production and disappearance of ionization, ionospheric regions, electronic equilibrium, vertical profile of electron density in E region and in region F2 region (§ 3.2; introduction of chap 4, § 4.1, § 4.2, § 4.3). Ionosphere morphology: the cusps on the ionogram trace and the ionospheric regions (Lesson notes). Regular variations of the ionosphere: layers E and F1 (Lesson notes). Irregular variations of the ionosphere: F2 layer (Lesson notes). Sporadic E layer (Lesson notes). Simplified photochemical model for regions E and F: F1 layer (Lesson notes). Simplified photochemical model for region D (Lesson notes). Refraction index for radio waves with collisions and in the absence of a magnetic field; interpretation of the imaginary part of the refractive index: absorption (Lesson notes). Solar flares and short waves fadeout (Lesson notes). Additional notes on the F1 layer (Lesson notes). Additional notes on layer E (Lesson notes). 5. Magnetoionic theory Introduction. Constitutive equations for a cold plasma with collisions and in the presence of a magnetic field (Lesson notes). Refractive index for radio waves in the ionosphere, neglecting collisions and considering the Earth's magnetic field: Appleton-Hartree equation (Lesson notes). Continuity of n in $X = 1$. The zeros of the collisionless Appleton-Hartree equation: longitudinal, transverse and general propagation case (Lesson

notes). Polarization: continuity in $X = 1$ in the general case and in the case of longitudinal propagation. Polarization in case of longitudinal propagation: dependence on the sign of Y_L . Polarization in general conditions, for $X = 1$ (Lesson Notes). Refractive index for radio waves in the ionosphere, considering collisions and the earth's magnetic field. Mention upon the polarization in the collisional case. Curves of $m_i(X)$ with collisions: importance of the Booker rule (Lesson notes). Conditions of reflection and ionograms, ordinary, extraordinary trace. Ray Z (Lesson Notes). Examples of ionograms (Lesson notes). As indicated in the lesson notes, the material of this teaching unit can be found at: Ratcliffe, J. A. (1959), The magneto-ionic Theory and its Applications to the Ionosphere, Cambridge University Press. 6. Absorption and dissipation of solar wind energy Topology of the high polar atmosphere (§ 7.1). Electric fields, and plasma convection (§ 7.2). Conductivity and currents in the polar ionosphere (§ 7.3). Polar auroras: energy dissipation of the auroral particles, origin of the auroral particles, diffuse and discrete aurora (§ 7. 4). Solar Wind Dynamo (§ 7.6.1), open magnetosphere (§ 7.6.2), plasma convection in the open magnetosphere (§ 7.6.3), open magnetosphere with tail (§ 7.6.4), mention upon the reconnection (part of § 7.6. 5) Birkeland currents in regions 1 and 2 (§ 7.6.6). 7. Geospheric storms Magnetic storms: regular variation, equatorial electrojet, magnetic activity at low, high and medium latitudes, geomagnetic indexes (§ 8.1). Magnetic substorms: growth and expansion phase, Alfvén waves and their role (§ 8.3). Ionospheric storms: negative and positive storms (§ 8.5).

Reference books

1) G.W. Prölss "Physics of the Earth's Space Environment" 2) Appunti di lezione.

Reference bibliography

-

Study modes

The topics of the course of "Physics of the Ionosphere and the Magnetosphere", require the illustration of complex figures. They cannot be reproduced, in all cases, manually on the blackboard in an effective way. Therefore the projection of slides is necessary. Slides also have another function: they often show logical passages, through which we try to draw the student's attention on the salient points of the discussions, on the hypotheses of the reasoning, on the experimental data that are assumed and on what we intend to demonstrate. Once the slide has been projected, the discussion continues in a traditional way on the blackboard, even showing the necessary mathematical passages. Some topics that are theoretically on the textbook, are instead proposed in the form of an exercise or a problem. This creates the opportunity to assess whether the results obtained are plausible and to focus on the order of magnitude of the different physical parameters involved. An education visit is then usually carried out at the end of the course, to the laboratories of the National Institute of Geophysics and Volcanology (INGV). Students are directly addressed to the magnetic and ionospheric data acquisition and processing systems, as well as the Space Weather services of the INGV. With the occasion, the services of other national and international institutions are also shown through the internet. The intention is to draw the students' attention to the applicative value of the concepts learned during the course, on the interest towards Space Weather, on the considerable investments that it recalls and on the fact that many international collaborations are active in this sector.

Exam modes

-

20430043 - FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA

Docente: GALLO PAOLA

Italiano

Prerequisiti

nessuno

Programma

Panoramica sulla materia materia condensata. Descrizione geometrica dei cristalli: reticoli diretti, reticoli reciproci e zona di Brillouin. Scattering di particelle da cristalli: raggi x, elettroni e neutroni. Quasicristalli. Classificazione dei solidi cristallini e legami. Approssimazione adiabatica di Born-Oppenheimer. Dinamica vibrazionale del reticolo cristallino, fononi. Calori specifici vibrazionali di Einstein e Debye e calore specifico elettronico. Elettroni in potenziali periodici: il teorema di Bloch. Teoria dell'elettrone libero nei metalli. L'Hamiltoniano a multielettroni e approssimazioni ad elettrone singolo: equazioni di Hartree e Hartree-Fock. Teoria a bande dei cristalli: metodo del Tight Binding, approssimazione dell'elettrone quasi libero. Proprietà elettroniche di cristalli rilevanti. Trasporto nei metalli. Semiconduttori intrinseci e drogati e trasporto. Giunzione p-n. Superconduttività.

Testi

TESTO PRINCIPALE: Giuseppe Grosso and Giuseppe Pastori Parravicini Solid State Physics Academic Press ALTRI TESTI UTILIZZATI: Neil W. Ashcroft N. David Mermin Solid State Physics Saunders College Charles Kittel Introduzione alla Fisica Dello Stato Solido Casa Editrice Ambrosiana APPUNTI, PRESENTAZIONI E ESERCIZI sono pubblicati sul sito del corso <http://webusers.fis.uniroma3.it/~gallop/>

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Lezioni frontali ed esercitazioni Le lezioni frontali si svolgono alla lavagna. Il docente alterna teoria ad esempi ed esercizi esplicativi dei concetti. Vengono proiettate delle presentazioni che contengono soprattutto figure che aiutano la comprensione dei fenomeni. Il docente segue il libro di testo tranne per alcune parti per le quali si forniscono appunti del docente pubblicati sulla pagina web del corso. Anche le presentazioni vengono pubblicate sulla pagina web del corso. Le esercitazioni vengono svolte con cadenza settimanale. Gli esercizi vengono proposti e risolti alla lavagna. Gli stessi esercizi vengono poi pubblicati con le soluzioni sulla pagina web del corso. <http://webusers.fis.uniroma3.it/~gallop/>

Modalità di valutazione

Prova scritta e prova orale separate. La prova scritta si può superare sostenendo i due esoneri. Il primo esonero proposto a metà corso riguarda esercizi relativi agli argomenti della prima metà del corso. Nel primo esonero vengono proposti due esercizi da svolgere in due

ore. Il secondo esonero avviene durante la prima o la seconda prova scritta, riguarda la seconda metà del corso e consiste anch'esso di due esercizi da svolgere in due ore. La prova scritta si può superare sostenendo altrimenti lo scritto nelle date degli appelli. Per i primi due appelli verranno proposti quattro esercizi da svolgere in quattro ore. Lo studente potrà svolgere due esercizi in due ore e passare un esonero (tipicamente il secondo, ma anche il primo se vuole) o tutti e quattro gli esercizi. Negli appelli successivi al secondo si chiederà di risolvere tre esercizi in tre ore che spazieranno su tutto il programma. E' consentito l'uso della calcolatrice e di un formulario. Prove relative agli anni precedenti (esoneri e scritti) sono pubblicate sul sito del corso. Durante la prova orale verranno chiesti due o tre argomenti. La candidata o il candidato deve esporre ciascun argomento in maniera chiara e deve ricavare le formule che lo descrivono su un foglio. Verranno valutate il livello di comprensione del fenomeno e la chiarezza espositiva.

English

Prerequisites

none

Programme

Overview on condensed matter. Geometric description of crystals: direct and reciprocal lattices and Brillouin zone. Scattering of particles by crystals: x-rays, electrons and neutrons. Quasicrystals. Classification of crystalline solids and bonds. Adiabatic approximation (Born-Openheimer). Lattice vibrational dynamics, phonons. Specific heats of Einstein, Debye and electronic. Electrons in periodic potentials: the Bloch theorem. Theory of the free electron in metals. The many electrons Hamiltonian and one electron approximations: Hartree and Hartree Fock equation. Band theory in crystals: Tight Binding method and the nearly free electron approximation. Electronic properties of relevant crystals. Transport in metals. Intrinsic and doped semiconductors and transport. p-n junction. Superconductivity.

Reference books

Giuseppe Grosso and Giuseppe Pastori Parravicini Solid State Physics Academic Press others: Neil W. Ashcroft N. David Mermin Solid State Physics Saunders College Charles Kittel Introduzione alla Fisica Dello Stato Solido Casa Editrice Ambrosiana WRITTEN NOTES, PRESENTATIONS AND EXERCISES will be published on the course web site <http://webusers.fis.uniroma3.it/~gallop/>

Reference bibliography

-

Study modes

Frontal lessons and exercises Frontal lessons. Frontal lessons are done at the blackboard. The teacher alternates theory to example and exercises to better understand the concepts. The teachers also uses presentation containing mainly figures that help the understanding of the phenomena. The teacher follows the textbook except for some parts for which notes are published on the course website. Also presentations are published on the course website. Exercises are done every week. Exercises are proposed and solved at the blackboard. The same exercise are published successively published with the solutions on the course website. <http://webusers.fis.uniroma3.it/~gallop/>

Exam modes

-

20430043 - FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA

Docente: Ranieri Flavio

Italiano

Prerequisiti

si vedano le informazioni riportate nella scheda del titolare del corso

Programma

si vedano le informazioni riportate nella scheda del titolare del corso

Testi

si vedano le informazioni riportate nella scheda del titolare del corso

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

si vedano le informazioni riportate nella scheda del titolare del corso

Modalità di valutazione

si vedano le informazioni riportate nella scheda del titolare del corso

English

Prerequisites

see the information provided in the course holder's sheet

Programme

see the information provided in the course holder's sheet

Reference books

see the information provided in the course holder's sheet

Reference bibliography

-

Study modes

see the information provided in the course holder's sheet

Exam modes

-

20410879 - Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia

Docente: PETITTA MARCELLO

Italiano

Prerequisiti

Conoscenze di Fisica generale ed Analisi matematica.

Programma

o Struttura dell'atmosfera terrestre o Forze fondamentali ed equazioni del moto per i fluidi o Equazione di continuità, Eq. del momento, bilancio idrostatico o Scale del moto atmosferico o Meccanica dei fluidi in sistemi di riferimento rotanti o Equazioni primitive, f-plane e Beta-plane o Bilancio Geostrofico o Come si visualizzano le variabili meteorologiche e climatiche o Strumenti di visualizzazione e dati climatici o Onde nei fluidi, gravity waves, static stability e Lapse Rate adiabatico o Modello Shallow water o Come si effettuano le previsioni meteorologiche con mappe e dati o Approssimazione di Boussinesq o Teoremi della vorticità e della circolazione o Modelli predittivi a grande scala e a scala locale o Modello di Lorentz o Vorticità potenziale o Teoria Geostrofica o Teoria Quasi geostrofica o Strato di Ekman e spirale di Ekman o Onde di Rossby. Approssimazione WKB, onde topografiche e di gravità. o Atmosfera Barotropica o Atmosfera Baroclinica o Bilancio Radiativo in atmosfera.

Testi

o G. K. Vallis - Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics. Cambridge University Press, Second Edition o G. K. Vallis - Essentials of Atmospheric and Oceanic Dynamics. Cambridge University Press, 2019. o R. Holton - An Introduction to Dynamic Meteorology - Academic Press, 2013

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Le lezioni si svolgeranno in presenza con l'utilizzo della lavagna e del proiettore.

Modalità di valutazione

Gli esami prevedono una prova orale Nella valutazione dell'esame la determinazione del voto finale terrà conto di elementi, come ad esempio: livello e la qualità della conoscenza degli argomenti; la capacità di analizzare un argomento in modo critico; la logica delle argomentazioni a sostegno di una tesi; la capacità di applicare teorie e concetti ai contesti; l'utilizzo di un lessico appropriato alla disciplina oggetto di studio. Una prima parte dell'esame orale prevede la scelta, la descrizione e l'analisi di un argomento a piacere dello studente a cui seguiranno domande di approfondimento su tutto il programma.

English

Prerequisites

Knowledge of General Physics and Mathematical Analysis

Programme

o Structure of the Earth's atmosphere o Fundamental forces and equations of motion for fluids o Equation of continuity, Eq. of the moment, hydrostatic balance o Atmospheric Motion Scales o Fluid mechanics in rotating reference systems o Primitive equations, f-plane and Beta-plane o Geostrophic Balance o How to view weather and climate variables o Visualization tools and climate data o Waves in fluids, gravity waves, static stability and adiabatic Lapse Rate o Shallow water model o How to make weather forecasts with maps and data o Boussinesq approximation o Vorticity and circulation theorems o Large-scale and local-scale predictive models o Lorentz model o Potential vorticity o Geostrophic Theory o Quasi-geostrophic theory o Ekman's layer and Ekman's spiral or Rossby Waves. WKB approximation, topographic and gravity waves. o Barotropic Atmosphere o Baroclinic atmosphere o Radiative Balance in the atmosphere

Reference books

o G. K. Vallis - Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics. Cambridge University Press, Second Edition o G. K. Vallis - Essentials of Atmospheric and Oceanic Dynamics. Cambridge University Press, 2019. o R. Holton - An Introduction to Dynamic Meteorology - Academic Press, 2013

Reference bibliography

-

Study modes

Lessons will take place in presence with the use of the blackboard and projector

Exam modes

20410879 - Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia

Docente: CALMANTI Sandro

Italiano

Prerequisiti

vedere le informazioni nella scheda del corso relativa al docente titolare

Programma

vedere le informazioni nella scheda del corso relativa al docente titolare

Testi

Testi da definire

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

vedere le informazioni nella scheda del corso relativa al docente titolare

Modalità di valutazione

vedere le informazioni nella scheda del corso relativa al docente titolare

English

Prerequisites

see the information on the course page about the main instructor

Programme

see the information on the course page about the main instructor

Reference books

see the information on the course page about the main instructor

Reference bibliography

Study modes

see the information on the course page about the main instructor

Exam modes

20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE

Docente: SALAMANNA GIUSEPPE

Italiano

Prerequisiti

nessuno

Programma

Aspetti fenomenologici e sperimentali della fisica delle astroparticelle: correlazioni tra fisica delle particelle, astrofisica e cosmologia; il problema della materia oscura; raggi cosmici e meccanismi di accelerazione dei raggi cosmici; massa di neutrini ed oscillazione dei neutrini la conservazione del numero leptonico ed il decadimento doppio beta; la conservazione del numero barionico ed il problema del decadimento del protone; violazione di cp e asimmetria materia-antimateria.

Testi

K. Thomas Gaisser Cosmic rays and particle physics Cambridge 1990 Malcom S. Longair High energy astrophysics Cambridge 1992 H. V. Klapdor - Kleingrothaus and A. Staudt Non - Accelerator particle physics Bristol 1995 Donald H. Perkins Particle Astrophysics, second edition Oxford 2009 Maurizio Spurio Probes of Multimessenger Astrophysics: Charged cosmic rays, neutrinos, γ -rays and gravitational waves Cham Heidelberg New York London 2018

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Lezioni frontali. Per ogni argomento principale, una lezione (o più di una nel caso di argomenti di più ampio respiro) verrà dedicata alla presentazione della tematica e al suo inquadramento all'interno del panorama scientifico. Una successiva lezione sarà poi dedicata alla presentazione della ricerca attuale sul tema oggetto della discussione. Le ultime lezioni verranno dedicate ad accompagnare gli studenti

nella preparazione del seminario oggetto dell'esame finale.

Modalità di valutazione

Esame orale: discussione di una tesina su argomento a scelta dello studente tra una rosa di proposte.

English

Prerequisites

none

Programme

Phenomenological and Experimental topics in Astroparticle Physics. Common problems in particle physics, astrophysics and cosmology. Dark Matter. Cosmic Rays. Cosmic Rays Acceleration. Neutrino Masses and Neutrino Oscillation. Lepton Number non-conservation and double beta decay. Baryon Number non-conservation and proton decay. CP violation and the matter-antimatter asymmetry.

Reference books

K. Thomas Gaisser Cosmic rays and particle physics Cambridge 1990 Malcom S. Longair High energy astrophysics Cambridge 1992 H. V. Klapdor - Kleingrothaus and A. Staudt Non - Accelerator particle physics Bristol 1995 Donald H. Perkins Particle Astrophysics, second edition Oxford 2009 Maurizio Spurio Probes of Multimessenger Astrophysics: Charged cosmic rays, neutrinos, γ -rays and gravitational waves Cham Heidelberg New York London 2018

Reference bibliography

-

Study modes

Lectures (30 hours for each module). For each main topic, one or more lessons will be devoted to a discussion of the scientific scenario, while the purpose of a further lesson will be a presentation of the actual research activities in the specific topic. During the last few lessons, the students will be guided to prepare the seminar, that will be the main matter of the final examination.

Exam modes

-

20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE

Docente: MARI STEFANO MARIA

Italiano

Prerequisiti

non previsti

Programma

Cosmic Ray Physics Gravitational Wave Physics

Testi

T. Gaisser - Cosmic Rays M. Spurio - Particles and Astrophysics Dispense

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Lezione frontale, anche in streaming

Modalità di valutazione

realizzazione di un seminario inerente uno degli argomenti trattati durante le lezioni

English

Prerequisites

none planned

Programme

Cosmic Ray Physics Gravitational Wave Physics

Reference books

T. Gaisser - Cosmic Rays M. Spurio - Particles and Astrophysics Dispense

Reference bibliography

-

Study modes

lesson in person and in streaming

Exam modes

-

20401139 - FISICA DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI

Canale:N0

Docente: TARANTINO CECILIA

Italiano

Prerequisiti

Argomenti svolti nei corsi di Fisica Teorica I e II

Programma

Lezioni Introdotte: Funzioni di Green, Diagrammi di Feynman, Esponenziazione dei diagrammi disconnessi, Stati IN e OUT, Matrice S, Matrice S in termini dei diagrammi di Feynman, Rappresentazione spettrale di Kaellen-Lehmann, Formula di riduzione LSZ. Rinormalizzabilità: Grado di Divergenza Superficiale dei Diagrammi, Teoria delle Perturbazioni Rinormalizzata, Equazione di Callan-Symanzik, Funzioni beta e gamma, Running coupling, Risommazione dei logaritmi leading. Metodo degli Integrali Funzionali: Introduzione al Formalismo degli Integrali Funzionali, Integrale Funzionale per una teoria di campo (Int. funz. per una teoria di campo scalare), Funzioni di correlazione in termini di integrali funzionali, Funzionale generatore, Regole di Feynman dall'Integrale Funzionale, Quantizzazione del Campo Elettromagnetico (Procedura di Faddeev-Popov), Quantizzazione di Teorie di Gauge Non-Abeliane, Ghosts.

Testi

Michael E. Peskin, Daniel V. Schroeder "An Introduction to Quantum Field Theory"; Franz Mandl, Graham Shaw "Quantum Field Theory".

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Lezioni frontali alla lavagna/ipad in cui sono spiegati fondamenti ed approfondimenti della Teoria dei Campi. Esercitazioni alla lavagna/ipad per insegnare a prendere dimestichezza con il formalismo della Teoria dei Campi sia in Seconda Quantizzazione che nell'ambito del metodo degli Integrali Funzionali. Le ore dedicate alla parte più concettuale e quelle dedicate alle esercitazioni sono numericamente confrontabili.

Modalità di valutazione

Prova orale sul programma svolto durante il corso. L'esame orale prevede due/tre domande su più parti del programma, volte ad esplorare la comprensione degli argomenti più concettuali e la familiarità con il formalismo della Teoria dei Campi. La durata dell'esame orale è compresa tra mezz'ora ed un'ora.

English

Prerequisites

Subjects that are explained in Fisica Teorica I and II

Programme

Introductory Lectures: Green Functions, Feynman Diagrams, Exponentiation of disconnected diagrams, IN and OUT states, S-Matrix, S-Matrix in terms of Feynman diagrams, Kaellen-Lehmann Spectral Representation, LSZ Reduction Formula, Optical Theorem. Renormalization: Superficial Divergence Degree of Diagrams, Renormalized Perturbation Theory, Callan-Symanzik Equation, Beta and Gamma Functions, Running coupling, Leading Logarithm Resummation. Path Integral Method: Introduction to Path Integral Formalism, Path Integral for a Field Theory (Path Int. for a scalar field theory), Green functions in terms of Path Int., Feynman rules from Path Int., Generating Functional, QED Quantization (Faddeev-Popov Method), Dirac Field Quantization, Quantization of Non-abelian Gauge Theories, Ghosts.

Reference books

Michael E. Peskin, Daniel V. Schroeder "An Introduction to Quantum Field Theory"; Franz Mandl, Graham Shaw "Quantum Field Theory".

Reference bibliography

-

Study modes

Blackboard/ipad lectures on fundamental and in-depth topics. Exercises aimed at becoming familiar with the Quantum Field Theory Formalism. Time dedicated to conceptual topics is numerically similar to time dedicated to exercises.

Exam modes

-

20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)

Docente: DI NARDO ROBERTO

Italiano

Prerequisiti

Programma

Testi da definire

Testi

Testi da definire

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Testi da definire

Modalità di valutazione

Testi da definire

English

Prerequisites

Programme

-

Reference books

-

Reference bibliography

-

Study modes

-

Exam modes

-

20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)

(FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI MOD. A)

Docente: PETRUCCI FABRIZIO

Italiano

Prerequisiti

Conoscenza della meccanica quantistica e della teoria della relatività ristretta, con particolare riferimento alle trasformazioni di Lorentz, quantità invarianti, operazioni su quadri-vettori. E' consigliabile aver assimilato gli argomenti del corso di Fisica Teorica 1.

Programma

MODULO A a) parte generale/strumenti formali: - Equazioni quantistiche relativistiche, regole di selezione, sezioni d'urto e risonanze. - Principi di invarianza e leggi di conservazione, trasformazioni continue e discrete, parità, coniugazione di carica, inversione temporale. b) prima fenomenologia, adroni: - Isospin forte, stranezza. Isospin del pione e misure correlate. - Plot di Dalitz e loro interpretazione. Puzzle Theta-tau - Richiami sul modello a quark. - Modello a partoni, densità di quark e antiquark. c) interazioni elettro-deboli, decadimenti, mescolamento dei sapori: - Hamiltoniana e fenomenologia delle interazioni deboli. Vincoli sperimentali da esp. di Wu (violazione P) e di Goldhaber (elicita' neutrino) - Angolo di Cabibbo, meccanismo GIM e scoperta del charm. Scoperta del leptone tau. "November revolution" del 1974 - Modello standard delle interazioni elettrodeboli e sue verifiche: scoperta delle correnti neutre, esp. Gargamelle. UA1/UA2 e scoperta dei bosoni W e dello Z. - Violazione della simmetria CP, mescolamento di sapori pesanti. Cenni a B-factories e misure degli angoli CKM da mesoni B. - Fisica dei neutrini dalla teoria di Fermi ad oggi con particolare riguardo per le oscillazioni di neutrino. d) QCD: anatomia e all'opera ai moderni collisionatori: - Cromo-dinamica quantistica, colore, gluoni, confinamento, urti profondamente anelastici. - Evoluzioni di eventi a collisionatori adronici, cascata partonica, algoritmi e misure dei jet a Tevatron. e) Cenni alle strumentazioni sperimentali, anche per teorici - Interazioni della radiazione con la materia. Tecniche di base della rivelazione delle particelle.

Testi

(Leo W.R.) Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag 1994] (Perkins D.H.) Introduction to High Energy Physics, 4th edition, [Cambridge University Press, 2000] (Cahn R.N. and Goldhaber G.) The experimental Foundations of Particle Physics [Cambridge University Press, 1989] (Halzen F., Martin A.D.) Quarks and leptons [Wiley] Lucidi e articoli verranno forniti e caricati sulla pagina del corso.

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Il corso viene tenuto principalmente con lezioni frontali, al fine di garantire l'apprendimento dei contenuti, come delineato nella sezione "Obiettivi formativi". Verrà spesso seguito un approccio "storico", in base al quale si introdurranno le conoscenze per come la comunità

scientifica le ha acquisite sperimentalmente ed integrate in una teoria comprensiva, il Modello Standard. Alle lezioni frontali alla lavagna si alterneranno alcune lezioni con lucidi, laddove sia importante mostrare grafici e/o apparati sperimentali. Al fine di abituare gli studenti alla lettura critica della letteratura scientifica di settore ed alla descrizione dei set-up sperimentali, durante le lezioni saranno anche forniti e discussi articoli scientifici sulle più rilevanti misure dagli anni '50 ad oggi. Il modulo B sarà prevalentemente effettuato per mezzo di lucidi ed articoli di sviluppo di strumentazione. Il tutorial su ROOT sarà interattivo al computer.

Modalità di valutazione

La verifica dell'apprendimento avviene attraverso una prova orale. Si parte da una presentazione da parte dello studente, in cui si illustra, discute criticamente una misura di fisica delle particelle; oppure si illustra un aspetto della fenomenologia mostrando le principali misure che lo studiano. Gli studenti possono prendere a spunto un articolo o svolgere una loro sintesi coerente di più articoli, una parte sperimentale e' sempre richiesta anche per i teorici. L'esame prosegue poi con domande sulla presentazione e, successivamente, integrando con domande su altre parti del corso per sondare la solidità delle conoscenze; e per vagliare la capacità dello studente di ricollegare tra di loro i vari aspetti della fisica delle particelle elementari

English

Prerequisites

The student will master quantum mechanics and the rules of special relativity, with particular reference to Lorentz transformations, invariant kinematic quantities and operations on four-vectors. It is recommended that the student is familiar with the topics covered in the course "Fisica Teorica 1"

Programme

SECTION A a) intro and formal tools: - Relativistic equations, selection rules, cross sections and resonances - Invariance principles and conservation rules, continuous and discrete transformations, Parity, Charge conjugation, Time inversion b) early phenomenology, hadrons: - Strong isospin, Strangeness. Pion isospin and its expt. determination - Dalitz plots and their interpretation. Theta-tau puzzle. - Quark model, mentions - Parton model, quark and anti-quark density c) Electro-weak interactions, decays, flavour mixing - Hamiltonian and phenomenology of weak interactions. Experimental constraints from Wu (P violation) and Goldhaber (neutrino helicity) - Cabibbo angle, GIM mechanism. Discovery of the charm quark and tau lepton. The 1974 "November revolution" - Standard model of electro-weak interactions and their experimental confirmations: discovery of neutral currents, Gargamelle expt. W and Z bosons discovery and UA1,2 - CP violation, meson mixing. Mentions to B-factories and measurement of CKM angles from B mesons - Evolution of events at hadronic colliders, parton shower, jet algorithms and related measurements - Neutrino physics from the Fermi theory to the current day: particularly neutrino oscillations d) QCD: anatomy and at work at modern colliders: - QCD, colour, gluons, confinement, DIS - Evolution of events at hadron colliders, parton showers, algorithms, measurements with jets at Tevatron. e) Intro to experimental tools, also useful for theorists - Radiation - matter interactions. Basics of particle detection techniques

Reference books

(Leo W.R.) Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag 1994] (Perkins D.H.) Introduction to High Energy Physics, 4th edition, [Cambridge University Press, 2000] (Cahn R.N. and Goldhaber G.) The experimental Foundations of Particle Physics [Cambridge University Press, 1989] (Halzen F., Martin A.D.) Quarks and leptons [Wiley] Additional slides and papers will be uploaded on the Course web page

Reference bibliography

-

Study modes

The classes will be held mainly in a traditional manner, in such a way that students can acquire the knowledge and absorb the contents as described in the "Goals" section. A "historical" approach will be followed, whereby the phenomenology will be introduced and discussed in steps as scientists uncovered it experimentally and integrated it within a coherent theoretical model, the Standard Model. Slides will be used, whenever it's important to show plots or experimental set-ups. In order for students to learn how to read and comment a scientific paper and the description of a related detector, articles will also be provided and discussed in class. Section B will be based mostly on slides and papers. The ROOT tutorial will be held interactively by use of computers.

Exam modes

-

20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)

(FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI MOD. A)

Docente: DI NARDO ROBERTO

Italiano

Prerequisiti

Conoscenza della meccanica quantistica e della teoria della relatività ristretta, con particolare riferimento alle trasformazioni di Lorentz, quantità invarianti, operazioni su quadri-vettori. E' consigliabile aver assimilato gli argomenti del corso di Fisica Teorica 1.

Programma

MODULO A a) parte generale/strumenti formali: - Equazioni quantistiche relativistiche, regole di selezione, sezioni d'urto e risonanze. - Principi di invarianza e leggi di conservazione, trasformazioni continue e discrete, parità, coniugazione di carica, inversione temporale. b) prima fenomenologia, adroni: - Isospin forte, stranezza. Isospin del pione e misure correlate. - Plot di Dalitz e loro interpretazione. Puzzle Theta-tau - Richiami sul modello a quark. - Modello a partoni, densità di quark e antiquark. c) interazioni elettro-deboli, decadimenti, mescolamento dei sapori: - Hamiltoniana e fenomenologia delle interazioni deboli. Vincoli sperimentali da esp. di Wu (violazione P) e di Goldhaber (elicita' neutrino) - Angolo di Cabibbo, meccanismo GIM e scoperta del charm. Scoperta del leptone tau. "November revolution" del 1974 - Modello standard delle interazioni elettrodeboli e sue verifiche: scoperta delle correnti neutre, esp. Gargamelle. UA1/UA2 e scoperta dei bosoni W e dello Z. - Violazione della simmetria CP, mescolamento di sapori pesanti. Cenni a B-factories e misure degli angoli CKM da mesoni B. - Fisica dei neutrini dalla teoria di Fermi ad oggi con particolare riguardo per le

oscillazioni di neutrino. d) QCD: anatomia e all'opera ai moderni collisionatori: - Cromo-dinamica quantistica, colore, gluoni, confinamento, urti profondamente anelastici. - Evoluzioni di eventi a collisionatori adronici, cascata partonica, algoritmi e misure dei jet a Tevatron. e) Cenni alle strumentazioni sperimentali, anche per teorici - Interazioni della radiazione con la materia. Tecniche di base della rivelazione delle particelle.

Testi

TESTI: (Leo W.R.) Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag 1994] (Perkins D.H.) Introduction to High Energy Physics, 4th edition, [Cambridge University Press, 2000] (Cahn R.N. and Goldhaber G.) The experimental Foundations of Particle Physics [Cambridge University Press, 1989] (Halzen F., Martin A.D.) Quarks and leptons [Wiley] Lucidi e articoli verranno forniti e caricati sulla pagina del corso.

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Il corso viene tenuto principalmente con lezioni frontali, al fine di garantire l'apprendimento dei contenuti, come delineato nella sezione "Obiettivi formativi". Verrà spesso seguito un approccio "storico", in base al quale si introdurranno le conoscenze per come la comunità scientifica le ha acquisite sperimentalmente ed integrate in una teoria comprensiva, il Modello Standard. Alle lezioni frontali alla lavagna si alterneranno alcune lezioni con lucidi, laddove sia importante mostrare grafici e/o apparati sperimentali. Al fine di abituare gli studenti alla lettura critica della letteratura scientifica di settore ed alla descrizione dei set-up sperimentali, durante le lezioni saranno anche forniti e discussi articoli scientifici sulle più rilevanti misure dagli anni '50 ad oggi. Il modulo B sarà prevalentemente effettuato per mezzo di lucidi ed articoli di sviluppo di strumentazione. Il tutorial su ROOT sarà interattivo al computer.

Modalità di valutazione

La verifica dell'apprendimento avviene attraverso una prova orale. Si parte da una presentazione da parte dello studente, in cui si illustra, discute criticamente una misura di fisica delle particelle; oppure si illustra un aspetto della fenomenologia mostrando le principali misure che lo studiano. Gli studenti possono prendere a spunto un articolo o svolgere una loro sintesi coerente di più articoli, una parte sperimentale e' sempre richiesta anche per i teorici. L'esame prosegue poi con domande sulla presentazione e, successivamente, integrando con domande su altre parti del corso per sondare la solidità delle conoscenze; e per vagliare la capacità dello studente di ricollegare tra di loro i vari aspetti della fisica delle particelle elementari

English

Prerequisites

The student will master quantum mechanics and the rules of special relativity, with particular reference to Lorentz transformations, invariant kinematic quantities and operations on four-vectors. It is recommended that the student is familiar with the topics covered in the course "Fisica Teorica 1"

Programme

SECTION A a) intro and formal tools: - Relativistic equations, selection rules, cross sections and resonances - Invariance principles and conservation rules, continuous and discrete transformations, Parity, Charge conjugation, Time inversion b) early phenomenology, hadrons: - Strong isospin, Strangeness. Pion isospin and its expt. determination - Dalitz plots and their interpretation. Theta-tau puzzle. - Quark model, mentions - Parton model, quark and anti-quark density c) Electro-weak interactions, decays, flavour mixing - Hamiltonian and phenomenology of weak interactions. Experimental constraints from Wu (P violation) and Goldhaber (neutrino helicity) - Cabibbo angle, GIM mechanism. Discovery of the charm quark and tau lepton. The 1974 "November revolution" - Standard model of electro-weak interactions and their experimental confirmations: discovery of neutral currents, Gargamelle expt. W and Z bosons discovery and UA1,2 - CP violation, meson mixing. Mentions to B-factories and measurement of CKM angles from B mesons - Evolution of events at hadronic colliders, parton shower, jet algorithms and related measurements - Neutrino physics from the Fermi theory to the current day: particularly neutrino oscillations d) QCD: anatomy and at work at modern colliders: - QCD, colour, gluons, confinement, DIS - Evolution of events at hadron colliders, parton showers, algorithms, measurements with jets at Tevatron. e) Intro to experimental tools, also useful for theorists - Radiation - matter interactions. Basics of particle detection techniques

Reference books

TEXTS: (Leo W.R.) Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag 1994] (Perkins D.H.) Introduction to High Energy Physics, 4th edition, [Cambridge University Press, 2000] (Cahn R.N. and Goldhaber G.) The experimental Foundations of Particle Physics [Cambridge University Press, 1989] (Halzen F., Martin A.D.) Quarks and leptons [Wiley] Additional slides and papers will be uploaded on the Course web page

Reference bibliography

-

Study modes

The classes will be held mainly in a traditional manner, in such a way that students can acquire the knowledge and absorb the contents as described in the "Goals" section. A "historical" approach will be followed, whereby the phenomenology will be introduced and discussed in steps as scientists uncovered it experimentally and integrated it within a coherent theoretical model, the Standard Model. Slides will be used, whenever it's important to show plots or experimental set-ups. In order for students to learn how to read and comment a scientific paper and the description of a related detector, articles will also be provided and discussed in class. Section B will be based mostly on slides and papers. The ROOT tutorial will be held interactively by use of computers.

Exam modes

-

20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)

(FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI - MOD. B)

Docente: DI NARDO ROBERTO

Italiano

Prerequisiti

Conoscenza della meccanica quantistica e della teoria della relatività ristretta, con particolare riferimento alle trasformazioni di Lorentz, quantità invarianti, operazioni su quadri-vettori. E' consigliabile aver assimilato gli argomenti del corso di Fisica Teorica 1.

Programma

MODULO B - Elementi di statistica applicata agli esperimenti di fisica subnucleare. - Esperimenti e misure a LEP. - Ricerche del bosone di Higgs e cenni a ricerche di fisica oltre il modello standard agli acceleratori - Esempi di esperimenti di fisica del neutrino e ricerche di Materia Oscura. - Identificazione di jet da quark b (btagging) e fisica dei quark top. - Strumentazione complessa: gli spettrometri magnetici, i sistemi di identificazione di particella, grandi apparati sperimentali. - Rivelatori a scintillazione e rivelatori ottici (PMT, APD, SiPM). Rivelatori a stato solido. Camere proporzionali a multi-fili. - Calorimetria e.m. ed adronica. - Sistemi e menu di trigger agli esperimenti moderni. - Elementi di utilizzo del codice di analisi ROOT.

Testi

TESTI: (Leo W.R.) Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag 1994] (Perkins D.H.) Introduction to High Energy Physics, 4th edition, [Cambridge University Press, 2000] (Cahn R.N. and Goldhaber G.) The experimental Foundations of Particle Physics [Cambridge University Press, 1989] (Halzen F., Martin A.D.) Quarks and leptons [Wiley] Lucidi e articoli verranno forniti e caricati sulla pagina del corso.

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Il corso viene tenuto principalmente con lezioni frontali, al fine di garantire l'apprendimento dei contenuti, come delineato nella sezione "Obiettivi formativi". Verrà spesso seguito un approccio "storico", in base al quale si introdurranno le conoscenze per come la comunità scientifica le ha acquisite sperimentalmente ed integrate in una teoria comprensiva, il Modello Standard. Alle lezioni frontali alla lavagna si alterneranno alcune lezioni con lucidi, laddove sia importante mostrare grafici e/o apparati sperimentali. Al fine di abituare gli studenti alla lettura critica della letteratura scientifica di settore ed alla descrizione dei set-up sperimentali, durante le lezioni saranno anche forniti e discussi articoli scientifici sulle più rilevanti misure dagli anni '50 ad oggi. Il modulo B sarà prevalentemente effettuato per mezzo di lucidi ed articoli di sviluppo di strumentazione. Il tutorial su ROOT sarà interattivo al computer.

Modalità di valutazione

La verifica dell'apprendimento avviene attraverso una prova orale. Si parte da una presentazione da parte dello studente, in cui si illustra, discute criticamente una misura di fisica delle particelle; oppure si illustra un aspetto della fenomenologia mostrando le principali misure che lo studiano. Gli studenti possono prendere a spunto un articolo o svolgere una loro sintesi coerente di più articoli, una parte sperimentale e' sempre richiesta anche per i teorici. L'esame prosegue poi con domande sulla presentazione e, successivamente, integrando con domande su altre parti del corso per sondare la solidità delle conoscenze; e per vagliare la capacità dello studente di ricollegare tra di loro i vari aspetti della fisica delle particelle elementari

English

Prerequisites

The student will master quantum mechanics and the rules of special relativity, with particular reference to Lorentz transformations, invariant kinematic quantities and operations on four-vectors. It is recommended that the student is familiar with the topics covered in the course "Fisica Teorica 1"

Programme

SECTION B - Elements of statistical analysis applied to particle physics experiments - Experiments and results at LEP - Higgs boson searches and mentions of BSM searches at colliders - Examples of experimental neutrino physics and Dark Matter searches - b-jet identification and top quark measurements - Complex detectors: magnetic spectrometers, particle identification, large detectors - Scintillators and optical devices (PMT, APD, SiPM). Solid state detectors. Multi-wire proportional chambers. - E.m. and hadronic calorimetry - Trigger systems and menus at modern experiments - ROOT analysis software tutorial

Reference books

TEXTS: (Leo W.R.) Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag 1994] (Perkins D.H.) Introduction to High Energy Physics, 4th edition, [Cambridge University Press, 2000] (Cahn R.N. and Goldhaber G.) The experimental Foundations of Particle Physics [Cambridge University Press, 1989] (Halzen F., Martin A.D.) Quarks and leptons [Wiley] Additional slides and papers will be uploaded on the Course web page

Reference bibliography

-

Study modes

The classes will be held mainly in a traditional manner, in such a way that students can acquire the knowledge and absorb the contents as described in the "Goals" section. A "historical" approach will be followed, whereby the phenomenology will be introduced and discussed in steps as scientists uncovered it experimentally and integrated it within a coherent theoretical model, the Standard Model. Slides will be used, whenever it's important to show plots or experimental set-ups. In order for students to learn how to read and comment a scientific paper and the description of a related detector, articles will also be provided and discussed in class. Section B will be based mostly on slides and papers. The ROOT tutorial will be held interactively by use of computers.

Exam modes

-

20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)

(FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI - MOD. B)**Docente:** PETRUCCI FABRIZIO**Italiano****Prerequisiti**

Conoscenza della meccanica quantistica e della teoria della relatività ristretta, con particolare riferimento alle trasformazioni di Lorentz, quantità invarianti, operazioni su quadri-vettori. E' consigliabile aver assimilato gli argomenti del corso di Fisica Teorica 1.

Programma

MODULO B - Elementi di statistica applicata agli esperimenti di fisica subnucleare. - Esperimenti e misure a LEP. - Ricerche del bosone di Higgs e cenni a ricerche di fisica oltre il modello standard agli acceleratori - Esempi di esperimenti di fisica del neutrino e ricerche di Materia Oscura. - Identificazione di jet da quark b (btagging) e fisica dei quark top. - Strumentazione complessa: gli spettrometri magnetici, i sistemi di identificazione di particella, grandi apparati sperimentali. - Rivelatori a scintillazione e rivelatori ottici (PMT, APD, SiPM). Rivelatori a stato solido. Camere proporzionali a multi-fili. - Calorimetria e.m. ed adronica. - Sistemi e menu di trigger agli esperimenti moderni. - Elementi di utilizzo del codice di analisi ROOT.

Testi

(Leo W.R.) Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag 1994] (Perkins D.H.) Introduction to High Energy Physics, 4th edition, [Cambridge University Press, 2000] (Cahn R.N. and Goldhaber G.) The experimental Foundations of Particle Physics [Cambridge University Press, 1989] (Halzen F., Martin A.D.) Quarks and leptons [Wiley] Lucidi e articoli verranno forniti e caricati sulla pagina del corso.

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Il corso viene tenuto principalmente con lezioni frontali, al fine di garantire l'apprendimento dei contenuti, come delineato nella sezione "Obiettivi formativi". Verrà spesso seguito un approccio "storico", in base al quale si introdurranno le conoscenze per come la comunità scientifica le ha acquisite sperimentalmente ed integrate in una teoria comprensiva, il Modello Standard. Alle lezioni frontali alla lavagna si alterneranno alcune lezioni con lucidi, laddove sia importante mostrare grafici e/o apparati sperimentali. Al fine di abituare gli studenti alla lettura critica della letteratura scientifica di settore ed alla descrizione dei set-up sperimentali, durante le lezioni saranno anche forniti e discussi articoli scientifici sulle più rilevanti misure dagli anni '50 ad oggi. Il modulo B sarà prevalentemente effettuato per mezzo di lucidi ed articoli di sviluppo di strumentazione. Il tutorial su ROOT sarà interattivo al computer.

Modalità di valutazione

La verifica dell'apprendimento avviene attraverso una prova orale. Si parte da una presentazione da parte dello studente, in cui si illustra, discute criticamente una misura di fisica delle particelle; oppure si illustra un aspetto della fenomenologia mostrando le principali misure che lo studiano. Gli studenti possono prendere a spunto un articolo o svolgere una loro sintesi coerente di più articoli, una parte sperimentale e' sempre richiesta anche per i teorici. L'esame prosegue poi con domande sulla presentazione e, successivamente, integrando con domande su altre parti del corso per sondare la solidità delle conoscenze; e per vagliare la capacità dello studente di ricollegare tra di loro i vari aspetti della fisica delle particelle elementari

English**Prerequisites**

The student will master quantum mechanics and the rules of special relativity, with particular reference to Lorentz transformations, invariant kinematic quantities and operations on four-vectors. It is recommended that the student is familiar with the topics covered in the course "Fisica Teorica 1"

Programme

SECTION B - Elements of statistical analysis applied to particle physics experiments - Experiments and results at LEP - Higgs boson searches and mentions of BSM searches at colliders - Examples of experimental neutrino physics and Dark Matter searches - b-jet identification and top quark measurements - Complex detectors: magnetic spectrometers, particle identification, large detectors - Scintillators and optical devices (PMT, APD, SiPM). Solid state detectors. Multi-wire proportional chambers. - E.m. and hadronic calorimetry - Trigger systems and menus at modern experiments - ROOT analysis software tutorial

Reference books

(Leo W.R.) Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag 1994] (Perkins D.H.) Introduction to High Energy Physics, 4th edition, [Cambridge University Press, 2000] (Cahn R.N. and Goldhaber G.) The experimental Foundations of Particle Physics [Cambridge University Press, 1989] (Halzen F., Martin A.D.) Quarks and leptons [Wiley] Additional slides and papers will be uploaded on the Course web page

Reference bibliography

-

Study modes

The classes will be held mainly in a traditional manner, in such a way that students can acquire the knowledge and absorb the contents as described in the "Goals" section. A "historical" approach will be followed, whereby the phenomenology will be introduced and discussed in steps as scientists uncovered it experimentally and integrated it within a coherent theoretical model, the Standard Model. Slides will be used, whenever it's important to show plots or experimental set-ups. In order for students to learn how to read and comment a scientific paper and the description of a related detector, articles will also be provided and discussed in class. Section B will be based mostly on slides and papers. The ROOT tutorial will be held interactively by use of computers.

Exam modes

20410051 - FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCIE

Docente: OFFI FRANCESCO

Italiano

Prerequisiti

Conoscenza dei principi di fisica della materia condensata

Programma

- Superficie di un solido e interfaccia solido/solido: nozioni generali, sviluppo storico e applicazioni - Termodinamica, cristallografia e struttura: reticoli bi-dimensionali e superstrutture, reticolo reciproco e zone di Brillouin, tensione superficiale e forma dei cristalli, difetti strutturali, rilassamento e ricostruzione, interfacce solido/solido, nucleazione e crescita di film sottili, analisi della struttura di una superficie mediante diffrazione di elettroni - Proprietà elettroniche: stati elettronici di superficie, bande tridimensionali, mappatura delle bande con la tecnica di fotoemissione, stati immagine e surface core level shift, stati elettronici nei semiconduttori, la funzione lavoro, vibrazioni di superficie e adsorbati, metodi di osservazione di fononi di superficie, plasmoni di superficie e polaritoni - Adsorbimento, desorbimento e diffusione: fisisorbimento e chemisorbimento, adsorbimento dissociativo, adsorbimento e funzione lavoro, interazioni tra specie adsorbate, transizioni di fase bi-dimensionali, cinetica di adsorbimento, desorbimento. Diffusione su una superficie: leggi di Flick, meccanismi e anisotropia di diffusione, diffusione atomica e di cluster - Tecniche sperimentali: nozioni generali di ultra alto vuoto (UHV), sistemi di pompaggio, componenti da vuoto, preparazione di una superficie pulita, tecniche di deposizione in vuoto - Magnetismo di superficie: struttura elettronica e anisotropia nei materiali ferromagnetici, magnetizzazione e anisotropia magnetica di superficie, fotoemissione polarizzata in spin, dicroismo magnetico, microscopio a fotoemissione di elettroni per rivelare domini magnetici

Testi

- Philip Hofmann, Surface Physics - Hans Lüth, Solid Surfaces, Interfaces and Thin Films (Springer-Verlag, 2010) - K. Oura, et al., Surface Science, An Introduction (Springer-Verlag, 2003) - Andrew Zangwill, Physics at Surfaces (Cambridge University press, 1992) - Gabor A. Somorjai, Introduction to surface chemistry and catalysis (Wiley, 2010)

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Il docente illustra gli argomenti del corso attraverso la proiezione su schermo delle lezioni che vengono successivamente fornite agli studenti.

Modalità di valutazione

Gli studenti vengono valutati attraverso una prova finale orale, in cui viene richiesto di illustrare uno o più argomenti descritti durante il corso. E' prevista anche una valutazione in itinere, in cui viene richiesto agli studenti di descrivere specifici argomenti del corso concordati con gli studenti stessi.

English

Prerequisites

Knowledge of the fundamentals of condensed matter physics

Programme

- Surface of a solid and solid/solid interface: general notions, historical development and applications - Thermodynamics, crystallography and structure: two-dimensional lattices and superstructures; reciprocal lattice and Brillouin zone - surface tension and crystals shape; structural defects; relaxation and reconstruction; solid/solid interfaces; nucleation and thin film growth, low energy electron diffraction to investigate surface structure - Electronic properties: surface electronic states; three-dimensional bands; band mapping with the photoemission technique; image states and core level shift; electronic states in semiconductors; the work function; surface and adsorbed vibrations; surface phonon observation methods; surface plasmons and polaritons - Adsorption and desorption: physisorption and chemisorption; dissociative adsorption; adsorption and work function; interactions between adsorbed species; bi-dimensional phase transitions; adsorption kinetics; desorption. Surface diffusion: Flick laws, mechanisms and anisotropy of diffusion, atomic and cluster diffusion - Experimental techniques: general concepts of ultra high vacuum; pumping systems; vacuum components; preparation of a clean surface; vacuum deposition techniques - Surface magnetism: electronic structure and anisotropy in ferromagnetic materials; magnetization and magnetic surface anisotropy; spin-polarized photoemission; magnetic dichroism; photoemission electron microscope for detecting magnetic domains - Microscopy: scanning and transmission electron microscope; probe scanning microscopy: scanning tunneling microscope and atomic force microscope

Reference books

- Philip Hofmann, Surface Physics - Hans Lüth, Solid Surfaces, Interfaces and Thin Films (Springer-Verlag, 2010) - K. Oura, et al., Surface Science, An Introduction (Springer-Verlag, 2003) - Andrew Zangwill, Physics at Surfaces (Cambridge University press, 1992) - Gabor A. Somorjai, Introduction to surface chemistry and catalysis (Wiley, 2010)

Reference bibliography

-

Study modes

The teacher illustrates the topics of the course through the screen projection of the lessons that are subsequently provided to the students.

Exam modes

20410581 - FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI

Docente: ORESTANO DOMIZIA

Italiano

Prerequisiti

nessuno

Programma

Programma: 1. Principi di invarianza e leggi di conservazione. 2. simmetrie discrete e continue; 3. equazioni relativistiche: Klein-Gordon, Dirac 4. soluzioni ad energia negativa, elicità, spin, soluzioni per massa nulla, i neutrini 5. teoria delle perturbazioni relativistica, hamiltoniana di interazione, grafici di Feynman, propagatore come funzione di Green; 6. trasformazioni di Lorentz, sistema di laboratorio e del centro di massa, massa invariante, cinematica delle reazioni, soglia di reazione; 7. campi di interazione, modello di Yukawa; 8. raggi cosmici primari e secondari, il muone: decadimento, massa e vita media; 9. cinematica dei decadimenti, combinazione dei momenti angolari, coefficienti di Clebsch-Gordan, simmetria dell'isospin; 10. larghezze di decadimento e confronto tra elementi di matrice, leggi di conservazione; 11. densità dello spazio della fase, sezione d'urto di Scattering, fattori di flusso, fattore dello spazio delle fasi invariante, elementi di matrice di scattering; 12. il pione: carica, spin, parità, coniugazione di carica, isospin; 13. particelle strane, iperoni, interazione dei mesoni K; 14. barioni strani, ottetti mesonici e barionici, simmetria SU(3), ipercarica, diagrammi di Young; 15. scoperta dell'anti-protoni, gli anti-barioni, la risonanza Delta; 16. risonanze adroniche e mesoniche, modello a Quarks; 17: rappresentazione dei mesoni nel modello a quarks 18: scattering da potenziale, soluzione dell'equazione di Schroedinger per onde sferiche; 19: sezione d'urto di diffusione e assorbimento, limite di unitarietà, teorema ottico; 20: sezione d'urto risonante, formula di Breit-Wigner, masse dei barioni con formula di Gell-Mann Okubo; 21: il numero quantico di colore, rappresentazioni SU(3) di colore, relazioni tra spin e multipletti di SU(3); 22: l'interazione debole, violazione della parità, esperimento di madame Wu; 23: oscillazione dei mesoni K, l'angolo di Cabibbo; 23: scoperta dei quark charm e beauty; 24: decadimento dei mesoni D e B, diagrammi di Feynman, relazioni di isospin; 25: fasci di neutrini, sapore dei neutrini, scoperta del neutrino tau; 25: le macchine acceleratrici e+ e-, sezione d'urto di produzione adronica, il rapporto R e il numero di quarks e colori; 26: misura dell'elicità del neutrino, scoperta dell'anti-neutrino; 27: deep inelastic scattering, funzioni di distribuzione partoniche; 27: collisori adronici, protone-anti-protone e protone-protone: scoperta dei bosoni W e Z; 28: il bosone di Higgs

Testi

1. dispense del corso, reperibili sul sito del corso; 2. F. Halzen, A. D. Martin, "An Introductory Course in Modern Particle Physics" 3. D. Schroeder, M. Peskin, "An Introduction to Quantum Field Theory" 4. S. Weinberg, "The Quantum Theory of Fields"

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Le lezioni si svolgeranno in modo frontale con l'ausilio della lavagna a gesso per l'illustrazione dei concetti di base, lo svolgimento dei passaggi atomistici necessari e di un video proiettore per la visualizzazione degli schemi apparati sperimentali, grafici e tabelle. Le esercitazioni sono effettuate altresì alla lavagna per la proposizione degli esercizi e la loro soluzione.

Modalità di valutazione

L'esame comprende una prova per iscritto in cui gli studenti dovranno effettuare il calcolo della sezione d'urto di alcuni processi elementari, risolvere esercizi di cinematica relativistica, rispondere a domande a risposta aperta e chiusa sulle nozioni fondamentali illustrate durante lo svolgimento delle lezioni. Gli studenti che superano con successo la prova scritta sono ammessi all'esame orale dove dovranno illustrare i concetti appresi, mostrando padronanza degli argomenti trattati e capacità di elaborazione dei concetti e delle metodologie acquisite applicandole a configurazioni sperimentali ideali o agli esperimenti trattati durante il corso.

English

Prerequisites

none

Programme

Program: 1. Principles of invariance and conservation laws. 2. discrete and continuous symmetries; 3. relativistic equations: Klein-Gordon, Dirac 4. negative energy solutions, helicity, spin, solutions for zero mass, neutrinos 5. relativistic perturbation theory, interaction Hamiltonian, Feynman graphs, propagator as a Green function; 6. Lorentz transformations, laboratory and center of mass system, invariant mass, reaction kinematics, reaction threshold; 7. fields of interaction, Yukawa model; 8. primary and secondary cosmic rays, the muon: decay, mass and average life; 9. kinematics of decays, combination of angular moments, Clebsch-Gordan coefficients, symmetry of the isospin; 10. decay widths and comparison between matrix elements, laws of storage; 11. phase space density, Scattering cross section, flux, factor of the space and of the invariant phases, scattering matrix elements; 12. the pion: charge, spin, parity, charge conjugation, isospin; 13. strange particles, hyperons, interaction of the K mesons; 14: strange baryons, mesonic and baryonic octets, SU (3) symmetry, hypercharge, Young's diagrams; 15: discovery of the anti-proton, the anti-baryons, the Delta resonance; 16: hadronic and mesonic resonances, model at Quarks; 17: representation of the mesons in the quarks model 18: potential scattering, solution of the Schroedinger equation for waves spherical; 19: diffusion and absorption cross section, unitarity limit, optical theorem; 20: resonant cross section, Breit-Wigner formula, baryon masses with Gell-Mann Okubo formula; 21: the color quantum number, SU (3) representations of color, relationships between spin and SU (3) multiplets; 22: weak interaction, parity violation, madame Wu experiment; 23: oscillation of the K mesons, the Cabibbo angle, the GIM mechanism; 23: discovery of the charm and beauty quarks; 24: decay of D and B mesons, Feynman diagrams, isospin relations; 25: neutrino beams, neutrino flavor, discovery of the neutrino tau; 25: the accelerating machines e+ e-, hadronic impact section, the ratio R and the number of quarks and colors; 26: measurement of the helicity of the neutrino, discovery of the anti-neutrino; 27: deep inelastic scattering, parton distribution functions; 27: hadronic colliders, proton-anti-proton and proton-proton: discovery of the W and Z bosons; 28: the Higgs boson

Reference books

1. course notes, available on the course website; 2. F. Halzen, A. D. Martin, "An Introductory Course in Modern Particle Physics" 3. D. Schroeder, M. Peskin, "An Introduction to Quantum Field Theory" 4. S. Weinberg, "The Quantum Theory of Fields"

Reference bibliography

-

Study modes

The lessons will be held frontally with the aid of the chalkboard for the illustration of the basic concepts, the carrying out of the necessary arithmetic passages and a video projector for the visualization of the experimental apparatus schemes, graphs and tables. The exercises are also carried out on the blackboard for the presentation of the exercises and their solution.

Exam modes

-

20410581 - FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI

Docente: DI MICCO BIAGIO

Italiano

Prerequisites

nessuno

Programma

Programma: 1. Principi di invarianza e leggi di conservazione. 2. simmetrie discrete e continue; 3. equazioni relativistiche: Klein-Gordon, Dirac 4. soluzioni ad energia negativa, elicità, spin, soluzioni per massa nulla, i neutrini 5. teoria delle perturbazioni relativistica, hamiltoniana di interazione, grafici di Feynman, propagatore come funzione di Green; 6. trasformazioni di Lorentz, sistema di laboratorio e del centro di massa, massa invariante, cinematica delle reazioni, soglia di reazione; 7. campi di interazione, modello di Yukawa; 8. raggi cosmici primari e secondari, il muone: decadimento, massa e vita media; 9. cinematica dei decadimenti, combinazione dei momenti angolari, coefficienti di Clebsch-Gordan, simmetria dell'isospin; 10. larghezze di decadimento e confronto tra elementi di matrice, leggi di conservazione; 11. densità dello spazio delle fasi, sezione d'urto di Scattering, fattori di flusso, fattore dello spazio delle fasi invariante, elementi di matrice di scattering; 12. il pione: carica, spin, parità, coniugazione di carica, isospin; 13. particelle strane, iperoni, interazione dei mesoni K; 14: barioni strani, ottetti mesonici e barionici, simmetria SU(3), ipercarica, diagrammi di Young; 15: scoperta dell'anti-protone, gli anti-barioni, la risonanza Delta; 16: risonanze adroniche e mesoniche, modello a Quarks; 17: rappresentazione dei mesoni nel modello a quarks 18: scattering da potenziale, soluzione dell'equazione di Schroedinger per onde sferiche; 19: sezione d'urto di diffusione e assorbimento, limite di unitarietà, teorema ottico; 20: sezione d'urto risonante, formula di Breit-Wigner, masse dei barioni con formula di Gell-Man Okubo; 21: il numero quantico di colore, rappresentazioni SU(3) di colore, relazioni tra spin e multipletti di SU(3); 22: l'interazione debole, violazione della parità, esperimento di madame Wu; 23: oscillazione dei mesoni K, l'angolo di Cabibbo, il meccanismo GIM; 23: scoperta dei quark charm e beauty; 24: decadimento dei mesoni D e B, diagrammi di Feynman, relazioni di isospin; 25: fasci di neutrini, sapore dei neutrini, scoperta del neutrino tau; 25: le macchine acceleratrici e+ e-, sezione d'urto di produzione adronica, il rapporto R e il numero di quarks e colori; 26: misura dell'elicità del neutrino, scoperta dell'anti-neutrino; 27: deep inelastic scattering, funzioni di distribuzione partoniche; 27: collisori adronici, protone-anti-protone e protone-protone: scoperta dei bosoni W e Z; 28: il bosone di Higgs

Testi

1. dispense del corso, reperibili sul sito del corso; 2. F. Halzen, A. D. Martin, "An Introductory Course in Modern Particle Physics" 3. D. Schroeder, M. Peskin, "An Introduction to Quantum Field Theory" 4. S. Weinberg, "The Quantum Theory of Fields"

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Le lezioni si svolgeranno in modo frontale con l'ausilio della lavagna a gesso per l'illustrazione dei concetti di base, lo svolgimento dei passaggi matematici necessari e di un video proiettore per la visualizzazione degli schemi apparati sperimentali, grafici e tabelle. Le esercitazioni sono effettuate altresì alla lavagna per la proposizione degli esercizi e la loro soluzione.

Modalità di valutazione

L'esame comprende una prova per iscritto in cui gli studenti dovranno effettuare il calcolo della sezione d'urto di alcuni processi elementari, risolvere esercizi di cinematica relativistica, rispondere a domande a risposta aperta e chiusa sulle nozioni fondamentali illustrate durante lo svolgimento delle lezioni. Gli studenti che superano con successo la prova scritta sono ammessi all'esame orale dove dovranno illustrare i concetti appresi, mostrando padronanza degli argomenti trattati e capacità di elaborazione dei concetti e delle metodologie acquisite applicandole a configurazioni sperimentali ideali o agli esperimenti trattati durante il corso.

English

Prerequisites

none

Programme

Program: 1. Principles of invariance and conservation laws. 2. discrete and continuous symmetries; 3. relativistic equations: Klein-Gordon, Dirac 4. negative energy solutions, helicity, spin, solutions for zero mass, neutrinos 5. relativistic perturbation theory, interaction Hamiltonian, Feynman graphs, propagator as a Green function; 6. Lorentz transformations, laboratory and center of mass system, invariant mass, reaction kinematics, reaction threshold; 7. fields of interaction, Yukawa model; 8. primary and secondary cosmic rays, the muon: decay, mass and average life; 9. kinematics of decays, combination of angular moments, Clebsch-Gordan coefficients, symmetry of the isospin; 10. decay widths and comparison between matrix elements, laws of storage; 11. phase space density, Scattering cross section, flux, factor of the space and of the invariant phases, scattering matrix elements; 12. the pion: charge, spin,

parity, charge conjugation, isospin; 13. strange particles, hyperons, interaction of the K mesons; 14. strange baryons, mesonic and baryonic octets, SU (3) symmetry, hypercharge, Young's diagrams; 15. discovery of the anti-proton, the anti-baryons, the Delta resonance; 16. hadronic and mesonic resonances, model at Quarks; 17. representation of the mesons in the quarks model 18: potential scattering, solution of the Schroedinger equation for waves spherical; 19: diffusion and absorption cross section, unitarity limit, optical theorem; 20: resonant cross section, Breit-Wigner formula, baryon masses with Gell-Mann Okubo formula; 21: the color quantum number, SU (3) representations of color, relationships between spin and SU (3) multiplets; 22: weak interaction, parity violation, madame Wu experiment; 23: oscillation of the K mesons, the Cabibbo angle, the GIM mechanism; 23: discovery of the charm and beauty quarks; 24: decay of D and B mesons, Feynman diagrams, isospin relations; 25: neutrino beams, neutrino flavor, discovery of the neutrino tau; 25: the accelerating machines e⁺ + e⁻, hadronic impact section, the ratio R and the number of quarks and colors; 26: measurement of the helicity of the neutrino, discovery of the anti-neutrino; 27: deep inelastic scattering, parton distribution functions; 27: hadronic colliders, proton-anti-proton and proton-proton: discovery of the W and Z bosons; 28: the Higgs boson

Reference books

1. course notes, available on the course website; 2. F. Halzen, A. D. Martin, "An Introductory Course in Modern Particle Physics" 3. D. Schroeder, M. Peskin, "An Introduction to Quantum Field Theory" 4. S. Weinberg, "The Quantum Theory of Fields"

Reference bibliography

-

Study modes

The lessons will be held frontally with the aid of the chalkboard for the illustration of the basic concepts, the carrying out of the necessary arithmetic passages and a video projector for the visualization of the experimental apparatus schemes, graphs and tables. The exercises are also carried out on the blackboard for the presentation of the exercises and their solution.

Exam modes

-

20401904 - FISICA TEORICA I

Canale:N0

Docente: DEGRASSI GIUSEPPE

Italiano

Prerequisites

Conoscenza delle equazioni di Maxwell e delle onde elettromagnetiche. Conoscenza della meccanica quantistica non relativistica.

Programma

Relatività ristretta ed elettromagnetismo Richiami di relatività ristretta: trasformazioni di Lorentz, addizione delle velocità, aberrazione della luce. Rappresentazione grafica di Minkowski: classificazione degli intervalli, dilatazione dei tempi, contrazione delle lunghezze, causalità. Caratterizzazione completa delle trasformazioni delle coordinate che lasciano invariato l'intervallo spazio-temporale pseudoeuclideo: gruppo di Poincaré, gruppo di Lorentz e loro struttura. Elementi di calcolo quadritensoriale: scalari, vettori controvarianti, vettori covarianti, tensori, pseudotensori, prodotto scalare, contrazioni tensoriali. Legge di trasformazione dei campi, quadrigradiente. Elementi di meccanica relativistica: quadrirelatività, quadriaccelerazione, quadrimpulso, quadrivettore forza e legge della potenza. Formulazione covariante dell'equazione di Lorentz e tensore del campo elettromagnetico. Proprietà di trasformazione dei campi elettrico e magnetico. Formulazione covariante delle equazioni di Maxwell. Potenziale vettore, potenziale scalare, quadripotenziale. Equazioni di Maxwell in termini del quadripotenziale. Invarianza di gauge. Invarianti del campo elettromagnetico. Campo creato da una carica in moto uniforme: derivazione dal campo elettrostatico mediante una trasformazione di Lorentz. Bilancio energetico nel formalismo trivettoriale: densità di energia, vettore di Poynting. Bilancio energetico nel formalismo covariante: tensore energia ed impulso. Leggi di conservazione: conservazione del quadrimpulso totale e tensore degli sforzi di Maxwell. Conservazione del momento angolare totale. Equazioni di Maxwell nel vuoto per il quadripotenziale nella gauge di Lorentz e loro soluzione generale. Soluzioni di tipo onda piana delle equazioni di Maxwell nel vuoto e loro proprietà. Densità e flusso di energia di un'onda piana. Pressione della radiazione. Formulazione covariante della polarizzazione. Equazione per il quadripotenziale in presenza di sorgenti. Funzione di Green. Potenziali e campi di Lienard e Wiechert. Potenza irradiata in approssimazione non relativistica e relativistica. Sezione d'urto Thomson. Effetto Compton. Effetto Cerenkov. Meccanica quantistica relativistica. Equazione di Dirac. Covarianza dell'equazione. Limite non relativistico. Covarianti bilineari. Soluzioni dell'equazione di Dirac. Proiettori per le soluzioni ad energia positiva e negativa. Elicità e chiralità. Teoria dei campi quantizzati Il campo elettromagnetico libero come insieme di oscillatori armonici. Quantizzazione del campo in gauge di radiazione. Operatori di creazione ed annichilazione. Richiami di meccanica quantistica: oscillatore armonico, rappresentazione di Heisenberg, operatore di evoluzione temporale, prodotto cronologico. Formalismo lagrangiano dal discreto al continuo. Quantizzazione del campo. Commutatori canonici. Simmetrie e teorema della Noether. Invarianza per traslazioni spazio-temporali. Tensore energia-impulso. Simmetrie interne. Lagrangiano del campo scalare reale e complesso, sua quantizzazione. Prodotti ordinati. Invarianza globale e locale. Lagrangiano del campo di Dirac. Quantizzazione. Anticommutatori canonici. Quantizzazione del campo elettromagnetico. La rappresentazione di interazione. Matrice S. Sviluppo perturbativo della matrice S. Teorema di Wick. Commutatori dei campi bosonici e fermionici a tempi arbitrari. Propagatori per il campo scalare e di Dirac. Propagatore del fotone. Introduzione alle regole di Feynman. Regole di Feynman in QED. Sezione d'urto. Processi ad ordine albero: e⁺e⁻ - mu⁺ mu⁻, diffusione in campo esterno.

Testi

V. Barone: Relatività, Bollati Boringhieri. F. Mandl, G. Shaw: Quantum Field Theory, John Wiley & Sons.

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Lezioni ed esercitazioni frontali alla lavagna. Svolgimento di esempi illustrativi della teoria presentata.

Modalità di valutazione

L'esame consisterà in una prova orale su entrambe le parti del corso. E' possibile portare all'esame orale solo la parte di meccanica quantistica relativistica e teoria dei campi se lo studente supera l'esonero sulla parte di Relatività ed elettromagnetismo che viene svolto alla fine della prima parte. Nel caso lo studente non abbia superato l'esonero di Relatività nella prova orale verrà chiesto di risolvere un esercizio di Relatività o elettromagnetismo.

English

Prerequisites

Knowledge of Maxwell equations and of the electromagnetic waves. Knowledge of non-relativistic quantum mechanics.

Programme

Special Relativity and Electromagnetism. Lorentz transformations, Minkowski plane, Poincaré and Lorentz groups. Covariant and contravariant vectors, tensors, transformation law of the fields. Relativistic Dynamics: four-velocity, four-momentum, Minkowski force. Covariant formulation of Electromagnetism: transformation properties of the electric and magnetic fields, electromagnetic field tensor, covariant formulation of the Maxwell equations, four-potential, gauge invariance. Conservation laws: Maxwell stress tensor, energy-momentum tensor, conservation of energy, momentum and angular momentum. Solution of the Maxwell equations for the four-potential in the vacuum in the Lorentz gauge. Plane waves, radiation pressure. Lienard e Wiechert potentials. Radiated power. Thomson cross section. Compton effect. Cerenkov effect. Relativistic Quantum Mechanics Klein-Gordon equation. Dirac equation, non-relativistic limit. Covariance of the Dirac equation. Solutions of Dirac equation. Projectors for positive and negative energy solutions. Helicity. Chirality. Quantum Field Theory Quantization of the electromagnetic field in the radiation gauge. Creation and annihilation operators. Heisenberg representation. Lagrangian field theory, symmetry and conservation laws, Noether theorem. Field quantization. Lagrangian for a real and complex scalar field, quantization. Lagrangian for a Dirac field, quantization. Electromagnetic field, covariant quantization. Global and local invariance. Interaction picture. S-matrix and its expansion. Wick theorem. Commutators and propagators for bosonic and fermionic fields. Quantization of the electromagnetic field. Feynman diagrams and rules in QED. Tree-level processes: $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$, scattering by an external field.

Reference books

V. Barone: Relatività, Bollati Boringhieri. F. Mandl, G. Shaw: Quantum Field Theory, John Wiley & Sons.

Reference bibliography

-

Study modes

Lectures and recitations at the blackboard. Explanation of the theory presented via discussion of examples.

Exam modes

-

20402218 - FISICA TEORICA II

Canale:N0

Docente: DEGRASSI GIUSEPPE

Italiano

Prerequisiti

Fisica Teorica I

Programma

1. I Diagrammi di Feynman, processi ad ordine albero, simmetrie discrete Richiami sui diagrammi di Feynman ed il calcolo delle sezioni d'urto. Processi ad ordine albero: diffusione Bhabha, effetto Compton. Invarianza di gauge per la somma di diagrammi in QED. Rappresentazione chirale e di Majorana per le matrici di Dirac. Parità, coniugazione di carica, teorema di Furry, inversione temporale. 2. Correzioni Radiative Comportamento divergente di un integrale. Grado di divergenza di un diagramma. Teorie rinormalizzabili. Regularizzazione alla Pauli-Villars. Calcolo dell'autoenergia di una particella scalare ad una loop e divergenze quadratiche. Rinormalizzazione di massa, funzione d'onda, vertice. Autoenergia dell'elettrone. QED Identità di Ward. Identità di Gordon. Regularizzazione dimensionale. Calcolo ad una loop della polarizzazione del vuoto, Lamb shift, discussione qualitativa sul running delle costante di accoppiamento. Vertice in QED, momento magnetico anomalo dell'elettrone. Bremsstrahlung, divergenze infrarosse e loro cancellazione tra diagrammi reali e virtuali. 3. Teorie di Gauge Non Abelian Lagrangiano di Yang-Mills. Cromodinamica quantistica. Vertici a 3 e 4 gluoni. Propagatore di un bosone di gauge in una gauge arbitraria. Invarianza di gauge in teorie non abeliane. Running delle costante di accoppiamento forte, libertà asintotica. Interazioni deboli. Teoria di Fermi e bosone vettoriale intermedio. Propagatore del W. Decadimento del muone. Lagrangiano del Modello Standard. Angolo di mescolamento elettrodebole. Rottura spontanea della simmetria. Meccanismo di Higgs. Masse dei bosoni intermedi e dei fermioni. Matrice di mescolamento di Cabibbo-Kobayashi-Maskawa

Testi

F. Mandl, G. Shaw: Quantum Field Theory, ed. John Wiley & Sons; M. Peskin, D. Schroeder: An Introduction to Quantum Field Theory, ed. Frontiers in Physics

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Lezioni ed esercitazioni frontali alla lavagna. Svolgimento di esempi illustrativi della teoria presentata.

Modalità di valutazione

Esame orale. Lo studente potrà sostenere l'esame orale solo dopo aver passato un prova scritta da svolgersi a casa.

English

Prerequisites

Theoretical Physics I

Programme

Feynman diagrams. Tree-level processes. Discrete symmetry Feynman diagrams and cross-sections. Bhabha and Compton scattering. Gauge invariance. Chiral and Majorana representations for the matrices. Parity, charge conjugation and time-reversal. Radiative Corrections Divergent behavior of an integral. Primitively divergent diagrams. Pauli-Villars regularization. Coupling, mass and wave-function renormalization in a scalar theory. QED. Ward identity. Dimensional regularization. Vacuum polarization and Lamb shift. Running of the coupling constant. Bremsstrahlung, infrared divergencies and their cancellation between real and virtual contributions. Non Abelian Gauge Theories Yang-Mills Lagrangian. QCD. Non Abelian gauge invariance. Running of the strong coupling. Asymptotic freedom. Weak Interactions. Fermi and IVB theories. W propagator. μ decay. Standard Model Lagrangian. Weak angle. Spontaneous symmetry breaking and Higgs mechanism. Mass of the intermediate vector bosons. CKM matrix

Reference books

F. Mandl, G. Shaw: Quantum Field Theory, ed. John Wiley & Sons; M. Peskin, D. Schroeder: An Introduction to Quantum Field Theory, ed. Frontiers in Physics

Reference bibliography

-

Study modes

Lectures and recitations at the blackboard. Explanation of the theory presented via discussion of examples.

Exam modes

-

20402218 - FISICA TEORICA II

Canale:N0

Docente: MELONI DAVIDE

Italiano

Prerequisiti

Aver superato l'esame di Fisica Teorica I

Programma

1. I Diagrammi di Feynman, processi ad ordine albero, simmetrie discrete Richiami sui diagrammi di Feynman ed il calcolo delle sezioni d'urto. Processi ad ordine albero: diffusione Bhabha, effetto Compton. Invarianza di gauge per la somma di diagrammi in QED. Rappresentazione chirale e di Majorana per le matrici di Dirac. Parità, coniugazione di carica, teorema di Furry, inversione temporale. 2. Correzioni Radiative Comportamento divergente di un integrale. Grado di divergenza di un diagramma. Teorie rinormalizzabili. Regularizzazione alla Pauli-Villars. Calcolo dell'autoenergia di una particella scalare ad una loop e divergenze quadratiche. Rinormalizzazione di massa, funzione d'onda, vertice. Autoenergia dell'elettrone. QED Identità di Ward. Identità di Gordon. Regularizzazione dimensionale. Calcolo ad una loop della polarizzazione del vuoto, Lamb shift, discussione qualitativa sul running delle costante di accoppiamento. Vertice in QED, momento magnetico anomalo dell'elettrone. Bremsstrahlung, divergenze infrarosse e loro cancellazione tra diagrammi reali e virtuali. 3. Teorie di Gauge Non Abelian Lagrangiano di Yang-Mills. Cromodinamica quantistica. Vertici a 3 e 4 gluoni. Propagatore di un bosone di gauge in una gauge arbitraria. Invarianza di gauge in teorie non abeliane. Running delle costante di accoppiamento forte, libertà asintotica. Interazioni deboli. Teoria di Fermi e bosone vettoriale intermedio. Propagatore del W. Decadimento del muone. Lagrangiano del Modello Standard. Angolo di mescolamento elettrodebole. Rottura spontanea della simmetria. Meccanismo di Higgs. Masse dei bosoni intermedi e dei fermioni. Matrice di mescolamento di Cabibbo-Kobayashi-Maskawa

Testi

F. Mandl, G. Shaw: Quantum Field Theory, ed. John Wiley & Sons; M. Peskin, D. Schroeder: An Introduction to Quantum Field Theory, ed. Frontiers in Physics

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Lezioni ed esercitazioni frontali alla lavagna. Svolgimento di esempi illustrativi della teoria presentata.

Modalità di valutazione

Esame orale. Lo studente potrà sostenere l'esame orale solo dopo aver passato un prova scritta da svolgersi a casa.

English

Prerequisites

Have passed the exam of Theoretical Physics I

Programme

Feynman diagrams. Tree-level processes. Discrete symmetry Feynman diagrams and cross-sections. Bhabha and Compton scattering. Gauge invariance. Chiral and Majorana representations for the matrices. Parity, charge conjugation and time-reversal. Radiative Corrections Divergent behavior of an integral. Primitively divergent diagrams. Pauli-Villars regularization. Coupling, mass and wave-function renormalization in a scalar theory. QED. Ward identity. Dimensional regularization. Vacuum polarization and Lamb shift. Running of the coupling constant. Bremsstrahlung, infrared divergencies and their cancellation between real and virtual contributions. Non Abelian Gauge Theories Yang-Mills Lagrangian. QCD. Non Abelian gauge invariance. Running of the strong coupling. Asymptotic freedom. Weak Interactions. Fermi and IVB theories. W propagator. μ decay. Standard Model Lagrangian. Weak angle. Spontaneous symmetry breaking and Higgs mechanism. Mass of the intermediate vector bosons. CKM matrix

Reference books

F. Mandl, G. Shaw: Quantum Field Theory, ed. John Wiley & Sons; M. Peskin, D. Schroeder: An Introduction to Quantum Field Theory, ed. Frontiers in Physics

Reference bibliography

-

Study modes

Lectures and recitations at the blackboard. Explanation of the theory presented via discussion of examples.

Exam modes

-

20410042 - FISICA TERRESTRE

Docente: PETTINELLI ELENA

Italiano

Prerequisiti

Competenze acquisite in corsi di fisica e matematica avanzati

Programma

La Terra nel Sistema Solare Titus-Bode Law. Pianeti terrestri e gassosi. Cenni sulla formazione del sistema solare. Cenni di chimica del sistema solare. Classificazione geochimica degli elementi. Formazione e differenziazione dei pianeti La Terra come Pianeta Definizione di pianeta. Leggi di Keplero. Caratteristiche generali: acqua liquida, atmosfera, dicotomia crostale, campo magnetico, dinamica interna. Massa, densità e momento d'inerzia della Terra Il problema della stima della densità media della Terra: cenni storici (da Newton a Poynting). L'esperimento di Cavendish in chiave moderna. Stima della massa della Terra e dei pianeti – Densità media della Terra. Richiami sul momento d'inerzia. Tensore dei momenti d'inerzia. Ellisoidi e sferoidi. Momento d'inerzia di una sfera solida a densità costante. Momenti d'inerzia e modelli di strutture planetarie. La forma e la gravità terrestre La forma (figure) della Terra..Ellissoide oblati e schiacciamento polare. Forma della Terra e topografia. Forma della Terra e variazioni di g . Accelerazione e potenziale gravitazionale. Potenziale gravitazionale: equazione di Laplace. Potenziale gravitazionale in coordinate sferiche. Potenziale gravitazionale di una sfera solida a densità costante. Soluzione generale dell'equazione di Laplace in coordinate sferiche. Polinomi di Legendre. Armoniche sferiche e coefficienti di Stokes. Equazione di MacCullagh e momenti d'inerzia. Ellitticità della forma (figure) della Terra. Il rapporto di accelerazione m (acceleration ratio). Il geopotenziale. Relazione fra J_2 , J_4 , m ed f . Calcolo del rapporto d'inerzia per la Terra. La gravità sullo sferoide di riferimento. Latitudine geocentrica e geografica. Formula di Clairaut. La gravità normale. Il geoide. Misure di g . Misure assolute e relative. Correzioni nella misura di g . Anomalie in aria libera e di Bouguer. Non univocità delle anomalie di g . Isostasia. Anomalie isostatiche. Movimenti verticali della crosta. Compensazione isostatica. Aggiustamenti isostatici e viscosità del mantello. Misure del geoide da satellite. Ondulazioni del geoide. Maree e rotazione terrestre Origine delle maree. Potenziali mareali. Componenti dell'accelerazione mareale lunare. Combinazione delle maree lunari e solari. Maree Terrestri. Attrito mareale e decelerazione della rotazione terrestre e lunare. Nutazione di Eulero ed oscillazione di Chandler. Precessione luni-solare. Cenni sulle proprietà dei minerali e delle rocce Struttura cristallina dei minerali. Le rocce. Classificazione delle rocce. Rocce sedimentarie, ignee e metamorfiche. Eutettici e soluzioni solide. Magnetismo terrestre: Cenni storici - da Petrus Peregrinus a Gauss. Il magnetismo delle rocce Fisica del magnetismo. Principio di equivalenza di Ampere. Richiami sui momenti magnetici atomici. Suscettività magnetica. Proprietà magnetiche della materia. Diamagnetismo (teoria classica). Paramagnetismo (teoria classica). Ferromagnetismo. Ferrimagnetismo. Antiferromagnetismo. Ferromagnetismo parassita. Minerali magnetici. Magnetismo delle rocce. Titanomagnetiti e serie magnetiche. Magnetizzazione delle rocce. Tipi di magnetizzazione. Magnetizzazione termo-rimanente (TRM). Magnetizzazione chimica rimanente (CRM). Magnetizzazione detritica rimanente (DRM). Cenni sul Paleomagnetismo. Campo magnetico terrestre Le osservabili del CMT. Caratteristiche generali del CMT. Equazione di Laplace e potenziale del CMT. Coefficienti di Gauss. CMT modellizzato con dipoli. Il campo dipolare terrestre. Best fit del CMT – dipolo eccentrico inclinato. Spettro di potenza del CMT. Stima della profondità della sorgente del campo principale. Variazione secolare. Sorgenti esterne del CMT. Composizione del nucleo terrestre. Modelli del CMT. Dinamo di Bullard. Modello a dinamo autoeccitata. L'approccio magnetoidrodinamico. Equazioni della magnetoidrodinamica. Modelli magneto idrodinamici. Misure magnetiche. Magnetometro a precessione. Anomalie magnetiche e correzioni. Calore terrestre Il budget energetico della Terra. Trasmissione del calore all'interno della Terra: conduzione, convezione, irraggiamento e avvezione. Sorgenti interne di calore. Calore originario; calore radiogenico; altre sorgenti di calore. Equazione della conduzione (Equazione di Fourier). Equazione della conduzione del calore in tre dimensioni. Diffusione termica. Termine avvevativo. Geoterma di equilibrio. Cenni sul trasporto di calore nella litosfera oceanica e continentale. Scala temporale del flusso conduttivo di calore. Gradiente termico adiabatico. Gradiente del punto di fusione. Diagrammi delle geoterme all'interno della Terra. Struttura interna della Terra Equazione di Adams- Williamson. Andamento della densità con la profondità. Densità decompressa. La fasi mineralogiche del mantello. Modello compositivo della Terra. Struttura ed asimmetrie del nucleo terrestre. Profili di v , ρ , g e P all'interno della Terra. Modello di Bullen e Preliminary Reference Earth Model (PREM).

Testi

Stacey, F. D., and Davis, P. M. (2008) Physics of the Earth, Cambridge University Press. Fowler, C. M. R. (2005). The Solid Earth, Cambridge University Press.

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Metodo di insegnamento tradizionale in modalità mista. In parte vengono impartite lezioni frontali alla lavagna, fondamentalmente dedicate alla parte numerica e alle dimostrazioni matematiche, ed in parte vengono utilizzate le slides per gli argomenti più descrittivi. Le lezioni teoriche vengono alternate con lezioni dedicate alla parte di esercitazione numerica che sono finalizzate alla verifica dell'apprendimento e del problem-solving da parte degli studenti.

Modalità di valutazione

L'esame si svolge in modalità orale finalizzata a verificare il livello di comprensione effettiva dei concetti e la capacità di descrivere sia gli aspetti formali che le implicazioni fisiche degli argomenti trattati. La durata dell'esame è di circa 45 minuti. Nella prima parte dell'esame la commissione chiede allo studente di trattare un argomento di suo interesse tra quelli descritti nel programma. Nella seconda parte dell'esame la commissione verifica la completezza ed il rigore metodologico utilizzato dallo studente nel descrivere la fenomenologia ed i principi di base della fisica del Sistema Terra.

English

Prerequisites

Advances courses in physics and mathematics

Programme

Earth in the Solar System Titus-Bode Law. Terrestrial and gaseous planets. Notes on the formation of the solar system. Elements of chemistry of the solar system. Geochemical classification of the elements. Formation and differentiation of planets The Earth as a Planet Definition of planet. Kepler's laws. General features: liquid water, atmosphere, crustal dichotomy, magnetic field, internal dynamics. Earth's mass, density and moment of inertia The problem of estimating the average density of the Earth: historical notes (from Newton to Poynting). Cavendish's experiment in a modern way. Estimate of the mass of the Earth and planets - Average density of the Earth. Recalling the moment of inertia. Tensor of moments of inertia. Ellipsoid and spheroid. Moment of inertia of a solid sphere with constant density. Moments of inertia and models of planetary structures. Earth's shape and gravity The shape (figures) of the Earth .. Oblate ellipsoid and polar crushing. Earth shape and topography. Earth shape and variations of g. Acceleration and gravitational potential. Gravitational potential: Laplace equation. Gravitational potential in spherical coordinates. Gravitational potential of a solid sphere with constant density. General solution of the Laplace equation in spherical coordinates. Legendre polynomials. Spherical harmonics and Stokes coefficients. MacCullagh equation and moments of inertia. Ellipticity of the shape (figures) of the Earth. The acceleration ratio m (acceleration ratio). The geopotential. Relationship between J_2 , J_4 , m and f. Calculation of the inertia ratio for the Earth. Gravity on the reference spheroid. Geocentric and geographical latitude. Clairaut formula. Normal gravity. The geoid. Measurements of g. Absolute and relative measures. Corrections to the extent of g. Anomalies in open air and Bouguer. Non-uniqueness of the anomalies of g. Isostasy. Isostatic anomalies. Vertical movements of the crust. Isostatic compensation. Isostatic adjustments and coat viscosity. Satellite geoid measurements. Geoid ripples. Tides and land rotation Origin of the tides. Tidal potential. Components of the lunar tidal acceleration. Combination of lunar and solar tides. Terrestrial tides. Tidal friction and deceleration of terrestrial and lunar rotation. Euler nutation and Chandler swing. Solar-solar precession. Notes on the properties of minerals and rocks Crystalline structure of minerals. The rocks. Classification of rocks. Sedimentary, igneous and metamorphic rocks. Eutectics and solid solutions. Terrestrial magnetism: History - from Petrus Peregrinus to Gauss. The magnetism of the rocks Physics of magnetism. Ampere equivalence principle. Review of atomic magnetic moments. Magnetic susceptibility. Magnetic properties of matter. Diamagnetism (classical theory). Paramagnetism (classical theory). Ferromagnetism. Ferrimagnetism. Antiferromagnetism. Parasitic ferromagnetism. Magnetic minerals. Magnetism of the rocks. Titanomagnetites and magnetic series. Magnetization of rocks. Types of magnetization. Thermo-remaining magnetization (TRM). Remaining chemical magnetization (CRM). Remaining Debris Magnetization (DRM). Notes on Paleomagnetism. Earth's magnetic field The observables of the CMT. General characteristics of the CMT. Laplace equation and CMT potential. Gauss coefficients. CMT modeled with dipoles. The terrestrial dipolar field. CMT best fit - inclined eccentric dipole. Power spectrum of the CMT. Estimated depth of the source of the main field. Secular variation. External sources of the CMT. Earth core composition. CMT models. Bullard dynamo. Self-excited dynamo model. The magnetohydrodynamic approach. Magnetohydrodynamics equations. Hydrodynamic magneto models. Magnetic measurements. Precession magnetometer. Magnetic anomalies and corrections. Terrestrial heat Earth's energy budget. Heat transmission within the Earth: conduction, convection, radiation and advection. Internal heat sources. Original heat; radiogenic heat; other heat sources. Conduction equation (Fourier equation). Heat conduction equation in three dimensions. Thermal diffusion. Adjective term. Balance geotherm. Notes on the transport of heat in the oceanic and continental lithosphere. Time scale of the conductive heat flow. Adiabatic thermal gradient. Melting point gradient. Geothermal diagrams inside the Earth. Internal structure of the Earth Adams-Williamson equation. Density trend with depth. Unzipped density. The mineralogical phases of the coat. Compositional model of the Earth. Structure and asymmetries of the Earth's core. Profiles of v , ρ , g and P within the Earth. Bullen model and Preliminary Reference Earth Model (PREM).

Reference books

Stacey, F. D., and Davis, P. M. (2008) Physics of the Earth, Cambridge University Press. Fowler, C. M. R. (2005). The Solid Earth, Cambridge University Press.

Reference bibliography

-

Study modes

Traditional teaching method in mixed modality. Some lectures are given on the blackboard, as those are dedicated to the numerical part and mathematical demonstrations, some others are given with the support of the slides for the most descriptive topics. The theoretical lessons are alternated with lessons dedicated to numerical exercises in order to verify students' learning and problem-solving capabilities.

Exam modes

-

20430044 - FOTONICA

Docente: GIANANI ILARIA

Italiano

Prerequisiti

Lo studente deve possedere solide conoscenze di: • Elettromagnetismo classico (equazioni di Maxwell, propagazione delle onde elettromagnetiche) • Ottica geometrica e fisica elementare • Metodi matematici della fisica (equazioni differenziali, analisi di Fourier, funzioni di variabile complessa)

Programma

Parte 0 - Richiami di Ottica Ondulatoria • Natura ondulatoria della luce • Polarizzazione • Interferenza • Diffrazione Parte 1 - Ottica Lineare e Laser • Cavità ottica - fabry Perot • Modi longitudinali e trasversali • Modi Gaussiani • Modi di Hermite- Gauss • Coefficienti di Einstein • Rate equations • Equazioni di Bloch ottiche e oscillazioni di Rabi • Allargamenti di Riga (Damping, saturazione, doppler, collisioni) • Meccanismo di funzionamento dei laser • Sistemi a tre e quattro livelli • Mode locking Parte 2- Ottica Non Lineare • Polarizzazione non lineare • Suscettività non lineare • Fenomeni non lineari del secondo ordine (SFG, DFG, SHG, SPDC) • Phase matching • Fenomeni non lineari del terzo ordine (THG, FWM, KERR) Parte 3 - Ottica Ultrafast • Impulsi ultrabrevi • Space-time coupling • Chirped pulse amplification • Generazione impulsi ultracorti • High Harmonic Generation (HHG) • Caratterizzazione impulsi ultracorti • Spettroscopia ultrafast

Testi

Bibliografia [1] Principles of lasers - O. Svelto [2] Optics - E. Hecht [3] Fundamentals of Photonics - B. Saleh, M. Teich [4] Femtosecond laser pulses - C. Rulliere [5] Nonlinear Optics - R. Boyd [7] Characterization of ultrashort pulses - C. Dorrer, I. A. Walmsley [8] Atomic Physics - Chris Foot

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Le lezioni sono in presenza, non ci sono esercitazioni

Modalità di valutazione

L'esame è orale e sono previsti 2 esoneri scritti a domanda aperta durante il corso.

English

Prerequisites

The student must have solid knowledge of: • Classical electromagnetism (Maxwell's equations, propagation of electromagnetic waves) • Geometrical and elementary physical optics • Mathematical methods of physics (differential equations, Fourier analysis, functions of a complex variable)

Programme

Part 0 - Recalls of Wave Optics • Wave nature of light • Polarization • Interference • Diffraction Part 1 - Linear Optics and Laser • Optical cavity - Fabry Perot • Longitudinal and transverse modes • Gaussian modes • Hermite-Gauss modes • Einstein coefficients • Rate equations • Optical Bloch equations and Rabi oscillations • Line broadening (Damping, saturation, Doppler, collisions) • Laser operation mechanism • Three- and four-level systems • Mode locking Part 2 - Nonlinear Optics • Nonlinear polarization • Nonlinear susceptibility • Second-order nonlinear phenomena (SFG, DFG, SHG, SPDC) • Phase matching • Third-order nonlinear phenomena (THG, FWM, KERR) Part 3 - Ultrafast Optics • Ultrashort pulses • Space-time coupling • Chirped pulse amplification • Generation of ultrashort pulses • High Harmonic Generation (HHG) • Characterization of ultrashort pulses • Ultrafast spectroscopy

Reference books

Bibliografia [1] Principles of lasers - O. Svelto [2] Optics - E. Hecht [3] Fundamentals of Photonics - B. Saleh, M. Teich [4] Femtosecond laser pulses - C. Rulliere [5] Nonlinear Optics - R. Boyd [7] Characterization of ultrashort pulses - C. Dorrer, I. A. Walmsley [8] Atomic Physics - Chris Foot

Reference bibliography

-

Study modes

The lessons are in person, there are no exercises

Exam modes

-

20410097 - FOTONICA QUANTISTICA

Docente: GIANANI ILARIA

Italiano

Prerequisiti

Lo studente deve possedere solide conoscenze di: • Elettromagnetismo classico (equazioni di Maxwell, propagazione delle onde elettromagnetiche) • Ottica geometrica e fisica elementare • Metodi matematici della fisica (equazioni differenziali, analisi di Fourier, funzioni di variabile complessa)

Programma

Fisica del laser: richiami alla radiazione di corpo nero, equazioni di Einstein, eccitazione di atomi a due livelli, attenuazione e guadagno.

Livelli d'energia e transizioni in semiconduttori. Comportamento del laser cw. Cenni ai laser ultrabrevi. Coerenza e quantizzazione del campo e.m.: teoria classica delle fluttuazioni e della coerenza al primo e secondo ordine. Campo e.m. come oscillatore armonico, quantizzazione e teoria quantistica della coerenza. Stati numero, coerenti e termici. Rappresentazione di interazione: il beam splitter e gli stati squeezed. Rivelazione omodina e fotoconteggio. Funzioni di quasi-probabilità. Ottica nonlineare: introduzione e trattamento classico. Cenni al trattamento quantistico. Effetti nonlineari del secondo ordine: generazione di seconda armonica, frequenza somma e frazionamento parametrico. Effetti del terzo ordine: effetto Kerr ottico. Cenni alla filamentazione. Equazione di Schroedinger nonlineare e solitoni temporali. Correlazioni quantistiche: problema del realismo locale in meccanica quantistica e paradosso EPR-Bohm. Disuguaglianza di Bell e test sperimentali con fotoni polarizzati.

Testi

R. Loudon, The quantum theory of light. Capp. 1, 2, 3, 4, 5, 6 O. Svelto, Principles of lasers. Capp. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 R. Boyd, Nonlinear optics. Capp. 1, 2, 7 J.S. Bell, Speakable and unspeakable in quantum mechanics. Cap 2

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Il corso prevede una serie di lezioni frontali, in cui il docente espone gli argomenti del corso.

Modalità di valutazione

Esame finale in forma orale: verrà valutata la conoscenza degli argomenti, la chiarezza espositiva e la capacità di trovare connessioni tra i differenti argomenti del corso. La prova orale comincerà con una domanda a discrezione della commissione, e da lì si procederà con domande di ragionamento.

English

Prerequisites

The student must have solid knowledge of: • Classical electromagnetism (Maxwell's equations, propagation of electromagnetic waves) • Geometrical and basic physical optics • Mathematical methods in physics (differential equations, Fourier analysis, complex variable functions)

Programme

The physics of laser: blackbody radiation, Einstein equation, interaction of light with a two-level atom, gain and attenuation. Optical transitions in semiconductors. CW and pulsed operation of a laser. Optical coherence and quantisation of the e.m. field: classical theory of fluctuations, first- and second-order coherence. E.m. field as a harmonic oscillator, quantisation and quantum theory of optical coherence. Number states, coherent states, and thermal states. Interaction picture: beam splitter and squeezing hamiltonians. Homodyne detection and photon counting. Quasi-probability distributions. Nonlinear optics: introduction and classic treatment. Notes on quantum treatment. Nonlinear second-order effects: second harmonic generation, sum frequency, and parametric fractionation. Third-order effects: optical Kerr effect. Notes on filamentation. Nonlinear Schroedinger equation and temporal solitons. Quantum correlations: local realism problem in quantum mechanics and the EPR-Bohm paradox. Bell inequality and experimental tests with polarized photons.

Reference books

R. Loudon, The quantum theory of light. Capp. 1, 2, 3, 4, 5, 6 O. Svelto, Principles of lasers. Capp. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 R. Boyd, Nonlinear optics. Capp. 1, 2, 7 J.S. Bell, Speakable and unspeakable in quantum mechanics. Cap 2

Reference bibliography

-

Study modes

The course consists of a series of frontal lectures, with the teacher illustrating specific themes within the topic of quantum electronics and quantum optics.

Exam modes

-

20410429 - FS510 - METODO MONTECARLO

Docente: FRANCESCHINI ROBERTO

Italiano

Prerequisiti

Non e' obbligatorio ma e' fortemente consigliato essere a proprio agio nella programmazione. Possibilmente Python o Wolfram Mathematica.

Programma

Presentazione dei problemi che di solito sono formulati come integrali su un grande numero di variabili Elemento di base Probabilità e variabili random Misure, incertezze e loro propagazione Fit di una curva, minimi quadrati, ottimizzazione Integrazione numerica classica, velocità di convergenza Integrazione MC, media e varianza Strategie di campionamento Applicazioni Propagazione delle incertezze Generazione di dati secondo una distribuzione Applicazioni nel mondo reale Sciami di raggi cosmici Disponibilità di un sistema Ulteriori applicazioni

Testi

Weinzierl, S. - Introduction to Monte Carlo methods arXiv:hep-ph/0006269 Taylor, J. - Introduzione all'analisi degli errori : lo studio delle

incertezze nelle misure fisiche - Zanichelli Disponibile nella biblioteca Scientifica di Roma Tre Dubi, A. - Monte Carlo applications in systems engineering - Wiley Disponibile nella biblioteca Scientifica di Roma Tre

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Lezioni frontali (circa 24 ore) ed Esercitazioni di Laboratorio (circa 36 ore). Nel corso delle Esercitazioni di Laboratorio ogni studente avra' a disposizione un Computer. I diversi temi discussi a lezione saranno oggetto delle Esercitazioni di Laboratorio, utilizzando Mathematica, Python o C++.

Modalità di valutazione

Esame scritto e orale. Scritto: realizzazione di un programma per computer. L'esame scritto consistera' di due parti. La prima parte e' volta a verificare la conoscenza specifica dei metodi esposti a lezione. Nella seconda parte si richiedera' di applicare tali metodi in un contesto piu' ampio. Orale: discussione di una tesina su argomento a scelta dello studente tra una rosa di proposte. La preparazione della tesina richiede lo studio in autonomia di alcuni capitoli di un libro.

English

Prerequisites

A practice of programming is not strictly mandatory but it is however strongly recommended. Preferably Python or Wolfram Mathematica.

Programme

Presentation of the problems that can be treated through integrals on large number of dimensions Basics Probability and Random variables Measurement, uncertainty and its propagation Curve-fitting, least-squares, optimization Classical numerical integration, speed of convergence Integration MC (Mean, variance) Sampling Strategies Applications Propagation of uncertainties Generation according to a distribution Real World Applications Cosmic Rays Shower System Availability Further applications

Reference books

Weinzierl, S. - Introduction to Monte Carlo methods arXiv:hep-ph/0006269 Taylor, J. - Introduzione all'analisi degli errori : lo studio delle incertezze nelle misure fisiche - Zanichelli Disponibile nella biblioteca Scientifica di Roma Tre Dubi, A. - Monte Carlo applications in systems engineering - Wiley Disponibile nella biblioteca Scientifica di Roma Tre

Reference bibliography

-

Study modes

Lectures (about 24 hours) and Activities in Laboratory (about 36 hours). During the Laboratory Activities, each student can access a Personal Computer. The topics discussed during the Lectures will be worked out during the Laboratory Activities, using Mathematica, Python or C++.

Exam modes

-

20410877 - IN500 – QUANTUM COMPUTING

Docente: PEDICINI MARCO

Italiano

Prerequisiti

Programma

Testi da definire

Testi

Testi da definire

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Testi da definire

Modalità di valutazione

Testi da definire

English

Prerequisites

Programme

-

Reference books

-

Reference bibliography

-

Study modes

-

Exam modes

-

20410504 - INTRODUZIONE ALLA BIOLOGIA

Docente: COLASANTI MARCO

Italiano

Prerequisiti

Non è richiesto alcun prerequisito

Programma

Programma-modulo Prof Colasanti-Gli argomenti trattati saranno a scelta del docente tra quelli trattati • Reattività (React) Il sistema nervoso, i neuroni e la conduzione degli impulsi elettrici. • Pulsazioni (Pulse) Il sistema cardiovascolare e l'apparato respiratorio. • Alimentazione (Fuel) L'apparato digerente, il metabolismo e la produzione di energia. • Difesa (Defend) Il sistema immunitario, la microbiologia e le infezioni. • Movimento (Sense) L'apparato muscolo-scheletrico e i recettori sensoriali. • Nascita (Birth) L'apparato riproduttivo, la biologia dello sviluppo e l'epigenetica.

Testi

slide delle lezioni

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Didattica frontale

Modalità di valutazione

Test a risposta multipla e/o aperta

English

Prerequisites

There are no prerequisites

Programme

Module programme – Prof. Colasanti – The topics covered will be chosen by the teacher from among those listed below • Reactivity (React) The nervous system, neurons and the conduction of electrical impulses. • Pulsations (Pulse) The cardiovascular system and the respiratory system. • Nutrition (Fuel) The digestive system, metabolism and energy production. • Defence (Defend) The immune system, microbiology and infections. • Movement (Sense) The musculoskeletal system and sensory receptors. • Birth (Birth) The reproductive system, developmental biology and epigenetics.

Reference books

lecture slides

Reference bibliography

-

Study modes

Lecture-based teaching

Exam modes

-

20410504 - INTRODUZIONE ALLA BIOLOGIA

Docente: ROSSI MARIANNA NICOLETTA

Italiano

Prerequisiti

Non è richiesto nessun prerequisito

Programma

PROGRAMMA _modulo Rossi_ La rivoluzione della biologia molecolare degli ultimi 70 anni attraverso le scoperte dei premi Nobel: • Esperimenti e teoria legata alla scoperta della struttura del DNA, metodi di analisi e visualizzazione del materiale genetico, partendo dalla scoperta della doppia elica di DNA-(Nobel Watson, Crick, Wilkins) • Decifrazione del codice genetico, esperimenti che portarono alla scoperta della regolazione genica, struttura di geni e promotori eucariotici e procariotici (Nobel Jacob, Monod, Lwoff) • La comunicazione cellulare, L'esempio delle neurotrofine e la scoperta dell'NGF (Nobel Levi Montalcini, Cohen) • Componenti strutturali del DNA ed Elementi genomici mobili (Nobel McClintock) • Organismi modello, caratteristiche ed esempi, C.elegans. La scoperta della morte cellulare programmata (Nobel Brenner, Sulston, Horvitz). • L'RNA interference (Nobel Fire, Mello) • Editing del DNA, (Nobel Doudna) • Breve storia dei vaccini e i vaccini a RNA (Nobel Karikó Weissman) Programma – modulo Prof Berardinelli • Prima del gene, prime teorie sulla generazione nell'era pre-scientifica • Darwin e il problema dell'ereditarietà • Mendel: l'eredità come fenomeno misurabile • La riscoperta di Mendel e la nascita della genetica • Cromosomi, mitosi e meiosi. Sutton e Boveri la teoria cromosomica dell'ereditarietà • Morgan e gli studi in Drosophila: i geni sui cromosomi • Mutazioni, eugenetica e il lato oscuro dell'ereditarietà • Dal gene alle proteine: cosa fa un gene? Programma-modulo Prof Colasanti-Gli argomenti trattati saranno a scelta del docente tra quelli trattati • Reattività (React) Il sistema nervoso, i neuroni e la conduzione degli impulsi elettrici. • Pulsazioni (Pulse) Il sistema cardiovascolare e l'apparato respiratorio. • Alimentazione (Fuel) L'apparato digerente, il metabolismo e la produzione di energia. • Difesa (Defend) Il sistema immunitario, la microbiologia e le infezioni. • Movimento (Sense) L'apparato muscolo-scheletrico e i recettori sensoriali. • Nascita (Birth) L'apparato riproduttivo, la biologia dello sviluppo e l'epigenetica.

Testi

slide delle lezioni

Bibliografia di riferimento

slides delle lezioni

Modalità erogazione

Lezioni frontali

Modalità di valutazione

Test a risposta multipla e/o aperta

English

Prerequisites

No entry requirements

Programme

PROGRAM- Rossi- The revolution in molecular biology of the last 70 years through the discoveries of Nobel laureates: • Experiments and theory related to the discovery of the structure of DNA, methods of analysis and visualization of genetic material, starting from the discovery of the DNA double helix-(Nobel Watson, Crick, Wilkins) • Deciphering the genetic code, experiments that led to the discovery of gene regulation, structure of eukaryotic and prokaryotic genes and promoters (Nobel Jacob, Monod, Lwoff) • Cellular communication, the example of neurotrophins and the discovery of NGF (Nobel Levi Montalcini, Cohen) • Structural components of DNA and mobile genomic elements (Nobel McClintock) • Model organisms, characteristics and examples, C.elegans. The discovery of programmed cell death (Nobel Brenner, Sulston, Horvitz). • L'RNA interference (Nobel Fire, Mello) • The revolution of DNA editing, (Nobel Doudna) • A brief history of vaccines and RNA vaccines (Nobel Prize Karikó Weissman) Program – Prof Berardinelli • Before the gene, first theories about generation in the pre-scientific era • Darwin and the Problem of Heredity • Mendel: inheritance as a measurable phenomenon • The rediscovery of Mendel and the birth of genetics • Chromosomes, mitosis and meiosis. Sutton and Boveri the chromosomal theory of heredity • Morgan and the studies in Drosophila: genes on chromosomes • Mutations, Eugenics and the Dark Side of Heredity • From gene to protein: what does a gene do? Program- Prof Colasanti-The topics covered will be chosen by the teacher among the following: • Reactivity : The nervous system, neurons and the conduction of electrical impulses. • Pulse: The cardiovascular system and the respiratory system. • Fuel: The digestive system, metabolism and energy production. • Defend: The immune system, microbiology and infections. • Movement : The musculoskeletal system and sensory receptors. • Birth: The reproductive system, developmental biology and epigenetics.

Reference books

slides of the lessons

Reference bibliography

slides of the lessons

Study modes

frontal lesson

Exam modes

-

20410504 - INTRODUZIONE ALLA BIOLOGIA

Docente: BERARDINELLI FRANCESCO

Italiano

Prerequisiti

Non è richiesto nessun prerequisito

Programma

Programma – modulo Prof Berardinelli • Prima del gene, prime teorie sulla generazione nell'era pre-scientifica • Darwin e il problema

dell'ereditarietà • Mendel: l'eredità come fenomeno misurabile • La riscoperta di Mendel e la nascita della genetica • Cromosomi, mitosi e meiosi. Sutton e Boveri la teoria cromosomica dell'ereditarietà • Morgan e gli studi in *Drosophila*: i geni sui cromosomi • Mutazioni, eugenetica e il lato oscuro dell'ereditarietà • Dal gene alle proteine: cosa fa un gene?

Testi

slide delle lezioni

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Lezioni frontali

Modalità di valutazione

Test a risposta multipla e/o aperta

English

Prerequisites

Programme

Module Program – Prof. Berardinelli • Before the gene: early theories of generation in the pre-scientific era • Darwin and the problem of heredity • Mendel: heredity as a measurable phenomenon • The rediscovery of Mendel and the birth of genetics • Chromosomes, mitosis, and meiosis: Sutton and Boveri's chromosome theory of inheritance • Morgan and studies in *Drosophila*: genes on chromosomes • Mutations, eugenics, and the dark side of heredity • From genes to proteins: what does a gene do?

Reference books

-

Reference bibliography

-

Study modes

-

Exam modes

-

20401859 - LABORATORIO DI FISICA SUBNUCLEARE

Docente: MARI STEFANO MARIA

Italiano

Prerequisiti

non richiesti

Programma

PROGRAMMA DELLE LEZIONI IN AULA (EQUIVALENTE A CIRCA 2 CFU) CENNI INTRODUTTIVI SUI RIVELATORI DI PARTICELLE – FISICA DEI RIVELATORI UTILIZZATI NELL'ATTIVITA' DI LABORATORIO (SCINTILLATORI PLASTICI, SCINTILLATORI LIQUIDI, RIVELATORI A GAS,...) – CENNI SUI DISPOSITIVI ELETTRONICI NECESSARI PER LA LETTURA DEI RIVELATORI, PER IL SISTEMA DI TRIGGER E IL SISTEMA DI ACQUISIZIONE DATI – RICHIAMI DI PROGRAMMAZIONE – RICHIAMI DI STATISTICA PER L'ANALISI DEI DATI. PROGRAMMA DELL'ATTIVITA' IN LABORATORIO (EQUIVALENTE A CIRCA 6-7 CFU) Misura della vita media del mesone μ DEL SEGNALE MISURATO – MESSA IN OPERA DEI RIVELATORI • SET UP DELL'APPARATO – FORMAZIONE DEL TRIGGER • SET UP DEL SISTEMA DI ACQUISIZIONE DATI E SVILUPPO DEL SOFTWARE DI ANALISI • MISURA DELLA GRANDEZZA PROPOSTA (VITA MEDIA DEL MESONE μ E GRANDEZZE CORRELATE, SPETTRO DELL'ELETTRONE DEL DECADIMENTO DEL μ , SPETTRO DEI RAGGI COSMICI DURI, ...) LO STUDENTE E' CHIAMATO A SVOLGERE DA SOLO UNA PARTE DELL'ATTIVITA' SPERIMENTALE PROPOSTA IN MODO CHE POSSA CONFRONTARSI DIRETTAMENTE CON LE PROBLEMATICHE DI LABORATORIO. LA MISURA FINALE VERRA' SVOLTA IN GRUPPO

Testi

W.R. Leo - Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiment - Springer-Verlag W. Blum, L. Roland - Particle Detection with Drift Chambers - Springer-Verlag T. Ferbel - Experimental Techniques in High-Energy Nuclear and Particle Physics F. Sauli - Principles of operation of multiwire proportional and drift chambers

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Il corso e' formato da una serie di lezioni preliminari in aula dedicate alla spiegazione dei concetti necessari per arrivare alla misura finale svolta in laboratorio. Le lezioni sono accompagnate da esercizi numerici corretti di volta in volta. Il corso si articola poi con l'attività di laboratorio per la misura della vita media del mesone μ

Modalità di valutazione

Lo studente prepara la relazione finale di laboratorio nella quale discute le scelte sperimentali adottate, le misure e le loro incertezze, e

il valore finale ottenuto per la vita media del mesone μ .

English

Prerequisites

not required

Programme

COURSE CONTENT Lessons (2CFU): Introduction to particle detectors (scintillators, gaseous chambers, solid state) Introduction to electronic devices for particle physics Basic software development for DAQ system and data analysis Lab Activity (6CFU): Measurement of the Muon life

Reference books

W.R. Leo - Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiment - Springer-Verlag W. Blum, L. Roland - Particle Detection with Drift Chambers - Springer-Verlag T. Ferbel - Experimental Techniques in High-Energy Nuclear and Particle Physics F. Sauli - Principles of operation of multiwire proportional and drift chambers

Reference bibliography

-

Study modes

Lectures. The first part of the program is devoted to explain and discuss the main experimental issues involved in the muon life measurement. Numerical exercises are presented and solved. The main part of the course concerns the measurement of the muon life in laboratory.

Exam modes

-

20401859 - LABORATORIO DI FISICA SUBNUCLEARE

Docente: DI MICCO BIAGIO

Italiano

Prerequisiti

nessuno

Programma

Programma delle lezioni in aula - Cenni introduttivi sui rivelatori di particelle – fisica dei rivelatori utilizzati nell'attività di laboratorio (scintillatori plastici, scintillatori liquidi, rivelatori a gas,...) – cenni sui dispositivi elettronici necessari per la lettura dei rivelatori, per il sistema di trigger e il sistema di acquisizione dati – richiami di programmazione – richiami di statistica per l'analisi dei dati. Programma dell'attività in laboratorio (equivalente a circa 5 cfu) • stima della risposta dei rivelatori utilizzati – verifica del segnale misurato – messa in opera dei rivelatori • set up dell'apparato – formazione del trigger • set up del sistema di acquisizione dati e sviluppo del software di analisi • misura della grandezza proposta (vita media del mesone μ e grandezze correlate, spettro dell'elettrone del decadimento del μ , spettro dei raggi cosmici duri, ...) lo studente è chiamato a svolgere da solo una parte dell'attività sperimentale proposta in modo che possa confrontarsi direttamente con le problematiche di laboratorio. la misura finale verrà svolta in gruppo

Testi

TESTI CONSIGLIATI: W.R. Leo - Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiment - Springer-Verlag W. Blum, L. Roland - Particle Detection with Drift Chambers - Springer-Verlag T. Ferbel - Experimental Techniques in High-Energy Nuclear and Particle Physics F. Sauli - Principles of operation of multiwire proportional and drift chambers

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Il corso è formato da una serie di lezioni preliminari in aula dedicate alla spiegazione dei concetti necessari per arrivare alla misura finale svolta in laboratorio. Le lezioni sono accompagnate da esercizi numerici corretti di volta in volta. Il corso si articola poi con l'attività di laboratorio per la misura della vita media del mesone μ

Modalità di valutazione

Lo studente prepara la relazione finale di laboratorio nella quale discute le scelte sperimentali adottate, le misure e le loro incertezze, e il valore finale ottenuto per la vita media del mesone μ .

English

Prerequisites

none

Programme

program of lessons in the classroom • introductory notes on particle detectors • physics of the detectors used in the laboratory activity (plastic sparklers, liquid sparklers, detectors a gas, ...) • notes on electronic devices required for reading the detectors, for the trigger and the system data acquisition system • calls to programming • statistical calls for the analysis data. Program of the activity in the laboratory (equivalent a about 5 cfu) • estimate of the response of the detectors used - verification of the measured signal - setting of the detectors • set up of the apparatus - trigger training • set up of the data acquisition and development system of analysis software •

measurement of the proposed greatness (vita media del mesone mu and related quantities, spectrum of the electron of the decay of the mu, spectrum of hard cosmic rays, ...) the student is called to perform a part only of the experimental activity proposed so that it may compare directly with the issues of laboratory. the final measure will be carried out in the group

Reference books

RECOMMENDED TEXTS: W.R. Leo - Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiment - Springer-Verlag W. Blum, L. Roland - Particle Detection with Drift Chambers - Springer-Verlag T. Ferbel - Experimental Techniques in High-Energy Nuclear and Particle Physics F. Sauli - Principles of operation of multiwire proportional and drift chambers

Reference bibliography

-

Study modes

Lectures. The first part of the program is devoted to explain and discuss the main experimental issues involved in the muon life measurement. Numerical exercises are presented and solved. The main part of the course concerns the measurement of the muon life in laboratory.

Exam modes

-

20401859 - LABORATORIO DI FISICA SUBNUCLEARE

Docente: MONTEREALI Federico

Italiano

Prerequisiti

vedere le informazioni nella scheda del docente titolare del corso

Programma

vedere le informazioni nella scheda del docente titolare del corso

Testi

vedere le informazioni nella scheda del docente titolare del corso

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

vedere le informazioni nella scheda del docente titolare del corso

Modalità di valutazione

vedere le informazioni nella scheda del docente titolare del corso

English

Prerequisites

see the information on the course instructor's profile

Programme

see the information on the course instructor's profile

Reference books

see the information on the course instructor's profile

Reference bibliography

-

Study modes

see the information on the course instructor's profile

Exam modes

-

20410459 - MC430 - LABORATORIO DI DIDATTICA DELLA MATEMATICA

Docente: FALCOLINI CORRADO

Italiano

Prerequisiti

Programma

Testi da definire

Testi

Testi da definire

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Testi da definire

Modalità di valutazione

Testi da definire

English

Prerequisites

Programme

-

Reference books

-

Reference bibliography

-

Study modes

-

Exam modes

-

20402354 - MECCANICA STATISTICA

Docente: LUPI LAURA

Italiano

Prerequisiti

Sono richieste conoscenze di base di termodinamica, meccanica statistica e metodi matematici per la fisica.

Programma

Programma I modulo (6 CFU) Richiami di termodinamica. Potenziali termodinamici. Transizioni di fase ed equazione di Van der Waals. Fluttuazioni e stabilità. Transizioni di fase e limite termodinamico. Derivazione microscopica dell'equazione di Van der Waals. Comportamento al punto critico dell'equazione di Van der Waals. Teoria di Curie-Weiss del ferromagnetismo. Teoria di Landau delle transizioni di seconda specie. Criterio di Ginzburg per la validità della teoria di campo medio. Il ruolo della simmetria e della dimensionalità: il teorema di Mermin-Wagner. Gruppo di rinormalizzazione. Trasformazione di Kadanoff-Wilson. Calcolo dei punti fissi per il modello di Landau-Wilson e sviluppo in epsilon.

Testi

Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter by Carlo Di Castro and Roberto Raimondi Cambridge University Press 2015 ISBN: 9781107039407

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Il corso prevede lezioni frontali svolte alla lavagna.

Modalità di valutazione

L'esame finale consiste in un colloquio orale articolato su tre argomenti, relativi rispettivamente alla prima, alla seconda e alla terza parte del programma. Nel corso del colloquio potranno essere poste ulteriori domande di approfondimento. Il voto finale sarà determinato sulla base di una valutazione complessiva della preparazione dimostrata dallo studente nei tre argomenti e non corrisponderà necessariamente alla media aritmetica delle singole valutazioni.

English

Prerequisites

Basic knowledge of thermodynamics, statistical mechanics, and mathematical methods for physics is required.

Programme

1st module program (6 credits) Introduction to thermodynamics. Thermodynamic potentials. Phase transitions and Van der Waals equation. Fluctuations and stability. Phase transitions and thermodynamic limit. Microscopic derivation of the Van der Waals equation. Critical point behavior of the Van der Waals equation. Curie-Weiss theory of ferromagnetism. Landau theory of second species

transitions. Ginzburg criterion for the validity of the middle field theory. The role of symmetry and dimensionality: the theorem of Mermin-Wagner. Renormalization team. Kadanoff-Wilson transformation. Calculation of fixed points for the Landau-Wilson model and development in epsilon.

Reference books

Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter by Carlo Di Castro and Roberto Raimondi Cambridge University Press
2015 ISBN: 9781107039407

Reference bibliography

-

Study modes

The course consists of lectures conducted using traditional blackboard teaching.

Exam modes

-

20401425 - MECCANICA STATISTICA

Docente: LUPI LAURA

Italiano

Prerequisiti

Sono richieste conoscenze di base di termodinamica, meccanica statistica e metodi matematici per la fisica.

Programma

Programma I modulo (6 CFU) Richiami di termodinamica. Potenziali termodinamici. Transizioni di fase ed equazione di Van der Waals. Fluttuazioni e stabilità. Transizioni di fase e limite termodinamico. Derivazione microscopica dell'equazione di Van der Waals. Comportamento al punto critico dell'equazione di Van der Waals. Teoria di Curie-Weiss del ferromagnetismo. Teoria di Landau delle transizioni di seconda specie. Criterio di Ginzburg per la validità della teoria di campo medio. Il ruolo della simmetria e della dimensionalità: il teorema di Mermin-Wagner. Gruppo di rinormalizzazione. Trasformazione di Kadanoff-Wilson. Calcolo dei punti fissi per il modello di Landau-Wilson e sviluppo in epsilon.

Testi

Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter by Carlo Di Castro and Roberto Raimondi Cambridge University Press
2015 ISBN: 9781107039407

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Il corso prevede lezioni frontali svolte alla lavagna.

Modalità di valutazione

L'esame finale consiste in un colloquio orale articolato su tre argomenti, relativi rispettivamente alla prima, alla seconda e alla terza parte del programma. Nel corso del colloquio potranno essere poste ulteriori domande di approfondimento. Il voto finale sarà determinato sulla base di una valutazione complessiva della preparazione dimostrata dallo studente nei tre argomenti e non corrisponderà necessariamente alla media aritmetica delle singole valutazioni.

English

Prerequisites

Basic knowledge of thermodynamics, statistical mechanics, and mathematical methods for physics is required.

Programme

1st module program (6 credits) Introduction to thermodynamics. Thermodynamic potentials. Phase transitions and Van der Waals equation. Fluctuations and stability. Phase transitions and thermodynamic limit. Microscopic derivation of the Van der Waals equation. Critical point behavior of the Van der Waals equation. Curie-Weiss theory of ferromagnetism. Landau theory of second species transitions. Ginzburg criterion for the validity of the middle field theory. The role of symmetry and dimensionality: the theorem of Mermin-Wagner. Renormalization team. Kadanoff-Wilson transformation. Calculation of fixed points for the Landau-Wilson model and development in epsilon.

Reference books

Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter by Carlo Di Castro and Roberto Raimondi Cambridge University Press
2015 ISBN: 9781107039407

Reference bibliography

-

Study modes

The course consists of lectures conducted using traditional blackboard teaching.

Exam modes

-

20402215 - METODI SPERIMENTALI DI STRUTTURA DELLA MATERIA

Docente: RUOCCO ALESSANDRO

Italiano

Prerequisiti

non è richiesto nessun prerequisito specifico

Programma

- Interazione radiazione materia. Assorbimento, Approssimazione di dipolo elettrico, Regole di selezione. Sezione d'urto, effetto fotoelettrico, fotoemissione. Modello di Lorentz, Diffusione elastica e anelastica della radiazione e.m. Fattore di diffusione, Diffusione Anomala. (BJ cap. 4, SM) - Assorbimento di raggi X, aspetti sperimentali, Assorbimento da atomi e molecole isolate. Simmetrie nelle molecole, Dipendenza angolare nell'elemento di matrice (St 3.6, 4.2, 9.1). - Assorbimento nel visibile e nell'UV, aspetti sperimentali, EXAFS (Lu Panel VII) - Introduzione e aspetti sperimentali della fotoemissione, le sorgenti di fotoni, la funzione lavoro del campione e dell'analizzatore (Hu 1.4, Fa IA, IB, IC) - Teoria della Fotoemissione, rilassamento, core level shift, splitting spin orbita, multipletti, shake-up, shake-off, fenomeni continui e collettivi nei solidi (Fa IIIA, IIIB, IIID, IV, VB, VC, VD, Hu 2.2, 2.3, 2.4, cenni cap. 4.1, 4.2). - La fotoemissione dai solidi, modelli one-step e three-step, la fotoemissione risolta in angolo e la determinazione delle bande (Hu 6.1, 6.2.1, 7.1, 7.2, 7.4.2, Lu cap 6 fino a 6.3.3 incluso) - La photoelectron-diffraction (Hu 11.1, 11.2, 11.3), il decadimento Auger (Lu panel III), la fotoemissione risonante - Diffusione di particelle da un potenziale rigido, Equazione integrale dello scattering, prima approssimazione di Born (BJ da 11.2, 11.3, 11.4, 11.5) - Collisione elastica elettrone-atomo (BJ 12.1 e 12.2), collisione elettrone-cristallo, LEED cinematico, LEED dinamico, lunghezza di coerenza (Lu 4.1, 4.2, 4.4, Panel VIII) - Eccitazione e ionizzazione per impatto elettronico, limite dipolare, EELS (BJ 12.3 e 12.4) - Teoria dielettrica della diffusione di un elettrone da un solido, plasmoni di bulk e di superficie (Lu 4.6, IL 11.4, 11.5, Ma 1.1, 1.2, 1.3) Testi consigliati: (BJ) B.H. Bransden, C.J. Joachain "Physics of Atoms and Molecules", Longman Scientific and Technical, John Wiley and sons (Fa) C. Fadley in Electron spectroscopy vol. 2, edited C.R. Brundle and A.D. Baker, Academic Press, London 1978 (Lu) H. Luth, "Surface and interface of solid materials", Springer-Verlag Berlin, 2010 (Hu) S. Hufner, "Photoelectron spectroscopy", Solid State Sciences Vol. 82, Springer, 1995 (SM) S. Mobilio, Interaction between radiation and matter: an introduction, in: "Synchrotron radiation: fundamentals, methodologies and applications", S. Mobilio and G. Vlaic Eds., SIF, Bologna (2003) (ST) J. Stohr, Nexafs Spectroscopy, Springer (Berlin, 1996) (IL) H. Ibach, H. Luth, Solid-State Physics, Springer, Berlin 2009 (Ma) S.A. Maier, Plasmonics: fundamentals and applications, Springer, Berlin 2007

Testi

(BJ) B.H. Bransden, C.J. Joachain "Physics of Atoms and Molecules", Longman Scientific and Technical, John Wiley and sons (Fa) C. Fadley in Electron spectroscopy vol. 2, edited C.R. Brundle and A.D. Baker, Academic Press, London 1978 (Lu) H. Luth, "Surface and interface of solid materials", Springer-Verlag Berlin, 2010 (Hu) S. Hufner, "Photoelectron spectroscopy", Solid State Sciences Vol. 82, Springer, 1995 (SM) S. Mobilio, Interaction between radiation and matter: an introduction, in: "Synchrotron radiation: fundamentals, methodologies and applications", S. Mobilio and G. Vlaic Eds., SIF, Bologna (2003) (ST) J. Stohr, Nexafs Spectroscopy, Springer (Berlin, 1996) (IL) H. Ibach, H. Luth, Solid-State Physics, Springer, Berlin 2009 (Ma) S.A. Maier, Plasmonics: fundamentals and applications, Springer, Berlin 2007

Bibliografia di riferimento

vedi testi adottati

Modalità erogazione

lezioni frontali in aula con ausilio di lavagna tradizionale e video proiezione

Modalità di valutazione

esame finale in forma orale

English

Prerequisites

no specific prerequisites are required

Programme

Basic concepts and potential scattering in atomic collision. Electron-atom collision. Scattering from surfaces. Energy loss spectroscopy. Dielectric theory. Resonant Channels, Fano profiles. Photoemission and photoabsorption spectroscopies. Phenomenology of photoemission and photoabsorption experiments. The Koopmans theorem, satellite peaks, Chemical shift. Photoemission from solids, the three step model. Angle resolved photoemission, photoelectron diffraction. Exafs and Nexafs.

Reference books

(BJ) B.H. Bransden, C.J. Joachain "Physics of Atoms and Molecules", Longman Scientific and Technical, John Wiley and sons (Fa) C. Fadley in Electron spectroscopy vol. 2, edited C.R. Brundle and A.D. Baker, Academic Press, London 1978 (Lu) H. Luth, "Surface and interface of solid materials", Springer-Verlag Berlin, 2010 (Hu) S. Hufner, "Photoelectron spectroscopy", Solid State Sciences Vol. 82, Springer, 1995 (SM) S. Mobilio, Interaction between radiation and matter: an introduction, in: "Synchrotron radiation: fundamentals, methodologies and applications", S. Mobilio and G. Vlaic Eds., SIF, Bologna (2003) (ST) J. Stohr, Nexafs Spectroscopy, Springer (Berlin, 1996) (IL) H. Ibach, H. Luth, Solid-State Physics, Springer, Berlin 2009 (Ma) S.A. Maier, Plasmonics: fundamentals and applications, Springer, Berlin 2007

Reference bibliography

see the textbook in previous section

Study modes

In-class lectures using a traditional blackboard and video projection.

Exam modes

20410897 - Metodi sperimentali in Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti

Docente: LAURO SEBASTIAN EMANUEL

Italiano

Prerequisiti

Basi di elettromagnetismo

Programma

Richiami sull'analisi dati di interesse geofisico in ambiente Python. Tecniche di misura di laboratorio, in campo e da satellite. Proprietà elettriche e magnetiche dei geomateriali. Misure elettriche e magnetiche nel dominio del tempo e della frequenza. Attività di laboratorio: utilizzo del ponte LCR e del Vector Network Analyzer per misure di permittività dielettrica e di permeabilità magnetica. Propagazione elettromagnetica nei geomateriali. Radar da satellite e sottosuperficiale: basi teoriche ed applicazioni in campo ambientale. Attività di laboratorio: Tecniche di analisi dati e stima dei parametri fisici; metodi di inversione.

Testi

Dispense del docente;

Bibliografia di riferimento

John F. Claerbout, Imaging the Earth's Interior, Blackwell A. R. Von Hippel, Dielectric and Waves, John Wiley & Sons. G. Franceschetti, Campi Elettromagnetici, Bollati Boringhieri Long and Ulaby, Microwave Radar and Radiometric Remote Sensing, Artech House A. Sihvola, Electromagnetic Mixing Formulas and Applications, IET

Modalità erogazione

Lezioni frontali con prevalente utilizzo di slides che vengono contestualmente distribuite agli studenti. Vengono descritti in dettaglio tre esperimenti di geofisica che gli studenti devono condurre in proprio. Per ogni esperimento è richiesto agli studenti di: organizzare l'esperimento, acquisire i dati, analizzare i dati attraverso l'utilizzo di software dedicati (Matlab), interpretare i risultati. Per ogni esperimento viene richiesta una relazione di laboratorio dettagliata che verrà valutata al fine della verifica finale.

Modalità di valutazione

L'esame finale si svolge in forma mista; ne è parte integrante la valutazione dell'attività di laboratorio, attraverso la verifica delle relazioni di laboratorio che vengono singolarmente valutate, e la prova orale finale nella quale viene chiesto alla studente di descrivere i fondamenti teorici delle misure effettuate nei diversi esperimenti e di discutere i risultati ottenuti.

English

Prerequisites

Basics of electromagnetism

Programme

Recall on the analysis of data of geophysical interest in the Python environment. Laboratory, field and satellite measurement techniques. Electrical and magnetic properties of geomaterials. Electrical and magnetic measurements in the time and frequency domain. Laboratory activities: use of the LCR bridge and the Vector Network Analyzer for dielectric permittivity and magnetic permeability measurements. Electromagnetic propagation in geomaterials. Satellite and subsurface radar: theoretical bases and applications in the environmental field. Laboratory activities: Data analysis techniques and estimation of physical parameters; inversion methods.

Reference books

Lecture notes;

Reference bibliography

John F. Claerbout, Imaging the Earth's Interior, Blackwell A. R. Von Hippel, Dielectric and Waves, John Wiley & Sons. G. Franceschetti, Campi Elettromagnetici, Bollati Boringhieri Long and Ulaby, Microwave Radar and Radiometric Remote Sensing, Artech House A. Sihvola, Electromagnetic Mixing Formulas and Applications, IET

Study modes

Frontal lessons with the use of slides that are contextually distributed to students. Three geophysics experiments are described in detail that students must conduct on their own. For each experiment, students are asked to: organize the experiment, acquire the data, analyze the data through the use of dedicated software (Matlab), interpret the results. For each experiment a detailed laboratory report is required which will be evaluated for the final verification.

Exam modes

20410897 - Metodi sperimentali in Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti

Docente: LAURO SEBASTIAN

Italiano

Prerequisiti

Basi di elettromagnetismo

Programma

Richiami sull'analisi dati di interesse geofisico in ambiente Python. Tecniche di misura di laboratorio, in campo e da satellite. Proprietà elettriche e magnetiche dei geomateriali. Misure elettriche e magnetiche nel dominio del tempo e della frequenza. Attività di laboratorio: utilizzo del ponte LCR e del Vector Network Analyzer per misure di permittività dielettrica e di permeabilità magnetica. Propagazione elettromagnetica nei geomateriali. Radar da satellite e sottosuperficiale: basi teoriche ed applicazioni in campo ambientale. Attività di laboratorio: Tecniche di analisi dati e stima dei parametri fisici; metodi di inversione.

Testi

Dispense del docente;

Bibliografia di riferimento

John F. Claerbout, Imaging the Earth's Interior, Blackwell A. R. Von Hippel, Dielectric and Waves, John Wiley & Sons. G. Franceschetti, Campi Elettromagnetici, Bollati Boringhieri Long and Ulaby, Microwave Radar and Radiometric Remote Sensing, Artech House A. Sihvola, Electromagnetic Mixing Formulas and Applications, IET

Modalità erogazione

Lezioni frontali con prevalente utilizzo di slides che vengono contestualmente distribuite agli studenti. Vengono descritti in dettaglio tre esperimenti di geofisica che gli studenti devono condurre in proprio. Per ogni esperimento è richiesto agli studenti di: organizzare l'esperimento, acquisire i dati, analizzare i dati attraverso l'utilizzo di software dedicati (Matlab), interpretare i risultati. Per ogni esperimento viene richiesta una relazione di laboratorio dettagliata che verrà valutata al fine della verifica finale.

Modalità di valutazione

L'esame finale si svolge in forma mista; ne è parte integrante la valutazione dell'attività di laboratorio, attraverso la verifica delle relazioni di laboratorio che vengono singolarmente valutate, e la prova orale finale nella quale viene chiesto allo studente di descrivere i fondamenti teorici delle misure effettuate nei diversi esperimenti e di discutere i risultati ottenuti.

English

Prerequisites

Basics of electromagnetism

Programme

Recall on the analysis of data of geophysical interest in the Python environment. Laboratory, field and satellite measurement techniques. Electrical and magnetic properties of geomaterials. Electrical and magnetic measurements in the time and frequency domain. Laboratory activities: use of the LCR bridge and the Vector Network Analyzer for dielectric permittivity and magnetic permeability measurements. Electromagnetic propagation in geomaterials. Satellite and subsurface radar: theoretical bases and applications in the environmental field. Laboratory activities: Data analysis techniques and estimation of physical parameters; inversion methods.

Reference books

Lecture notes;

Reference bibliography

John F. Claerbout, Imaging the Earth's Interior, Blackwell A. R. Von Hippel, Dielectric and Waves, John Wiley & Sons. G. Franceschetti, Campi Elettromagnetici, Bollati Boringhieri Long and Ulaby, Microwave Radar and Radiometric Remote Sensing, Artech House A. Sihvola, Electromagnetic Mixing Formulas and Applications, IET

Study modes

Frontal lessons with the use of slides that are contextually distributed to students. Three geophysics experiments are described in detail that students must conduct on their own. For each experiment, students are asked to: organize the experiment, acquire the data, analyze the data through the use of dedicated software (Matlab), interpret the results. For each experiment a detailed laboratory report is required which will be evaluated for the final verification.

Exam modes

-

20410438 - MF410 - FINANZA COMPUTAZIONALE

Docente: CESARONE FRANCESCO

Italiano

Prerequisiti

Elementi di base di Matematica Generale e di Matematica Finanziaria.

Programma

MODULO 1 1 Una breve introduzione a MATLAB 1.1 Fondamenti di MATLAB: Elementi preliminari; Assegnamento di variabili; Workspace; Operazioni aritmetiche; Vettori e matrici; Operazioni standard di algebra lineare; Moltiplicazione e divisione elemento per elemento; Operatore due punti (:); Funzioni predefinite; Function inline; Anonymous Function. 1.2 M-file: Script e Function 1.3 Fondamenti di programmazione: schemi if, else, e elseif; cicli for; cicli while 1.4 Grafica in Matlab 1.5 Esercizi preliminari sulla programmazione 1.6 Esercizi sulle basi di valutazione finanziaria MODULO 2 2 Elementi preliminari di Teoria delle Probabilità e Statistica 2.1 Variabili aleatorie 2.2 Distribuzioni di probabilità 2.3 Variabile aleatoria continua 2.4 Momenti di ordine superiore e indici sintetici di una distribuzione 2.5 Alcune distribuzioni di probabilità: Uniforme, Normale, Log-normale, Chi-quadro, t di Student 3 Programmazione Lineare e Non-lineare 3.1 Alcune function incorporate in Matlab per problemi di ottimizzazione 3.2 Ottimizzazione Multi-obiettivo: Determinazione della frontiera efficiente 4 Ottimizzazione di Portafoglio 4.1 Portafoglio di azioni: Prezzi e rendimenti 4.2

Analisi rischio-rendimento: Media-Varianza; Effetti della diversificazione su un portafoglio equi-pesato; portafogli Media -MAD; Media -MinMax; VaR; Media -CVaR; Media -Gini 4.3 Immunizzazione di portafogli obbligazionari MODULO 3 5 Ulteriori elementi di Teoria delle Probabilità e Statistica 5.1 Introduzione alla simulazione Monte Carlo 5.2 Processi stocastici: Moto browniano; Lemma di Ito; Moto browniano geometrico 6 Prezzo di derivati con sottostante azionario 6.1 Modello binomiale (CRR): Replicazione di portafogli di azioni e obbligazioni; Calibrazione del modello; Caso multi-periodale 6.2 Modello Black-Scholes: Assunzioni del modello; Prezzo di una call europea; Equazione del prezzo di una call; Volatilità implicita 6.3 Pricing di opzioni con il metodo Monte Carlo: Soluzione in forma integrale; Derivati Path Dependent

Testi

F Cesarone (2020), Computational Finance. MATLAB oriented modeling, Routledge-Giappichelli Studies in Business and Management, ISBN 978-0-367-49303-5 <https://www.giappichelli.it/computational-finance>

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Le lezioni si terranno al Centro di Calcolo secondo il seguente calendario: Martedì 12:30-14:30 Mercoledì 15:00-17:00 Giovedì 10:30-12:30 Gli strumenti utilizzati saranno i seguenti: - slide; - lezione in presenza e in streaming con interazione diretta con gli studenti tramite voce e chat; - lavagna digitale; - programmazione live su Matlab (<https://www.uniroma3.it/servizi/software-in-convenzione/mathworks-campus/>); - libro di testo del docente: <http://host.uniroma3.it/docenti/cesarone/Books.htm>

Modalità di valutazione

L'esame si articola in una prova scritta ed una orale. La prova scritta consiste nella risoluzione su Matlab di tre esercizi, uno per ciascun modulo. La prova orale tratta tutti gli argomenti del programma e può comprendere sia domande di teoria sia esercizi. Alla prova orale sono ammessi gli studenti che abbiano riportato un punteggio non inferiore a 16/30 nella prova scritta. Gli studenti che abbiano riportato un punteggio non inferiore a 18/30 possono non sostenere la prova orale ed ottenere un voto all'esame corrispondente al voto della prova scritta con un limite superiore di 24/30 (in caso di voto alla prova scritta maggiore o uguale a 24/30); per ambire ad un voto superiore la prova orale è obbligatoria.

English

Prerequisites

Programme

MODULE 1 1 A rapid introduction to MATLAB 1.1 MATLAB basics: Preliminary elements; Variable assignment; Workspace; Arithmetic operations; Vectors and matrices; Standard operations of linear algebra; Element-by-element multiplication and division; Colon (:) operator; Predefined function; inline Function; Anonymous Function. 1.2 M-file: Script and Function 1.3 Programming fundamentals: if, else, and elseif scheme; for loops; while loops 1.4 Matlab graphics 1.5 Preliminary exercises on programming 1.6 Exercises on the financial evaluation basics MODULE 2 2 Preliminary elements on Probability Theory and Statistics 2.1 Random variables 2.2 Probability distributions 2.3 Continuous random variable 2.4 Higher-order moments and synthetic indices of a distribution 2.5 Some probability distributions: Uniform, Normal, Log-normal, Chi-square, Student-t 3 Linear and Non-linear Programming 3.1 Some Matlab built-in functions for optimization problems 3.2 Multi-objective optimization: Determining the efficient frontier 4 Portfolio Optimization 4.1 Portfolio of equities: Prices and returns 4.2 Risk-return analysis: Mean-Variance; Effects of the diversification in an Equally Weighted portfolio; Mean-MAD; Mean-MinMax; VaR; Mean-CVaR; Mean-Gini portfolios 4.3 Bond portfolio immunization MODULE 3 5 Further elements on Probability Theory and Statistics 5.1 Introduction to the Monte Carlo simulation 5.2 Stochastic processes: Brownian motion; Ito's Lemma; Geometrical Brownian motion 6 Pricing of derivatives with an underlying security 6.1 Binomial model (CRR): A replicating portfolio of stocks and bonds; Calibration of the model; Multi-period case 6.2 Black-Scholes model: Assumptions of the model; Pricing of a European call; Pricing equation for a call; Implied Volatility 6.3 Option Pricing with Monte Carlo Method: Solution in integral form; Path Dependent Derivatives

Reference books

F Cesarone (2020), Computational Finance. MATLAB oriented modeling, Routledge-Giappichelli Studies in Business and Management, ISBN 978-0-367-49303-5 <https://www.giappichelli.it/computational-finance>

Reference bibliography

-

Study modes

The lessons will be held according to the following schedule: Tuesday 10:30-12:30 Wednesday 10:30-12:30 Thursday 15:00-17:00 We will use the following tools: - slides; - in-person and streaming lesson with direct interaction via voice and chat; - digital blackboard; - live programming on Matlab (<https://www.uniroma3.it/servizi/software-in-convenzione/mathworks-campus/>); - Professor's textbook: <http://host.uniroma3.it/docenti/cesarone/Books.htm>.

Exam modes

-

20402155 - MISURE ASTROFISICHE

Docente: DE ROSA Alessandra

Italiano

Prerequisiti

conoscenze di astrofisica extragalattica

Programma

Parte I: Problematica Astrofisica: Nuclei Galattici Attivi - Definizione e classificazione: Paradigma del BH, accrescimento, AGN Radio Loud/Radio quiet, Modello Unificato - Astrofisica degli AGN: Proprietà degli AGN-RQ in banda X, modelli di emissione: Comptonizzazione, proprietà di assorbimento e outflows - Astrofisica degli AGN: componenti di riflessione nello spettro in banda X, osservazione di effetti relativistici nello spettro in banda X Parte II: Introduzione ai rivelatori e telescopi in banda X - Rivelatori in banda X: principi base e tecniche di rivelazione - Rivelatori a stato solido, Charged Coupled Devices (CCD) - Sistemi ottici collimati e focalizzati - Caratteristiche dei telescopi X: efficienza, sensibilità, risoluzione di energia, risoluzione angolare, area efficace - I telescopi spaziali ESA/XMM-Newton, NASA/Chandra e NASA/NuStar Parte III: Analisi Dati - Strumenti di indagine: studio della distribuzione di energia (spettro di emissione), studio del comportamento temporale (curva di luce) - Errori statistici ed errori sistematici - Background - Rapporto segnale rumore S/N - Osservazione e massimizzazione del S/N Parte IV: Tutorial di analisi dati - XMM-epic - NuStar - Ricerca dei dati in archivio - Analisi dell'Image: utilizzo del software DS9 - Analisi dello spettro: utilizzo del software xspec - Analisi Temporale: utilizzo del software xronos - Esercitazioni al computer sull'analisi dati in banda X di sorgenti astrofisiche, modelli di emissione, fit spettrale, test statistico, intervallo di confidenza dei parametri Parte V : analisi dati in banda ottica e nel vicino infrarosso Telescopi. Campo di vista. Scala. Risoluzione spaziale e spettrale. Intervallo spettrale. Funzionamento dei CCD. Efficienza quantica, bias, flat field. Estrazione spettrale semplice ed ottimizzata. Calibrazione in lunghezza d'onda e flusso. Rapporto segnale/rumore e tempi di osservazione. Misura dell'efficienza quantica totale del sistema osservativo. Misura del redshift e della massa dei BH negli AGN. Definizione dei blocchi osservativi. Uso di pacchetti software di analisi dati.

Testi

Diapositive del corso e dispense del docente

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Larga parte del corso verrà svolta nel laboratorio di astrofisica servendosi di postazioni dedicate all'analisi dei dati astrofisici ottenuti da terra e dallo spazio.

Modalità di valutazione

Prova orale consistente nella presentazione di un progetto di ricerca astrofisica condotto attraverso l'analisi di dati osservativi nei raggi X, seguita da una discussione critica e da domande sugli aspetti scientifici, metodologici e interpretativi. Idoneità del modulo di analisi ottico/infrarosso attraverso lo svolgimento autonomo di un'analisi di dati da telescopi della classe 4-8 metri.

English

Prerequisites

Knowledge of extragalactic astrophysics

Programme

Section I: Active Galactic Nuclei (AGN) - Definition and classification: BH paradigm, accretion, AGN Radio Loud / Radio quiet, Unified Model - AGN Astrophysics: X-ray Properties of AGN-RQ, Emission Models: Comptonization, Absorption & Outflow Properties - AGN astrophysics: X-ray reflection, relativistic effects observed in X-ray band Section II: Introduction to X-ray detectors and telescopes - X-ray detectors - Solid State Detectors, Charged Coupled Devices (CCD) - collimated and focused optical systems - X-ray Telescopes: efficiency, sensitivity, energy resolution, angular resolution, effective area - Space Telescopes: ESA / XMM-Newton, NASA / Chandra and NASA / NuStar Section III Data analysis - Analysis tools: study of the spectral energy distribution (emission spectrum), study of temporal behavior (light curve) - Statistical/systematics errors - background - S/N: signal to noise ratio - Observation Planning and Maximization of the Signal-to-Noise Ratio. Section IV: XMM-epic and NuStar data analysis tutorial - Searching on data archives - Imaging Analysis techniques: DS9 - Spectral analysis techniques: xspec - Temporal analysis techniques: xronos - Computer laboratory sessions on the analysis of X-ray data from astrophysical sources: emission models, spectral fitting, statistical tests, parameter estimation, and determination of confidence intervals. Section V: Optical and near IR band data analysis Telescopes and instrumentation: field of view, plate scale, spatial and spectral resolution, and wavelength coverage. CCD detectors and observational techniques: detector characteristics, quantum efficiency, bias and flat-field corrections, spectral extraction (standard and optimal methods), wavelength and flux calibration, signal-to-noise ratio estimation, exposure time calculations, and measurement of the overall throughput of the observational system. AGN spectroscopy and data analysis: redshift determination, supermassive black hole mass estimation, preparation and optimization of observing blocks, and the use of astronomical data reduction and analysis software packages.

Reference books

Course slides and lecture notes provided by the lecturer.

Reference bibliography

-

Study modes

A significant fraction of the course will take place in the Astrophysics Laboratory, where students will use dedicated computing facilities for the analysis of astrophysical data obtained from ground- and space-based instruments.

Exam modes

-

20402155 - MISURE ASTROFISICHE

Docente: LA FRANCA FABIO

Italiano

Prerequisiti

Programma

Testi da definire

Testi

Testi da definire

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Testi da definire

Modalità di valutazione

Testi da definire

English

Prerequisites

Programme

-

Reference books

-

Reference bibliography

-

Study modes

-

Exam modes

-

20410018 - PRINCIPI DI ASTROFISICA-MODULO A

Docente: LA FRANCA FABIO

Italiano

Prerequisiti

insegnamento offerto dal CdL triennale in Fisica; si invita a consultare il relativo Regolamento Didattico L-30 Fisica

Programma

insegnamento offerto dal CdL triennale in Fisica; si invita a consultare il relativo Regolamento Didattico L-30 Fisica

Testi

insegnamento offerto dal CdL triennale in Fisica; si invita a consultare il relativo Regolamento Didattico L-30 Fisica

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Testi da definire

Modalità di valutazione

insegnamento offerto dal CdL triennale in Fisica; si invita a consultare il relativo Regolamento Didattico L-30 Fisica

English

Prerequisites

teaching offered by the Bachelor's degree in Physics; please refer to the related Teaching Regulations L-30 Physics

Programme

-

Reference books

teaching offered by the Bachelor's degree in Physics; please refer to the related Teaching Regulations L-30 Physics

Reference bibliography

-

Study modes

-

Exam modes

-

20410584 - RETI COMPLESSE

Docente: GUARINO STEFANO

Italiano

Prerequisiti

insegnamento offerto dal corso di laurea magistrale in Scienze Computazionali; tutte le informazioni sono visionabili sul relativo Regolamento Didattico

Programma

insegnamento offerto dal corso di laurea magistrale in Scienze Computazionali; tutte le informazioni sono visionabili sul relativo Regolamento Didattico

Testi

insegnamento offerto dal corso di laurea magistrale in Scienze Computazionali; tutte le informazioni sono visionabili sul relativo Regolamento Didattico

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Testi da definire

Modalità di valutazione

insegnamento offerto dal corso di laurea magistrale in Scienze Computazionali; tutte le informazioni sono visionabili sul relativo Regolamento Didattico

English

Prerequisites

Teaching offered by the Master's degree course in Computational Sciences; all information is available in the relevant Educational Regulations.

Programme

Teaching offered by the Master's degree course in Computational Sciences; all information is available in the relevant Educational Regulations.

Reference books

Teaching offered by the Master's degree course in Computational Sciences; all information is available in the relevant Educational Regulations.

Reference bibliography

-

Study modes

-

Exam modes

-

20430046 - SPETTROSCOPIA

Docente: RUOCCO ALESSANDRO

Italiano

Prerequisiti

non è richiesto nessun prerequisito specifico

Programma

- Interazione radiazione materia. Assorbimento, Approssimazione di dipolo elettrico, Regole di selezione. Sezione d'urto, effetto fotoelettrico, fotoemissione. Modello di Lorentz, Diffusione elastica e anelastica della radiazione e.m. Fattore di diffusione, Diffusione Anomala. (BJ cap. 4, SM) - Assorbimento di raggi X, aspetti sperimentali, Assorbimento da atomi e molecole isolate. Simmetrie nelle molecole, Dipendenza angolare nell'elemento di matrice (St 3.6, 4.2, 9.1). - Assorbimento nel visibile e nell'UV, aspetti sperimentali, EXAFS (Lu Panel VII) - Introduzione e aspetti sperimentali della fotoemissione, le sorgenti di fotoni, la funzione lavoro del campione e dell'analizzatore (Hu 1.4, Fa IA, IB, IC) - Teoria della Fotoemissione, rilassamento, core level shift, splitting spin.orbita, multipletti,

shake-up, shake-off, fenomeni continui e collettivi nei solidi (Fa IIIA, IIIB, IIID, IV, VB, VC, VD, Hu 2.2, 2.3, 2.4, cenni cap. 4.1, 4.2). - La fotoemissione dai solidi, modelli one-step e three-step, la fotoemissione risolta in angolo e la determinazione delle bande (Hu 6.1, 6.2.1, 7.1, 7.2, 7.4.2, Lu cap 6 fino a 6.3.3 incluso) - La photoelectron-diffraction (Hu 11.1, 11.2, 11.3), il decadimento Auger (Lu panel III), la fotoemissione risonante - Diffusione di particelle da un potenziale rigido, Equazione integrale dello scattering, prima approssimazione di Born (BJ da 11.2, 11.3, 11.4, 11.5) - Collisione elastica elettrone-atomo (BJ 12.1 e 12.2), collisione elettrone-cristallo, LEED cinematico, LEED dinamico, lunghezza di coerenza (Lu 4.1, 4.2, 4.4, Panel VIII) - Eccitazione e ionizzazione per impatto elettronico, limite dipolare, EELS (BJ 12.3 e 12.4) - Teoria dielettrica della diffusione di un elettrone da un solido, plasmoni di bulk e di superficie (Lu 4.6, IL 11.4, 11.5, Ma 1.1, 1.2, 1.3) Testi consigliati: (BJ) B.H. Bransden, C.J. Joachain "Physics of Atoms and Molecules", Longman Scientific and Technical, John Wiley and sons (Fa) C. Fadley in Electron spectroscopy vol. 2, edited C.R. Brundle and A.D. Baker, Academic Press, London 1978 (Lu) H. Luth, "Surface and interface of solid materials", Springer-Verlag Berlin, 2010 (Hu) S. Hufner, "Photoelectron spectroscopy", Solid State Sciences Vol. 82, Springer, 1995 (SM) S. Mobilio, Interaction between radiation and matter: an introduction, in: "Synchrotron radiation: fundamentals, methodologies and applications", S. Mobilio and G. Vlaic Eds., SIF, Bologna (2003) (ST) J. Stohr, Nexafs Spectroscopy, Springer (Berlin, 1996) (IL) H. Ibach, H. Luth, Solid-State Physics, Springer, Berlin 2009 (Ma) S.A. Maier, Plasmonics: fundamentals and applications, Springer, Berlin 2007

Testi

(BJ) B.H. Bransden, C.J. Joachain "Physics of Atoms and Molecules", Longman Scientific and Technical, John Wiley and sons (Fa) C. Fadley in Electron spectroscopy vol. 2, edited C.R. Brundle and A.D. Baker, Academic Press, London 1978 (Lu) H. Luth, "Surface and interface of solid materials", Springer-Verlag Berlin, 2010 (Hu) S. Hufner, "Photoelectron spectroscopy", Solid State Sciences Vol. 82, Springer, 1995 (SM) S. Mobilio, Interaction between radiation and matter: an introduction, in: "Synchrotron radiation: fundamentals, methodologies and applications", S. Mobilio and G. Vlaic Eds., SIF, Bologna (2003) (ST) J. Stohr, Nexafs Spectroscopy, Springer (Berlin, 1996) (IL) H. Ibach, H. Luth, Solid-State Physics, Springer, Berlin 2009 (Ma) S.A. Maier, Plasmonics: fundamentals and applications, Springer, Berlin 2007

Bibliografia di riferimento

vedi testi adottati

Modalità erogazione

lezioni frontali in aula con ausilio di lavagna tradizionale e video proiezione

Modalità di valutazione

esame finale in forma orale

English

Prerequisites

no specific prerequisites are required

Programme

Basic concepts and potential scattering in atomic collision. Electron-atom collision. Scattering from surfaces. Energy loss spectroscopy. Dielectric theory. Resonant Channels, Fano profiles. Photoemission and photoabsorption spectroscopies. Phenomenology of photoemission and photoabsorption experiments. The Koopmans theorem, satellite peaks, Chemical shift. Photemission from solids, the three step model. Angle resolved photoemission, photoelectron diffraction. Exafs and Nexafs.

Reference books

(BJ) B.H. Bransden, C.J. Joachain "Physics of Atoms and Molecules", Longman Scientific and Technical, John Wiley and sons (Fa) C. Fadley in Electron spectroscopy vol. 2, edited C.R. Brundle and A.D. Baker, Academic Press, London 1978 (Lu) H. Luth, "Surface and interface of solid materials", Springer-Verlag Berlin, 2010 (Hu) S. Hufner, "Photoelectron spectroscopy", Solid State Sciences Vol. 82, Springer, 1995 (SM) S. Mobilio, Interaction between radiation and matter: an introduction, in: "Synchrotron radiation: fundamentals, methodologies and applications", S. Mobilio and G. Vlaic Eds., SIF, Bologna (2003) (ST) J. Stohr, Nexafs Spectroscopy, Springer (Berlin, 1996) (IL) H. Ibach, H. Luth, Solid-State Physics, Springer, Berlin 2009 (Ma) S.A. Maier, Plasmonics: fundamentals and applications, Springer, Berlin 2007

Reference bibliography

see the textbook in previous section

Study modes

In-class lectures using a traditional blackboard and video projection.

Exam modes

-

20401000 - STRUMENTAZIONE FISICA PER LA MEDICINA E LA BIOLOGIA

Docente: FABBRI ANDREA

Italiano

Prerequisiti

interazione radiazione-materia

Programma

Medicina nucleare: SPECT e PET Radiologia: Raggi X e TAC Risonanza magnetica nucleare Ecografia Dosimetria, radioterapia e adroterapia Tomografia a coerenza ottica (OCT)

Testi

dispense fornite dal docente caricate su Teams

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Lezioni svolte alla lavagna seguendo la traccia delle dispense fornite dal docente

Modalità di valutazione

colloquio orale sugli argomenti del programma

English

Prerequisites

Radiation–matter interaction

Programme

Nuclear medicine: SPECT and PET Radiology: X-rays and CT Magnetic Resonance Imaging (MRI) Ultrasound imaging Dosimetry, radiotherapy, and hadron therapy Optical Coherence Tomography (OCT)

Reference books

dispense del docente caricate su Teams

Reference bibliography

-

Study modes

Lectures delivered at the blackboard, following the outline of the lecture notes provided by the instructor.

Exam modes

-

20430009 - Teoria dei Campi e Gravità

Docente: FRANCIA DARIO

Italiano

Prerequisiti

Relatività Speciale. Elettromagnetismo. Il principio di equivalenza. Tensori sotto trasformazioni generali di coordinate. Trasporto parallelo e simboli di Christoffel. Derivate covarianti e compatibilità metrica. Geodetiche. Tensore di curvatura di Riemann. Azione di Einstein-Hilbert ed equazioni del moto. Accoppiamento minimale a campi scalari ed elettromagnetici. isometrie ed equazione di Killing.

Programma

Gli argomenti contrassegnati con "*" sono assegnati come problemi da svolgere autonomamente, come alternativa all'esame orale. § La gravità come teoria di campo di spin due auto-interagente Isometrie dello spazio-tempo piatto. Trasformazioni di Lorentz e gruppo di Poincaré. Teoremi di decomposizione e boost standard. Contrazioni: limiti galileiano e di Carroll. Simmetrie: globali e locali. Elementi di algebre di Lie. Teorema di Noether e leggi di conservazione. Tensori canonici di energia-impulso e momento angolare. Correnti non canoniche: improvements e loro rilevanza per gli accoppiamenti. Argomento di Belinfante: Tensore energia-impulso simmetrico e tensore del momenti. Invarianza di scala e tensore di energia-impulso a traccia nulla. Particelle e campi in Relatività Speciale. Rappresentazioni irriducibili del gruppo di Poincaré: metodo delle rappresentazioni indotte di Wigner. Particelle prive di massa: gruppo piccolo ISO(D#2) e invarianza di gauge*. Ricostruzione della Relatività Generale: unicità della lagrangiana quadratica. Metodo di Noether e completamenti non lineari. Costruzione di Noether della lagrangiana di Yang-Mills*. Vertice cubico gravitazionale trasverso e senza traccia. Principio di equivalenza di Weinberg. Spin e segno delle forze statiche*. § Isometrie e spazi massimamente simmetrici Derivata di Lie e isometrie. Parentesi di Lie. Vettori di Killing conformi. Tensori di Killing. Condizione di integrabilità per i vettori di Killing. Numero massimo di isometrie. Spazi omogenei e isotropi. Teorema di struttura degli spazi massimamente simmetrici. Spazi massimamente simmetrici come soluzioni di vuoto delle equazioni di Einstein-Hilbert con costante cosmologica. Costruzione mediante immersione in spazi pseudo-lorentziani di dimensione (D+1): metrica e simboli di Christoffel. Spazi conformemente piatti. Lo spazio anti-de Sitter nella patch di Poincaré. Tensore di Weyl. Tensori di Riemann e di Weyl in varie dimensioni: conteggio delle componenti delle rappresentazioni irriducibili di GL(D) e O(D). Trasformazioni conformi del tensore metrico. Campi scalari con accoppiamento conforme alla metrica*. § Elementi di geometria differenziale Spazi topologici. Varietà differenziabili. Diffeomorfismi. Spazi tangenti e vettori. Basi coordinate. Operatori di derivazione sulle varietà. Forme differenziali: definizione, prodotto wedge, derivata interna ed esterna, formula di Cartan per la derivata di Lie, duale di Hodge. Integrazione. Teorie di Maxwell e di Yang-Mills nel linguaggio delle forme differenziali. Teorema di Stokes. § Buchi neri Spazi sfericamente simmetrici. Soluzione di Schwarzschild. Teorema di Birkhoff (dimostrazione parziale). Singolarità: definizioni e criteri; singolarità di curvatura e incompletezza geodetica. Coordinate della tartaruga. Estensione di uno spazio-tempo. Coordinate di Eddington-Finkelstein. Orizzonti degli eventi, buchi neri e buchi bianchi. Coordinate di Kruskal-Szekeres. Estensione massimale della soluzione di Schwarzschild. Diagramma di Kruskal e buchi neri eterni. Soluzione di Reissner-Nordström. Spazio-tempo di Schwarzschild-(A)dS*. Orizzonti di Killing. Soluzione di Kerr. § Diagrammi conformi Compattificazioni conformi e struttura causale. Diagrammi di Penrose degli spazi di Minkowski, Schwarzschild, Reissner-Nordström e Kerr. Collasso di gusci sferici di radiazione e materia. Spazi (anti-)de Sitter*. § Energia gravitazionale Quantità conservate nelle teorie di gauge: l'esempio della teoria di Yang-Mills. Conservazione covariante e conservazione ordinaria. Metriche asintoticamente piatte. Pseudotensore energia-impulso gravitazionale. Superpotenziale. Energia e quantità di moto ADM. Energia ADM della soluzione di Schwarzschild. Teorema dell'energia positiva (senza dimostrazione). Vettori di Killing e integrali di Komar. Radiazione di quadrupolo*. § Formulazione di Cartan-Weyl e accoppiamenti fermionici Sistemi di riferimento localmente inerziali. Campo di tetradi (frame field) e sua relazione con il tensore metrico. Basi non coordinate. Trasformazioni locali di Lorentz. Connessione di spin. Postulato del vielbein. Vincolo di torsione e formulazione del secondo ordine. Tensore di contorsione. Curvatura della connessione di Lorentz locale. Materia

fermionica minimamente accoppiata. Lagrangiana di Dirac su varietà curve. La gravità come teoria di Yang-Mills dell'algebra di Poincaré. Trasformazioni locali di Poincaré. Torsione e curvatura associate all'algebra di Poincaré. Problemi delle azioni quadratiche. Formulazione del primo ordine e azione di Weyl.

Testi

Nessun testo suggerito

Bibliografia di riferimento

Nessun testo suggerito

Modalità erogazione

Lezioni frontali alla lavagna.

Modalità di valutazione

La valutazione dell'apprendimento è effettuata mediante esame orale. In alternativa, lo studente può scegliere di svolgere i problemi assegnati durante il corso e consegnarne le soluzioni raccolte in un unico elaborato. In questo caso, la valutazione si basa sia sulla qualità dell'elaborato sia su una discussione orale dello stesso, finalizzata a verificare la padronanza degli argomenti trattati e la capacità di collegare i diversi aspetti della teoria.

English

Prerequisites

Special relativity. Electromagnetism. The equivalence principle. Tensors under general coordinate transformations. Parallel transport and Christoffel symbols. Covariant derivatives and metric compatibility. Geodesics. The Riemann curvature tensor. The Einstein-Hilbert action and Einstein's field equations. Minimal coupling to scalar and electromagnetic fields. Isometries and Killing's equation.

Programme

The items marked with a "*" are assigned as homework problems. § Gravity as a self-interacting spin-two field theory. Isometries of flat spacetime. Lorentz transformations and the Poincaré Group. Decomposition theorems and standard boost. Contractions: Galilei and Carroll limits. Symmetries: global vs local. Basics of Lie algebras. Noether's theorem and conservation laws. The canonical stress-energy and angular momentum tensors. Non-canonical currents: improvements and their relevance for couplings. Belinfante's symmetric energy-momentum tensor and angular momentum tensor. Scale invariance and traceless stress-energy tensor. Particles and fields in Special Relativity. Irreps of the Poincaré group: Wigner's induced representation method. Massless particles: ISO(D-2) little group and gauge invariance*. From relativistic massless spin-2 particles to full GR. Uniqueness of the quadratic Lagrangian. Noether method and non-linear completions. Noether's construction of Yang-Mills Lagrangian*. The transverse-traceless gravitational cubic vertex. Weinberg's Equivalence Principle from relativistic invariance of the S-matrix. Spin and sign of static forces*. § Isometries and maximally symmetric spaces Lie derivative and isometries. Lie bracket. Conformal Killing vectors. Killing tensors. Integrability condition for Killing vectors. Maximal number of isometries. Homogeneous and isotropic spaces. Structure theorem for maximally symmetric spaces: identification of the curvature via the metric signature and a curvature constant. MSS as vacuum solutions to the EH equations with cosmological constant. Construction from embedding in (D+1) pseudo-Lorentzian spaces: metric and Christoffel coefficients. Conformally flat spaces. AdS in the Poincaré patch. Weyl tensor. Riemann and Weyl in various dimensions: counting components for irreps of GL(D) and O(D). Conformal transformations of the metric tensor. Conformally coupled scalar fields*. § Elements of differential geometry Topological spaces. Manifolds. Diffeomorphisms. Tangent spaces and vectors. Coordinate basis. Derivative operators on manifolds. Differential forms: definition, wedge product, interior and exterior derivatives, Cartan's formula for the Lie derivative, Hodge dual. Integration. Maxwell and Yang-Mills theories in the language of forms. Stokes's theorem. § Black holes Spherically symmetric spaces. The Schwarzschild solution. Birkhoff's theorem (partial proof). Singularities, definitions and criteria: curvature singularities and geodesic incompleteness. The tortoise coordinate. Extension of a space-time. Coordinates of Eddington-Finkelstein. Event horizons, black holes and white holes. Kruskal-Szekeres coordinates. Maximal extension of the Schwarzschild solution. Kruskal's diagram and eternal black holes. The Reissner-Nordström solution. (A)dS-Schwarzschild space-time*. Killing horizons. The Kerr solution. § Conformal diagrams Conformal compactifications and causal structure. Penrose diagrams of Minkowski, Schwarzschild, Reissner-Nordström, Kerr. Spherically collapsing radiation and matter shells. (Anti-)de Sitter spaces*. § Gravitational energy Conserved quantities in gauge theories: the example of Yang-Mills theory. Covariant conservation and ordinary conservation. Asymptotically flat metrics. Gravitational energy-momentum pseudo-tensor. The superpotential. ADM energy and momentum. ADM energy of the Schwarzschild solution. The positive-energy theorem (without proof). Killing vectors and Komar integrals. Quadrupole radiation*. § The Cartan-Weyl formulation and Fermionic couplings Local inertial frames. The frame field and its relation to the metric field. Non-coordinate bases. Local Lorentz transformations. The spin connection. The vielbein postulate. Torsion constraint and second-order formulation. The contorsion tensor. Local Lorentz curvature. Minimally coupled Fermionic matter. Dirac Lagrangian on curved manifolds. Gravity as a Yang-Mills theory of the Poincaré algebra. Local Poincaré transformations. Torsion and curvature over the Poincaré algebra. Problems with quadratic actions. First-order formulation and Weyl's action.

Reference books

- Wald R, General Relativity (The University of Chicago Press, 1984). - Carroll S Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity (Addison-Wesley 2014/Cambridge University Press, 2019)

Reference bibliography

- Weinberg S, Gravitation and Cosmology - principles and applications of the general theory of relativity, (John Wiley & Sons, 1972). - Weinberg S, The Quantum Theory of Fields I, (Cambridge University Press, 1995). - Freedman D Z and Van Proyen A, Supergravity (Cambridge University Press, 2012). - Hawking S W and Ellis G F R, The Large Scale Structure of Space-Time (Cambridge University Press, 1973). - Feynman R P, Morinigo F B, Wagner W G Feynman Lectures on Gravitation (Westview Press 2003) - Dirac P A M General Theory of Relativity (Princeton University Press, 1996)

Study modes

Blackboard lectures.

Exam modes

-

20410717 - Teorie Quantistiche della Materia

Docente: RAIMONDI ROBERTO

Italiano

Prerequisiti

Meccanica Quantistica e Meccanica Statistica

Programma

-Teorema di fluttuazione-dissipazione e teoria della risposta lineare. -Funzioni di Green a temperatura nulla. Decomposizione di Lehmann. Proprietà analitiche. -Sviluppo perturbativo e diagrammi di Feynman. Equazione di Dyson. -Funzioni di Green a temperatura finita: tecnica di Matsubara. -Teoria di Hartree-Fock e approssimazione RPA. Schermo di Thomas-Fermi. Funzione di Lindhard. -Teoria del liquido di Fermi. -Fenomenologia della superfluidità. Teoria di Landau. -Teoria microscopica della superfluidità. Teoria di Bogolubov. -Fenomenologia della superconduttività. -Teoria BCS microscopica della superconduttività. -Derivazione di Gorkov delle equazioni di Landau-Ginzburg. -Teoria del trasporto elettronico in sistemi disordinati.

Testi

- 1- Carlo Di Castro, Roberto Raimondi, Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter, Cambridge University Press 2015.
- 2- Piers Coleman, Introduction to Many-Body Physics, Cambridge University Press 2015.

Bibliografia di riferimento

- 1- Carlo Di Castro, Roberto Raimondi, Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter, Cambridge University Press 2015.
- 2- Piers Coleman, Introduction to Many-Body Physics, Cambridge University Press 2015.

Modalità erogazione

Le lezioni comportano l'esposizione dettagliata di sviluppi matematico-formali e quindi si utilizza la lavagna in modo sistematico (o altro strumento digitale di pari efficacia).

Modalità di valutazione

L'esame finale tende a comprendere se lo studente ha raggiunto una ragionevole comprensione degli argomenti. Da un lato occorre controllare che abbia una comprensione generale delle varie parti del corso e sappia collegarle fra di loro. Per questo l'esame orale consiste in parte in domande tese ad accertare questi aspetti senza entrare nei dettagli del formalismo ed in parte in domande in cui si chiede di impostare il calcolo di un determinato effetto fisico. La valutazione è espressa in trentesimi.

English

Prerequisites

Quantum Mechanics and Statistical Mechanics

Programme

- Fluctuation-dissipation theorem and linear response theory. -Green functions at zero temperature. Lehmann decomposition. Analytical properties. - Perturbative development and Feynman diagrams. Dyson equation. - Green functions at finite temperature: Matsubara technique. - Hartree-Fock theory and RPA approximation. Thomas-Fermi screen. Lindhard function. -Fermi liquid theory. - Phenomenology of superfluidity. Landau theory. -Microscopic theory of superfluidity. Bogolubov theory. - Phenomenology of superconductivity. - Microscopic BCS theory of superconductivity. -Gorkov's derivation of the Landau-Ginzburg equations. -Theory of electronic transport in disordered systems.

Reference books

- 1- Carlo Di Castro, Roberto Raimondi, Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter, Cambridge University Press 2015.
- 2- Piers Coleman, Introduction to Many-Body Physics, Cambridge University Press 2015.

Reference bibliography

- 1- Carlo Di Castro, Roberto Raimondi, Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter, Cambridge University Press 2015.
- 2- Piers Coleman, Introduction to Many-Body Physics, Cambridge University Press 2015.

Study modes

The lessons involve the detailed presentation of mathematical-formal developments and therefore the blackboard is used in a systematic way (or other digital instrument of equal effectiveness).

Exam modes

-

20410718 - Teorie Quantistiche della Materia - Mod. A

Docente: RAIMONDI ROBERTO

Italiano

Prerequisiti

Programma

Teorema di fluttuazione-dissipazione e teoria della risposta lineare. -Funzioni di Green a temperatura nulla. Decomposizione di Lehmann. Proprietà analitiche. -Sviluppo perturbativo e diagrammi di Feynman. Equazione di Dyson. -Funzioni di Green a temperatura

finita: tecnica di Matsubara. -Teoria di Hartree-Fock e approssimazione RPA. Schermo di Thomas-Fermi. Funzione di Lindhard. -Teoria del liquido di Fermi. -Fenomenologia della superfluidità. Teoria di Landau. -Teoria microscopica della superfluidità. Teoria di Bogolubov. -Fenomenologia della superconduttività. -Teoria BCS microscopica della superconduttività. -Derivazione di Gorkov delle equazioni di Landau-Ginzburg.

Testi

- 1- Carlo Di Castro, Roberto Raimondi, Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter, Cambridge University Press 2015.
- 2- Piers Coleman, Introduction to Many-Body Physics, Cambridge University Press 2015.

Bibliografia di riferimento

Testi da definire

Modalità erogazione

Le lezioni comportano l'esposizione dettagliata di sviluppi matematico-formali e quindi si utilizza la lavagna in modo sistematico (o altro strumento digitale di pari efficacia).

Modalità di valutazione

L'esame finale tende a comprendere se lo studente ha raggiunto una ragionevole comprensione degli argomenti. Da un lato occorre controllare che abbia una comprensione generale delle varie parti del corso e sappia collegarle fra di loro. Per questo l'esame orale consiste in parte in domande tese ad accertare questi aspetti senza entrare nei dettagli del formalismo ed in parte in domande in cui si chiede di impostare il calcolo di un determinato effetto fisico. La valutazione è espressa in trentesimi.

English

Prerequisites

Programme

Fluctuation-dissipation theorem and linear response theory. -Green functions at zero temperature. Lehmann decomposition. Analytical properties. - Perturbative development and Feynman diagrams. Dyson equation. - Green functions at finite temperature: Matsubara technique. - Hartree-Fock theory and RPA approximation. Thomas-Fermi screen. Lindhard function. -Fermi liquid theory. - Phenomenology of superfluidity. Landau theory. -Microscopic theory of superfluidity. Bogolubov theory. - Phenomenology of superconductivity. - Microscopic BCS theory of superconductivity. -Gorkov's derivation of the Landau-Ginzburg equations.

Reference books

- 1- Carlo Di Castro, Roberto Raimondi, Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter, Cambridge University Press 2015.
- 2- Piers Coleman, Introduction to Many-Body Physics, Cambridge University Press 2015.

Reference bibliography

-

Study modes

The lessons involve the detailed presentation of mathematical-formal developments and therefore the blackboard is used in a systematic way (or other digital instrument of equal effectiveness).

Exam modes

-