

## **NOTIZIARIO PER GLI STUDENTI**

### **A.A. 2008-09**

### **Corso di Laurea Specialistica in Fisica** **(Classe 20S)**

La *Laurea specialistica in Fisica* è stata istituita a Perugia a partire dall'A.A. 2002-03; dall'A.A. 2003-04 sono attivati entrambi gli anni di corso. Per l'iscrizione occorre essere in possesso di una laurea della classe 25 ( Scienze e tecnologie fisiche), ovvero di altra laurea che soddisfi i requisiti curriculari e l'adeguatezza della preparazione per la laurea specialistica in Fisica, ovvero di altro titolo di studio conseguito all'estero e riconosciuto idoneo. Gli studenti che hanno conseguito la laurea triennale in Fisica di Perugia possono iscriversi, a norma del regolamento didattico di Ateneo, purché in possesso dei requisiti richiesti. Tutti i 180 CFU conseguiti nella Laurea in Fisica di questo Ateneo sono riconosciuti come validi per la laurea specialistica; il curriculum che è integralmente trasferito nell'ordinamento della Laurea Specialistica è quello *generale*; il regolamento didattico del Corso di Laurea fissa i criteri per gli eventuali debiti formativi per tutti gli altri iscritti. Per gli studenti laureati in un Corso di Laurea della classe 25 presso un'altra Università, il Consiglio interclasse deve deliberare il riconoscimento dei CFU conseguiti nelle varie attività formative e la convalida degli esami sostenuti. Il Consiglio interclasse ha la facoltà di modificare il numero di CFU assegnati dall'Università di provenienza nel caso riscontri differenze di criteri negli ordinamenti. Per ogni attività formativa il numero di CFU convalidati non può eccedere il massimo previsto dalla tabella di questo regolamento. Eventuali CFU in eccesso possono essere spostati ad altra attività formativa, di norma nello stesso ambito disciplinare, oppure, con giudizio motivato della Commissione Paritetica e successiva delibera del Consiglio Intercorso di Fisica, in ambito affine.

Per studenti provenienti da un CDL di classe diversa dalla 25, di questo o di altro Ateneo, il riconoscimento dei CFU per ciascun esame sostenuto non è automatico e va deliberato dal Consiglio interclasse, sentito il parere della Commissione didattica paritetica; di norma si richiede per l'iscrizione alla Laurea Specialistica un numero di CFU convalidati di almeno 120; il Consiglio interclasse può individuare eventuali debiti formativi in attività di base o caratterizzanti, da colmare inserendo nel piano di studi insegnamenti del CDL triennale, oppure sostenendo esami integrativi.

Per conseguire della Laurea Specialistica in Fisica lo studente deve aver acquisito 300 CFU, comprensivi di quelli relativi alla conoscenza obbligatoria di almeno una lingua dell'Unione europea. La prova finale consiste nella preparazione di una tesi scritta, elaborata in modo originale dallo studente sotto la guida di un relatore, e che deve essere discussa davanti ad una commissione appositamente nominata.

Gli obiettivi formativi del corso consistono nel portare il laureato specialista a:

- ☐ avere una solida preparazione culturale di base nella fisica classica e moderna e una buona padronanza del metodo scientifico di indagine;
- ☐ avere una buona conoscenza delle moderne strumentazioni di misura e delle tecniche di analisi dei dati;
- ☐ avere una buona conoscenza di strumenti matematici ed informatici di supporto;
- ☐ avere una elevata preparazione scientifica ed operativa nelle discipline che caratterizzano la classe;
- ☐ avere buona padronanza di almeno una lingua dell'Unione Europea oltre all'italiano;
- ☐ essere in grado di lavorare con ampia autonomia, anche assumendo responsabilità di progetti e strutture;
- ☐ essere in grado di utilizzare le conoscenze specifiche acquisite per realizzare modellizzazione di sistemi complessi nei campi delle scienze applicate.

Tra le attività che il laureato specialista in Fisica è in grado di svolgere, oltre quella di docenza cui il titolo potrà dare accesso, si indicano in particolare:

- ☐ le attività di ricerca fondamentale e applicata;
- ☐ le attività di promozione e sviluppo dell'innovazione scientifica e tecnologica, nonché di gestione e progettazione delle tecnologie;
- ☐ le attività professionali e di progetto in ambiti correlati con le discipline fisiche, nei settori dell'industria, dell'ambiente, della sanità, dei beni culturali e della pubblica amministrazione;
- ☐ le attività di divulgazione ad alto livello della cultura scientifica con particolare riferimento agli aspetti teorici, sperimentali e applicativi della fisica classica e moderna.

Le attività formative sono articolate in tre curricula: Fisica Teorica, Fisica della Materia, Fisica delle Particelle Elementari, ciascuno dei quali offre una preparazione approfondita in una delle aree di ricerca rappresentate nel Dipartimento di Fisica dell'Università di Perugia.

Gli studenti dovranno scegliere il curriculum all'atto dell'iscrizione.

La durata normale per il conseguimento della laurea specialistica è di due anni e i piani di studio proposti garantiscono che lo studente impegnato nello studio a tempo pieno possa completare il corso con un totale di circa 3000 ore di lavoro.

### **Attività formative indispensabili e crediti corrispondenti**

Il curriculum della Laurea Specialistica in Fisica presso l'Università degli Studi di Perugia prevede le seguenti attività formative, negli ambiti disciplinari elencati, per ciascuno dei tre orientamenti :

**TABELLA I**  
**Curriculum in Fisica Teorica**

<b>Attività formative:</b>	<b>Ambiti disciplinari</b>	<b>Settori scientifico-disciplinari</b>	<b>CFU</b>	<b>CFU TOT</b>
<b>di base</b>	<b>Discipline matematiche</b>	MAT/03 - Geometria MAT/05 - Analisi matematica	<b>27</b>	<b>53</b>
	<b>Discipline informatiche</b>	INF/01 - Informatica ING/INF05 - Sistemi di elaborazione delle informazioni	<b>6</b>	
	<b>Sperimentale-</b>	Applicativo FIS/01 - Fisica Sperimentale	<b>20</b>	
<b>Caratterizzanti</b>	<b>Sperimentale-Applicativo</b>	FIS/01 - Fisica Sperimentale	<b>48</b>	<b>114</b>
	<b>Teorico e dei Fondamenti della Fisica</b>	FIS/02 - Fisica teorica, modelli e metodi matematici	<b>46</b>	
	<b>Microfisico e della struttura della materia</b>	FIS/03 - Fisica della materia FIS/04 - Fisica nucleare e subnucleare	<b>20</b>	
<b>Affini o integrative</b>	<b>Discipline Chimiche</b>	CHIM/03 - Chimica generale e inorganica	<b>12</b>	<b>30</b>
	<b>Interdisciplinarità e applicazioni</b>	BIO/03, BIO/07, BIO/10 CHIM/01, CHIM/02, CHIM/03, CHIM/04, CHIM/05, CHIM/06, GEO/08, GEO/11, INF/01, ING-IND/09, ING-IND/10, ING-IND/11, ING-IND/12, ING-IND/18, ING-IND/19, ING-IND/20, ING-IND/22, ING-IND/23, ING-IND/31, ING-IND/33, ING-IND/35, ING-INF/01, ING-INF/02, ING-INF/03, ING-INF/05, ING-INF/06, ING-INF/07, MAT/01, MAT/02, MAT/03, MAT/04, MAT/05, MAT/06, MAT/07, MAT/08, MAT/09	<b>18</b>	
<b>Crediti di sede aggregati</b>	FIS/01, FIS/02, FIS/03, FIS/04, FIS/05, FIS/06, FIS/07, FIS/08, INF/01, MAT/03, MAT/05, MAT/07		<b>30</b>	<b>30</b>
<b>A scelta dello studente</b>	Uno o più moduli liberamente scelti dallo studente		<b>15</b>	<b>15</b>
<b>Per la prova finale e la conoscenza della lingua straniera</b>	Prova finale LT Prova finale LS Lingua straniera		<b>8</b> <b>3</b> <b>29</b>	<b>40</b>
<b>Altre (art 10, comma 1, lettera f)</b>	Ulteriori conoscenze linguistiche, abilità informatiche e relazionali, tirocini, etc.		<b>18</b>	<b>18</b>
<b>TOTALE</b>			<b>300</b>	<b>300</b>

**TABELLA II**  
**Curriculum in Fisica delle Particelle Elementari**

<b>Attività formative:</b>	<b>Ambiti disciplinari</b>	<b>Settori scientifico-disciplinari</b>	<b>CFU</b>	<b>CFU TOT</b>
<b>Di base</b>	<b>Discipline matematiche</b>	MAT/03 - Geometria MAT/05 - Analisi matematica	<b>27</b>	<b>53</b>
	<b>Discipline informatiche</b>	INF/01 - Informatica ING/INF05 - Sistemi di elaborazione delle informazioni	<b>6</b>	
	<b>Sperimentale-</b>	Applicativo FIS/01 - Fisica Sperimentale	<b>20</b>	
<b>Caratterizzanti</b>	<b>Sperimentale-Applicativo</b>	FIS/01 - Fisica Sperimentale	<b>54</b>	<b>120</b>
	<b>Teorico e dei Fondamenti della Fisica</b>	FIS/02 - Fisica teorica, modelli e metodi matematici	<b>28</b>	
	<b>Microfisico e della struttura della materia</b>	FIS/03 - Fisica della materia FIS/04 - Fisica nucleare e subnucleare	<b>10 28</b>	
<b>Affini o integrative</b>	<b>Discipline Chimiche</b>	CHIM/03 - Chimica generale e inorganica	<b>12</b>	<b>30</b>
	<b>Interdisciplinarietà e applicazioni</b>	BIO/03, BIO/07, BIO/10 CHIM/01, CHIM/02, CHIM/03, CHIM/04, CHIM/05, CHIM/06, GEO/08, GEO/11, INF/01, ING-IND/09, ING-IND/10, ING-IND/11, ING-IND/12, ING-IND/18, ING-IND/19, ING-IND/20, ING-IND/22, ING-IND/23, ING-IND/31, ING-IND/33, ING-IND/35, ING-INF/01, ING-INF/02, ING-INF/03, ING-INF/05, ING-INF/06, ING-INF/07, MAT/01, MAT/02, MAT/03, MAT/04, MAT/05, MAT/06, MAT/07, MAT/08, MAT/09	<b>18</b>	
<b>Crediti di sede aggregati</b>	FIS/01, FIS/02, FIS/03, FIS/04, FIS/05, FIS/06, FIS/07, FIS/08, INF/01, MAT/03, MAT/05, MAT/07		<b>24</b>	<b>24</b>
<b>A scelta dello studente</b>	Uno o più moduli liberamente scelti dallo studente		<b>15</b>	<b>15</b>
<b>Per la prova finale e la conoscenza della lingua straniera</b>	Prova finale LT Prova finale LS Lingua straniera		<b>8 29 3</b>	<b>40</b>
<b>Altre (art 10, comma 1, lettera f)</b>	Ulteriori conoscenze linguistiche, abilità informatiche e relazionali, tirocini, etc.		<b>18</b>	<b>18</b>
<b>TOTALE</b>			<b>200</b>	<b>200</b>

**TABELLA III**  
**Curriculum in Fisica della Materia**

<b>Attività formative:</b>	<b>Ambiti disciplinari</b>	<b>Settori scientifico-disciplinari</b>	<b>CFU</b>	<b>CFU TOT</b>
<b>Di base</b>	<b>Discipline matematiche</b>	MAT/03 - Geometria MAT/05 - Analisi matematica	<b>27</b>	<b>53</b>
	<b>Discipline informatiche</b>	INF/01 - Informatica ING/INF05 - Sistemi di elaborazione delle informazioni	<b>6</b>	
	<b>Sperimentale-</b>	Applicativo FIS/01 - Fisica Sperimentale	<b>20</b>	
<b>Caratterizzanti</b>	<b>Sperimentale-Applicativo</b>	FIS/01 - Fisica Sperimentale	<b>54</b>	<b>120</b>
	<b>Teorico e dei Fondamenti della Fisica</b>	FIS/02 - Fisica teorica, modelli e metodi matematici	<b>28</b>	
	<b>Microfisico e della struttura della materia</b>	FIS/03 - Fisica della materia FIS/04 - Fisica nucleare e subnucleare	<b>10 28</b>	
<b>Affini o integrative</b>	<b>Discipline Chimiche</b>	CHIM/03 - Chimica generale e inorganica	<b>12</b>	<b>30</b>
	<b>Interdisciplinarietà e applicazioni</b>	BIO/03, BIO/07, BIO/10 CHIM/01, CHIM/02, CHIM/03, CHIM/04, CHIM/05, CHIM/06, GEO/08, GEO/11 , INF/01, ING-IND/09, ING-IND/10, ING-IND/11, ING-IND/12, ING-IND/18, ING-IND/19, ING-IND/20, ING-IND/22, ING-IND/23, ING-IND/31, ING-IND/33, ING-IND/35, ING-INF/01, ING-INF/02, ING-INF/03, ING-INF/05, ING-INF/06, ING-INF/07, MAT/01, MAT/02, MAT/03, MAT/04, MAT/05, MAT/06, MAT/07, MAT/08, MAT/09	<b>18</b>	
<b>Crediti di sede aggregati</b>	FIS/01, FIS/02, FIS/03, FIS/04, FIS/05, FIS/06, FIS/07, FIS/08, INF/01, MAT/03, MAT/05, MAT/07		<b>24</b>	<b>24</b>
<b>A scelta dello studente</b>	Uno o più moduli liberamente scelti dallo studente		<b>15</b>	<b>15</b>
<b>Per la prova finale e la conoscenza della lingua straniera</b>	Prova finale LT Prova finale LS Lingua straniera		<b>8 29 3</b>	<b>40</b>
<b>Altre (art 10, comma 1, lettera f)</b>	Ulteriori conoscenze linguistiche, abilità informatiche e relazionali, tirocini , etc.		<b>18</b>	<b>18</b>
<b>TOTALE</b>			<b>200</b>	<b>200</b>

## Piani di studio

Le seguenti tabelle riportano i percorsi didattici consigliati, per ciascuno dei tre orientamenti, per gli studenti che vengono ammessi alla Laurea Specialistica **senza** debiti formativi. La somma dei crediti riportati è 120 e include 6 CFU a libera scelta dello studente, e 12 CFU in materie affini e integrative, come previsto dall'Ordinamento didattico. In queste tabelle si assume che lo studente abbia ottenuto i 180 CFU del tipico piano di studi del Curriculum Generale nel CDL triennale in Fisica dell'Università di Perugia. Per studenti di altra provenienza, o con curricula di studi diversi, il piano di studi dovrà essere personalizzato, in modo da soddisfare i necessari requisiti in tutte le attività formative previste. Gli studenti devono presentare il proprio piano di studio alla Segreteria Studenti entro il 31 Dicembre 2008; la scelta degli esami liberi può essere indicata successivamente.

Gli studenti potranno seguire corsi, e sostenere i relativi esami, anche in ordine diverso da quello suggerito, purché siano rispettate le regole di propedeuticità in seguito indicate; è anche possibile completare il corso di laurea in anticipo rispetto ai quattro semestri previsti.

### Piano di studi consigliato per l'orientamento in Fisica Teorica:

	I SEMESTRE	CFU	II SEMESTRE	CFU
<b>I ANNO</b>	Elettrodinamica Classica	6	Elettrodinamica Quantistica	6
	Statistica e Simulazioni	4	Meccanica Statistica	6
	Metodi Matematici avanzati per la Fisica	6	Fisica Teorica I	6
	Chimica II	6	Teoria dei Campi	6
	Teoria della diffusione e dei Sistemi a Multicorpi I	6	Un corso di Laboratorio a scelta	6
<b>II ANNO</b>	Fisica Teorica II	6	Preparazione della Tesi	29
	Teoria Quantistica dei Campi	6		
	Teoria della diffusione e dei Sistemi a Multicorpi II	6		
	A scelta libera	6		
	Tirocinio di ricerca	9		

## Piano di studi consigliato per l'orientamento Fisica delle Particelle

### Elementari:

	I SEMESTRE	CFU	II SEMESTRE	CFU
<b>I ANNO</b>	Elettrodinamica Classica	6	Elettrodinamica Quantistica	6
			Introduzione alla Fisica delle Particelle	
	Statistica e Simulazioni	4	Elementari	6
	Metodi Matematici avanzati per la Fisica	6	Laboratorio di Fisica Subnucleare I	6
	Chimica II	6	Corso di indirizzo a scelta	6
	Rivelatori per la Fisica delle Alta Energia	6	A scelta libera	6
<b>II ANNO</b>	Particelle Elementari	6	Preparazione della Tesi	29
	Cosmologia e Astroparticelle	6		
	Laboratorio di Fisica Subnucleare II	6		
	Corso di indirizzo a scelta	6		
	Tirocinio	9		

I “corsi di indirizzo a scelta” possono essere seguiti al I o al II anno, e scelti nella seguente lista:

Astrofisica	6 CFU (FIS/05)
Astrofisica delle Alte Energie	6 CFU (FIS/05)
Esperimenti di Fisica delle Alte Energie	6 CFU (FIS/04)
Fisica Teorica I	6 CFU (FIS/02)
Rivelatori a semiconduttori	6 CFU (FIS/03)
Teoria dei Campi	6 CFU (FIS/02)
Teoria della diffusione e dei Sistemi a Multicorpi I	6 CFU (FIS/02)



**Piano di studi consigliato per l'orientamento in Fisica delle Materia:**

	<b>I SEMESTRE</b>	<b>CFU</b>	<b>II SEMESTRE</b>	<b>CFU</b>
<b>I ANNO</b>	Elettrodinamica Classica	6	Elettrodinamica Quantistica	6
	Statistica e Simulazioni	4	Fisica della Materia II	6
	Metodi Matematici avanzati per la Fisica	6	Laboratorio di Fisica della Materia I	6
	Chimica II	6	Fisica dello Stato Solido I	6
	Fisica della Materia I	6	Corso di indirizzo a scelta	6
<b>II ANNO</b>	Fisica dello Stato Solido II	6	Preparazione della Tesi	29
	Laboratorio di Fisica della Materia II	6		
	Corso di indirizzo a scelta	6		
	A scelta libera	6		
	Tirocinio	9		

I “corsi di indirizzo a scelta” possono essere seguiti al I o al II anno, e scelti nella seguente lista:

Fisica Atomica	6 CFU (FIS/03)
Fisica dei Mezzi Continui	6 CFU (FIS/03)
Spettroscopia	6 CFU (FIS/03)
Fisica Teorica I	6 CFU (FIS/02)
Teoria dei Campi	6 CFU (FIS/02)
Meccanica Statistica	6 CFU (FIS/02)

## **Calendario delle attività didattiche**

L'anno accademico è suddiviso in due semestri, intervallati da periodi di almeno 6 settimane per lo svolgimento degli esami, secondo le regole stabilite dal Regolamento della Facoltà di Scienze. Il numero di ore per ciascun corso viene distribuito su 12 settimane, con eventuale recupero delle ore perse per festività o altri validi motivi, alla fine del semestre. Il calendario degli esami verrà reso noto all'inizio di ciascun semestre.

### **Frequenza ai corsi e modalità della verifica del profitto.**

Per i corsi di Laboratorio, è richiesto almeno il 70% delle presenze per poter sostenere l'esame e maturare i relativi crediti. La valutazione finale (esame) dei corsi è espressa in trentesimi (eventualmente con la concessione della lode) e permette di maturare i CFU relativi; essa si svolge di fronte ad una Commissione nominata dal Consiglio Intercorsi di Fisica e presieduta dal docente responsabile del corso.

L'esame consiste in una prova scritta e/o orale, atta ad accertare la preparazione dello studente. Ciascun docente spiegherà all'inizio del corso le modalità di esame e metterà a disposizione degli studenti i necessari sussidi nelle forme più opportune. In ogni caso l'esame finale deve essere individuale.

Il tirocinio può essere effettuato o nell'ambito di un gruppo di ricerca universitario, o presso Laboratori di ricerca (in Italia o all'estero), o presso Enti pubblici, Industrie, ecc ; un docente, scelto dallo studente, consiglia sulle attività da svolgere e segue lo studente anche durante questa fase. La prova di esame consiste in un elaborato sul lavoro svolto e nell'analisi dei risultati ottenuti, discussi nel contesto delle rilevanti problematiche di Fisica interessate. Tale elaborato va presentato in forma scritta al docente responsabile e discusso oralmente; il giudizio è quello di idoneità.

### **Prova finale**

Per essere ammesso alla prova finale lo studente deve avere conseguito tutti i crediti nelle attività formative previste dal piano di studi (271 CFU comprensivi dei crediti maturati nella Laurea di I livello) ed aver completato il lavoro di tesi, come certificato con lettera scritta del relatore al presidente del Consiglio Intercorso di Fisica almeno due settimane prima della prova. Nella prova finale lo studente deve discutere il lavoro di tesi svolto, e dimostrare di aver raggiunto una solida preparazione di base ed aver capacità di svolgere un lavoro autonomo. La Commissione di esami è costituita da 11 docenti, designati secondo le modalità generali previste dal Regolamento Didattico di Ateneo.

Il voto di Laurea è assegnato in 110-esimi, il massimo voto può essere assegnato con la menzione della lode, esso deve rispecchiare sia il profitto degli studenti nei vari insegnamenti seguito, che il curriculum complessivo degli studi.

## CORSI ATTIVATI NELL'A.A. 2008-09

### ELETTRODINAMICA CLASSICA

<b>Periodo didattico :</b>	<b>I semestre</b>
<b>CFU:</b>	<b>6</b>
<b>Ambito disciplinare:</b>	<b>FIS/02</b>
<b>Attività formativa:</b>	<b>B (Ambito Teorico e dei Fondamenti della Fisica) B (Ambiti aggregati di sede)</b>
<b>Docente:</b>	<b>Prof. G. Immirzi</b>
<b>Curriculum</b>	<b>Tutti</b>
<b>Programma:</b>	

1. Identità vettoriali, unità di misura, le equazioni di Maxwell nei diversi sistemi di unità. Uso della teoria delle distribuzioni.
2. Elettrostatica: equazioni di Poisson e Laplace, teorema di Green, condizioni di Dirichlet e Neumann, teorema di unicità, funzione di Green. Metodo delle immagini, carica puntiforme in presenza di una sfera conduttrice. Separazione delle variabili. Funzione di Green per due piani conduttori paralleli; potenziale in un parallelepipedo conduttore. Sviluppi in armoniche sferiche; sfera in un campo uniforme; sviluppo in multipoli; potenziale di un anello carico; sfera dielettrica in un campo uniforme. Trasformazioni conformi: angoli e spigoli; carica sull'asse di un tubo cilindrico.
3. Magnetostatica: schermo magnetico; magneti di tipo "dipolo" e "quadrupolo"
4. Potenziali elettromagnetici: la scelta del gauge; i potenziali e.m. in meccanica quantistica, la sostituzione minimale; l'effetto Aharonov-Bohm, la carica del monopolo; superconduttività ed effetto Meissner.
5. Il teorema di Poynting; il peso relativo del termine di Maxwell; onde nei conduttori; tensore degli sforzi di Maxwell, pressione di radiazione. Guide d'onda, cavità risonanti, cavi coassiali.
6. La formula di Kirchhoff; la teoria della diffrazione; i potenziali ritardati, la formula del dipolo. Esempi: onda su particella libera, sezione d'urto Thompson, la radiazione da un'antenna; il collasso classico dell'atomo di idrogeno, diffusione da una sfera di dielettrico, sezione d'urto di Raleigh, diffusione da dipoli elettrici, l'azzurro del cielo. Cenni sulla teoria delle antenne. Sviluppo in multipoli del campo radiativo, superpotenziale di Hertz.
7. Formulazione covariante dell'elettromagnetismo: leggi di trasformazione classiche dei campi e.m. e loro inconsistenza; lo spazio di Minkowski e il formalismo covariante, quadrivelocità e quadriimpulso. Le equazioni dell'elettromagnetismo in forma covariante; la quaricorrente di una carica puntiforme. Il tensore energia-impulso, esempio di fluido carico.
8. Il campo di una carica in movimento (potenziali di Lienard-Wiechert), la luce di sincrotrone e il suo spettro.
9. I coefficienti A e B di Einstein, emissione stimolata, la teoria degli oscillatori, i laser.

Testi consigliati:

- W. Panofsky e M. Phillips, Classical Electricity and Magnetism.  
J. D. Jackson: Elettrodinamica classica. Una dispensa del docente.

## METODI MATEMATICI AVANZATI PER LA FISICA

<b>Periodo didattico :</b>	<b>I semestre</b>
<b>CFU:</b>	<b>6</b>
<b>Ambito disciplinare:</b>	<b>MAT/07</b>
<b>Attività formativa:</b>	<b>C (Discipline affini e integrative) B (Ambiti aggregati di sede)</b>
<b>Curriculum</b>	<b>Tutti</b>
<b>Docente:</b>	<b>Dott. O. Panella</b>

### Programma:

il corso si articola in 48 ore di lezione. Verranno trattati i seguenti argomenti:

#### 1. COMPLEMENTI DI TEORIA DELLE VARIABILI COMPLESSE (8h)

Trasformazioni conformi. Valutazione asintotica di integrali.  
(Ablowitz-Fokas, Cambridge University Press 1997)

#### 2. TEORIA DEI GRUPPI (16h)

Gruppi Finiti. Gruppi di Lie, Esempi. Teoria delle rappresentazioni.  
(Cornwell, Vol 1. Academic Press, London, 1989)

#### 3. ELEMENTI DI GEOMETRIA DIFFERENZIALE (24h)

Variata differenziabili. Vettori tangenti e Spazio tangente.  
Campi vettoriali covarianti e controvarianti, Campi Tensoriali.  
Variata Riemanniana. Differenziazione covariante, Geodetiche.  
Il tensore di curvatura di Riemann.  
(Bernard Schutz, Geometrical Methods of Mathematical Physics  
Cambridge University Press, 1980)

**Esame:** L'esame consiste di una prova scritta e di una orale.

**Testi consigliati:** rivolgersi al docente.

## STATISTICA E SIMULAZIONI

<b>Periodo didattico :</b>	<b>I semestre</b>
<b>CFU:</b>	<b>4</b>
<b>Ambito disciplinare:</b>	<b>FIS/01</b>
<b>Attività formativa:</b>	<b>B (Ambito Sperimentale e Applicativo)</b> <b>B (Ambiti aggregati di sede)</b>
<b>Curriculum:</b>	<b>tutti</b>
<b>Docente:</b>	<b>Prof. A. Nappi</b>

**Programma:** Il corso si articola in 32 ore, di cui 22 di lezioni e 10 di esercitazioni. Verranno trattati i seguenti argomenti:

Richiami di calcolo delle probabilità 2ore ( 2+0 )

Probabilità condizionata. Variabili casuali discrete e continue. Densità di probabilità. Valori di aspettazione. Media, varianza, correlazione. Funzioni di variabili casuali. Distribuzione notevoli: binomiale, multinomiale, di Poisson. Distribuzione esponenziale, gaussiana, del chi-quadro, della t di Student e della F di Fisher-Snedecor.

Il metodo Monte-Carlo 6 ore (4+2)

Tecnica di integrazione Monte-Carlo. Stima degli errori. Tecniche per la riduzione della varianza. La tecnica Monte-Carlo come “simulazione”. Generazione di numeri a caso con distribuzione uniforme. Generazione di numeri a caso con distribuzione qualunque: trasformazione di variabili, tecnica “hit & miss”, generazione di variabili gaussiane.

Stima di parametri 12 ore (8+4 )

Proprietà delle stime: consistenza, bias, efficienza. Disuguaglianza di Cramer-Rao. Stima di maximum likelihood: proprietà asintotiche e per campioni finiti. Esempi: media e varianza di variabili gaussiane, media pesata, parametro di una distribuzione esponenziale. Valore di aspettazione e varianza della stima di maximum likelihood: approssimazioni analitiche. Programmi di minimizzazione numerica. Uso della likelihood nella analisi di istogrammi. Determinazione della distribuzione di probabilità della stima di maximum likelihood con il metodo Monte-Carlo. Stima dei minimi quadrati. Teorema di Gauss-Markov. Formule risolutive. Matrice di covarianza della stima. Sviluppi polinomiali o in altre serie di funzioni. Uso di funzioni ortogonali. Fit con vincoli. Fit non lineari con e senza vincoli. Metodi iterativi di soluzione. Esempi: fit di una traiettoria nello spazio. Il metodo dei momenti.

Stima di intervalli 6ore (4+2 )

Strisce di confidenza. Intervallo di confidenza centrale. Il caso di variabili continue e discrete. Esempi: media e varianza di una gaussiana, media di una poissoniana. Limiti superiore ed inferiore. “Coverage” degli intervalli di confidenza. Scelte dell’intervallo di confidenza, a parità di “coverage”: ordinamento in funzione del likelihood ratio. Intervalli di confidenza multi-dimensional. Interpretazione della matrice di covarianza. Intervalli di confidenza basati sulla likelihood.

Test di ipotesi 6ore (4+2)

Generalità. Significanza e potenza. Test di ipotesi semplici. Scelta della regione critica. Teorema di Neymann-Pearson. Discriminanti di Fisher, reti neurali. Test di ipotesi composte. “Likelihood ratio” test. Approssimazioni asintotiche della distribuzione del likelihood ratio. Uso del metodo Monte-Carlo per la valutazione della distribuzione del

likelihood ratio. Test di bontà del fit. Confronto di un campione con un modello teorico di distribuzione e di due campioni. Il test del chi-quadro. Altri test su istogrammi: run test. Test su dati non istogrammati: test del “Wilcoxon rank”; test di Kolmogorov-Smirnov.

**Esame:** L’esame finale comprenderà una prova scritta, consistente nella soluzione di un problema (ove necessario mediante un computer) , ed in una prova orale.

**Testo consigliato:**

G.Cowan, Statistical data analysis, Clarendon Press, Oxford 1998

**Altri riferimenti:**

F.James. Monte-carlo theory and practice, Rep.Prog.Phys.43(1980)73 (articolo di rassegna );

W.T.Eadie ed altri autori, Statistical methods in experimental physics, Elsevier Science 1983 ;

A.G.Frodesen ed altri autori, Probability and Statistics in Particle Physics, Oxford Univ. Press 1979

## CHIMICA II

<b>Periodo didattico :</b>	<b>I semestre</b>
<b>CFU:</b>	<b>6</b>
<b>Ambito disciplinare:</b>	<b>CHIM/03</b>
<b>Attività formativa:</b>	<b>C (Discipline affini e integrative)</b>
<b>Curriculum:</b>	<b>Tutti</b>
<b>Docente:</b>	<b>Prof. F. Pirani</b>

Programma: il corso si articola in 48 ore di lezione, di cui 36 di lezione e 12 di esercitazioni . Verranno trattati i seguenti argomenti

**Legami deboli e forti, in sistemi semplici e complessi:** approssimazione di Born Oppenheimer e superfici di energia potenziale di interazione; forze intermolecolari, natura e proprietà; introduzione generale al legame intermolecolare, vari tipi di legame e classificazione in base all'energetica; legame chimico covalente e richiami sulla molecola  $H_2^+$ . Teorie di legame chimico approssimate da applicare a molecole polielettroniche: teoria degli orbitali molecolari e teoria del legame di valenza; studio di molecole bioatomiche omo ed eteronucleari e di molecole più complesse; la simmetria in chimica; la transizione dal legame di van der Waals al legame chimico e fenomeni di scambio di carica; legame ionico e processi di arpionamento all'incrocio tra superfici di energia potenziale; legami e classificazione nei solidi; proprietà dei liquidi. ore 16 (12 + 4).

**Richiami di termodinamica:** la funzione di Helmholtz; la funzione di Gibbs ed il potenziale chimico. ore 6 (4 +2).

**Aspetti generali della cinetica chimica.** ore 2

**Termodinamica statistica:** richiami generali; funzione di partizione e connessione con tutte le funzioni di stato termodinamiche; valutazione delle funzioni di partizione traslazionale, rotazionale, vibrazionale ed elettronica; applicazioni: entropia dei sistemi, energia media, principio di equipartizione e capacità termiche; rappresentazione della costante di equilibrio di una reazione chimica in termini di funzioni di partizione, discussione del suo valore e del suo significato in alcuni processi basilari; considerazioni generali sulla statistica classica e funzione di distribuzione delle velocità molecolari. ore 16 (12 + 4).

**Studio di processi chimici elementari in fase gassosa:** reazioni bimolecolari, teoria delle collisioni e sua estensione sulla base di considerazioni energetiche; esperimenti avanzati con la tecnica dei fasci molecolari; meccanismi fondamentali delle reazioni chimiche elementari; superfici di energia potenziale e barriere: traiettorie e costanti di velocità; approccio statistico alla dinamica di reazione: teoria dello stato di transizione. ore 8 (6 + 2).

**Esame:** l'esame consiste in una prova orale

**Testi consigliati:**

- CHIMICA - Mahan - Myers Casa Ed: AMBROSIANA - Milano
- CHIMICA FISICA - P.W. Atkins Casa Ed: ZANICHELLI

# TEORIA DELLA DIFFUSIONE E DEI SISTEMI A MULTICORPI I

**Periodo didattico :** I semestre

**CFU:** 6

**Ambito disciplinare:** FIS/02

**Attività formativa:** B (Ambito Teorico e dei Fondamenti della Fisica)  
B (Ambiti aggregati di sede)

**Docente:** Prof. C. Ciofi degli Atti

**Curriculum** Fisica Teorica

**Programma:** il corso consiste di 48 ore di lezione. Saranno trattati i seguenti argomenti:

- ~ Interazione tra particelle e concetto di sezione d'urto.
- ~ Diffusione da potenziale.
- ~ Approssimazione di Born.
- ~ Teoria degli sfasamenti.
- ~ Diffusione a basse energie.
- ~ Diffusione ad alte energie: approssimazione eiconale e teoria della diffusione multipla.
- ~ Teoria relativistica della diffusione. Grafici di Feynman.
- ~ Diffusione tra particelle prive di spin e dotate di spin.
- ~ Diffusione elastica leptone - adrone. Fattori di forma del nucleone.
- ~ Diffusione anelastica e profondamente anelastica leptone - adrone; scaling di Bjorken e modello a partoni.
- ~ Diffusione elastica, anelastica e profondamente anelastica su sistemi di molti adroni.

**Esame:** l'esame consiste in un colloquio orale

## **Testi consigliati:**

S. Davydov, Quantum Mechanics;

J. D. Bjorken and S. D. Drell, Relativistic Quantum Mechanics;

F. Halzen and A. D. Martin, Quarks and Leptons



## RIVELATORI PER LA FISICA DELLE ALTE ENERGIE

<b>Periodo didattico :</b>	<b>I semestre</b>
<b>CFU:</b>	<b>6</b>
<b>Ambito disciplinare:</b>	<b>FIS/04</b>
<b>Attività formativa:</b>	<b>B (Ambito Microfisico e della struttura della materia)</b>
	<b>B (Ambiti aggregati di sede)</b>
<b>Docente:</b>	<b>Prof. M. Valdata</b>
<b>Curriculum</b>	<b>Fisica delle Particelle Elementari</b>
<b>Programma:</b>	

- - Introduzione (2 ore)
- - Cenni su acceleratori di particelle e fasci estratti. (8 ore)
- - Interazione delle particelle con la materia: (14ore)
  - o o Perdita di energia per ionizzazione.
  - o o Scattering multiplo.
  - o o Lunghezza di radiazione
  - o o Sciami elettromagnetici.
  - o o Radiazione Cerenkov e di transizione.
- - Rivelatori di particelle: (24 ore)
  - o o Rivelatori di posizione e tracciamento a gas e di silicio.
  - o o Scintillatori organici ed inorganici, fotomoltiplicatori, fibre scintillanti.
  - o o Cenni su emulsioni nucleari e TPC ad argon liquido.
  - o o Calorimetria: calorimetri omogenei ed a sampling.
  - o o Identificazione di particelle: Misure di  $dE/dx$ , tempi di volo, rivelatori Cerenkov, rivelatori di radiazione di transizione

### Testi :

- C. Grupen, *Particle Detectors*, Cambridge University Press, 1996
- W.R. Leo, *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments*, Springer Verlag, 1994
- R. Fernow, *Introduction to Experimental Particle Physics*, Cambridge University Press, 1992
- Autori vari, *Instrumentation in High energy Physics*, Fabio Sauli (Editore), Advanced series on Directions in High Energy Physics-Vol. 9, World Scientific.
- Konrad Kleinknecht, *Detectors for particle radiation*, Cambridge UK.
- Dan Green, *The Physics of Particle Detectors*, Cambridge University Press, 2000

Autori vari, *Experimental techniques in high energy physics*, T. Ferbel (editore), World Scientific, 1991. Un elenco bibliografico e una specie di dizionario enciclopedico può essere trovato in : <http://www.cern.ch/Physics/ParticleDetector/BriefBook/>.

**Esame:** L'esame consiste in un colloquio orale con domande sul programma volto.

# **FISICA DELLA MATERIA I**

<b>Periodo didattico :</b>	<b>I semestre</b>
<b>CFU:</b>	<b>6</b>
<b>Ambito disciplinare:</b>	<b>FIS/03</b>
<b>Attività formativa:</b>	<b>B (Ambito Microfisica e Struttura della Materia) B (Ambiti aggregati di sede)</b>
<b>Docente:</b>	<b>Prof. G. Onori</b>
<b>Curriculum</b>	<b>Fisica della Materia</b>
<b>Programma:</b>	

- - Produzione e proprietà della Luce di Sincrotrone.
- - Interazione radiazione-materia.
- - Assorbimento di raggi X (EXAFS e XANES).
- - Diffrazione di raggi X (cristallo singolo, polveri, scattering anomalo).
- - Scattering a basso angolo. Scattering anelastico.
- - Sorgenti di neutroni e applicazioni della spettroscopia neutronica.
- - Complementarità e differenze tra Luce di Sincrotrone e neutroni.
- - Applicazioni delle singole spettroscopie allo studio di liquidi, biomolecole e sistemi micellari

**Esame:** consiste in un colloquio orale

**Libri di testo:** saranno consigliati dal docente.:

# ELETTRODINAMICA QUANTISTICA

<b>Periodo didattico :</b>	<b>Il semestre</b>
<b>CFU:</b>	<b>6</b>
<b>Ambito disciplinare:</b>	<b>FIS/02</b>
<b>Attività formativa:</b>	<b>B (Ambito Teorico e dei Fondamenti della Fisica) B (Ambiti aggregati di sede)</b>
<b>Docente:</b>	<b>Prof. Y. Srivastava</b>
<b>Curriculum</b>	<b>Tutti</b>
<b>Programma:</b>	

il corso consiste in 48 ore di lezioni. Verranno trattati i seguenti argomenti:

- ~ Riepilogo della Meccanica quantistica non relativistica
- ~ Riepilogo delle trasformazioni in relatività speciale
- ~ Introduzione alle equazioni d'onda relativistiche e alle loro soluzioni: Dirac, Klein-Gordon e Maxwell.
- ~ L'equazione di Dirac, lo spin e la covarianza di Lorentz
- ~ Introduzione alle interazioni mediante il principio di invarianza di gauge
- ~ Formulazione lagrangiana, densità lagrangiana.
- ~ Funzioni e propagatori di Green.
- ~ Rappresentazione dell'interazione e matrice S
- ~ Spazio delle fasi; sezioni d'urto, ampiezze di decadimento.
- ~ Processi di QED all'ordine più basso nella teoria perturbativa.
- ~ Esempi di altre interazioni: Interazioni deboli, teoria di Fermi
- ~ Unificazione di Gauge e teoria Elettrodebole
- ~ Rottura spontanea delle Simmetrie
- ~ Applicazioni alla Superconduttività e all'effetto Higgs
- ~ Rinormalizzazione

**Esame:** consiste in un colloquio orale

## Testi:

F. Mandl e G. Shaw : "Quantum Field Theory" , Wiley.

J. Bjorken e S. Drell : "Relativistic Quantum Mechanics", McGraw Hill

## TEORIA DEI CAMPI

<b>Periodo didattico :</b>	<b>Il semestre</b>
<b>CFU:</b>	<b>6</b>
<b>Ambito disciplinare:</b>	<b>FIS/02</b>
<b>Attività formativa:</b>	<b>B (Ambito Teorico e dei Fondamenti della Fisica)</b> <b>B (Ambiti aggregati di sede)</b>
<b>Docente:</b>	<b>Prof. Y. Srivastava</b>
<b>Curriculum</b>	<b>Fisica Teorica</b>
<b>Programma:</b>	

il corso consiste in 48 ore di lezioni. Saranno trattati i seguenti argomenti:

- ~ La teoria della relatività ristretta; cinematica relativistica; moto relativistico delle cariche in un campo elettromagnetico; il tensore energia-momento.
- ~ Fondamenti delle trasformazioni generali di coordinate.
- ~ Tensori di Reimann e Ricci. Equazioni di Einstein.
- ~ Tests sperimentali della relatività generale.
- ~ Trasformazioni di gauge.
- ~ Quantizzazione della relatività generale.
- ~ Elementi di Cosmologia.
- ~ Metrica di Robertson Walker; espansione cosmologica; problemi aperti.

**Esame:** l'esame consiste in un colloquio orale

**Testi consigliati:** rivolgersi al docente

# FISICA TEORICA I

<b>Periodo didattico :</b>	<b>Il semestre</b>
<b>CFU:</b>	<b>6</b>
<b>Ambito disciplinare:</b>	<b>FIS/02</b>
<b>Attività formativa:</b>	<b>B (Ambito Teorico e dei Fondamenti della Fisica) B (Ambiti aggregati di sede)</b>
<b>Docente:</b>	<b>Prof. P. Sodano</b>
<b>Curriculum</b>	<b>Fisica Teorica</b>
<b>Programma:</b>	

- 1) 1) Equazioni d' onda relativistiche: equazioni di Klein Gordon e di Dirac.
- 2) 2) Simmetrie in teorie quantistiche relativistiche: Teorema di Wigner, Trasformazioni di Lorentz in meccanica quantistica, Algebra del gruppo di Poincarè, Rappresentazioni unitarie irriducibili del gruppo di Poincarè, Stati di singola particella relativistica.
- 3) 3) La seconda quantizzazione: Spazio di Fock, Operatori di campo e loro proprietà di trasformazione sotto il gruppo di Poincarè, Simmetrie discrete ( Parità, Inversione Temporale e Coniugazione di carica), Teorema CPT, Formalismo Lagrangiano e teorema di Noether, Formalismo Canonico.
- 4) 4) Campi in interazione: Introduzione, Esempi di teorie di campo interagenti e loro simmetrie: Q.E.D., Elettrodinamica scalare, Teoria di Fermi delle interazioni deboli, Q.C.D., Teorie di campi scalari autointeragenti.
- 5) 5) Cenni sul calcolo perturbativo degli elementi di matrice S: Propagatori, teorema di Wick, Diagrammi di Feynman, calcolo esplicito di alcuni processi elementari.

**Esame:** consiste in un colloquio orale

**Testi consigliati:**

- A. Di Giacomo, Lezioni di Fisica Teorica, Edizioni E.T.S.1992  
S. Weinberg, The Quantum Theory of Fields, Vol. 1, Cambridge University

# MECCANICA STATISTICA

**Periodo didattico :** Il semestre  
**CFU:** 6  
**Ambito disciplinare:** FIS/02  
**Attività formativa:** B (Ambito Teorico e dei Fondamenti della Fisica)  
B (Ambiti aggregati di sede)  
**Docente:** Dott. M. C. Diamantini  
**Curriculum** Fisica Teorica

## **Programma:**

### **1) Richiami di Termodinamica:**

Principio zero e definizione di temperatura. Primo principio ed energia interna. Macchine termiche e frigoriferi. Macchina di Carnot. Secondo Principio. Teorema di Carnot. Temperatura termodinamica. Entropia. Potenziali termodinamici. Entalpia, energia libera (Helmholtz), entalpia libera (Gibbs), gran potenziale. Potenziale chimico. Relazioni di Maxwell. Stabilità dell'equilibrio termodinamico. Equazione di Clausius-Clapeyron. Cenni sulla classificazione delle transizioni di fase. Terzo principio. (8 ore)

### **2) Teoria Cinetica dei Gas:**

Microstati e macrostati. Insieme statistico di microstati di Gibbs. Funzione densità nello spazio delle fasi. Medie di insieme. Teorema di Liouville. La gerarchia di Bogolubov - Born- Green - Kirkwood - Yvon (BBGKY). Equazione di Boltzmann. Conseguenze dell'equazione di Boltzmann; la distribuzione di equilibrio, equazione di stato dei gas perfetti, teorema "H". Fenomeni di trasporto. Cammino libero medio. Effusione. Conducibilità elettrica. Leggi di conservazione. Idrodinamica. Approssimazione zero per la soluzione dell'equazione di Boltzmann. Derivata convettiva ed equazione per le adiabatiche. Equazione per un'onda sonora. Equazione di Bernoulli. Approssimazione al primo ordine, viscosità. Equazioni di Navier-Stokes e del calore. Forza di Stokes. (8 ore)

### **3) Probabilità:**

Variabili random. Proprietà delle funzioni di probabilità. Funzione cumulativa di probabilità. Funzione densità di probabilità (PDF). Valore di aspettazione di una funzione di variabile random. Momenti e cumulanti. Funzione caratteristica e funzione generatrice dei cumulanti. Media, varianza, skewness e curtosis di una distribuzione. Alcune importanti PDF:

distribuzioni normale, binomiale e di Poisson. Entropia di una PDF. Molte variabili random: PDF, funzione caratteristica, funzione generatrice, momenti e cumulanti, comuni. PDF per somme di variabili random. Teorema del limite centrale. Regole per grandi numeri: somme di quantità esponenziali, metodo del punto a sella, formula di Stirling per  $N!$ . (6 ore)

### **4) Meccanica Statistica Classica:**

Insieme microcanonico: PDF ed entropia termodinamica. Teorema di equipartizione. Teorema del viriale. Gas ideale. Oscillatori armonici classici. Gas di sfere rigide, equazione di Van der Waals. Paradosso di Gibbs e sua soluzione. Insieme canonico: PDF e funzione di partizione. Momenti e cumulanti. Termodinamica e gas ideale. Insieme grancanonico: PDF e funzione di gran partizione. Momenti e cumulanti. Termodinamica e gas ideale. Particelle intergenti, espansione in cluster di Mayer della funzione di gran partizione. Potenziale di van der Waals, validità dell'equazione di van der Waals. (8 ore)

### **5) Effetti Quantistici:**

Gas diluiti di molecole poliatomiche: capacità termiche. Modi normali: modi vibrazionali e rotazionali. Radiazione di corpo nero. Modi normali del campo elettromagnetico libero. Fotoni. Funzione di partizione. Distribuzione dell'energia, formula di Planck. Calori specifici dei solidi: modello di Einstein. Vibrazioni di un solido; modi normali. Fononi. Funzione di partizione. Calori specifici dei solidi: modello di Debye. (8 ore)

### **6) Meccanica Statistica Quantistica:**

Microstati e macrostati quantistici. Insieme di microstati. Matrice densità. Medie di insieme. Postulato delle fasi random. Postulato delle uguali probabilità a priori. Teorema di Liouville. Insieme microcanonico. Terzo principio della termodinamica. Insieme canonico. Insieme grancanonico. Matrici densità per particella libera e oscillatori armonici in una dimensione. Particelle identiche: bosoni e fermioni. Matrici densità in rappresentazione delle coordinate per bosoni e fermioni liberi. Coefficienti del viriale. Insieme grancanonico: termodinamica di gas quantistici di bosoni e fermioni. Gas di Fermi degenerare. Energia, temperatura e pressione di Fermi. Gas di bosoni degenerare. Termodinamica. Condensazione di Bose-Einstein. Equazione di Clausius-Klapeyron per la condensazione.  $\text{He}^4$  superfluido: descrizione fenomenologica. (10 ore)

**Esame:** consiste in un colloquio orale.

### **Testi consigliati**

K. Huang, *Statistical Mechanics*, J. Wiley, New York, 1987;  
F. Reif, *Fundamentals of Statistical and Thermal Physics*, McGraw-Hill, Singapore, 1965;  
L. D. Landau, E. M. Lifshits, L. P. Pitaevskij, *Fisica Statistica*, Fisica Teorica Vol. 5, Editori Riuniti, 1977;  
R. P. Feynman, *Statistical Mechanics, A Set of Lectures*, Addison Wesley, Reading, 1972.  
W. Greiner, L. Neise, H. Stöcker, *Thermodynamics and Statistical Mechanics*, Springer, Berlin, 2000.

## FISICA TEORICA II

<b>Periodo didattico :</b>	<b>I semestre</b>
<b>CFU:</b>	<b>6</b>
<b>Ambito disciplinare:</b>	<b>FIS/02</b>
<b>Attività formativa:</b>	<b>B (Ambito Teorico e dei Fondamenti della Fisica) B (Ambiti aggregati di sede)</b>
<b>Docente:</b>	<b>Prof. P. Sodano</b>
<b>Curriculum</b>	<b>Fisica Teorica</b>
<b>Programma:</b>	

Descrizione: Il corso si propone di introdurre gli studenti allo uso delle tecniche funzionali della moderna Fisica Teorica ed alla loro applicazione allo studio dei fenomeni critici in teorie di campo.

- 1) 1) *Cenni sulla Teoria dei Fenomeni Critici*: Descrizione qualitativa dei fenomeni critici, Hamiltoniana di Ginzburg-Landau, Teoria di Landau delle transizioni di fase, funzioni di correlazione, Teorie di campo medio.
- 2) 2) *Metodi Funzionali*: Integrale sui cammini in meccanica quantistica e teoria di campo, Quantizzazione funzionale di campi scalari, Funzioni di correlazione, regole di Feynman per il calcolo delle funzioni di correlazione, Funzionale generatore delle funzioni di correlazione, Analogia tra teoria dei campi e meccanica statistica, Quantizzazione funzionale delle teorie di gauge e delle teorie di campo fermioniche.
- 3) 3) *Metodi perturbativi e rinormalizzazione*: Espansione perturbativa delle funzioni di correlazione, Rinormalizzazione, Equazioni di Callan-Symanzik e gruppo di rinormalizzazione, Calcolo di esponenti critici e della funzione beta in modelli semplici.
- 4) 4) *Funzioni di Green* : Formalismo generale ed esempi tratti dallo studio della QED e QCD.

*Testi Consigliati*: M. Le Bellac, Quantum and Statistical Field Theory, Oxford Science Publications, 1995. M. Peskin, D.V. Schroder, An Introduction to Quantum Field Theory, Addison-Wesley, 1995



## **TEORIA DELLA DIFFUSIONE E DEI SISTEMI A MULTICORPI II**

<b>Periodo didattico :</b>	<b>I semestre</b>
<b>CFU:</b>	<b>6</b>
<b>Ambito disciplinare:</b>	<b>FIS/02</b>
<b>Attività formativa:</b>	<b>B (Ambito Teorico e dei Fondamenti della Fisica) B (Ambiti aggregati di sede)</b>
<b>Docente:</b>	<b>Prof. C. Ciofi degli Atti</b>
<b>Curriculum</b>	<b>Fisica Teorica</b>
<b>Programma:</b>	

Contattare il docente

## TEORIA QUANTISTICA DEI CAMPI

**Periodo didattico :** I semestre  
**CFU:** 6  
**Ambito disciplinare:** FIS/02  
**Attività formativa:** B (Ambito Teorico e dei Fondamenti della Fisica)  
B (Ambiti aggregati di sede)  
**Docente:** Prof. G. Grignani  
**Curriculum** Fisica Teorica

### **Programma:**

il corso si articola in 48 ore di cui 36 di lezioni e 12 di esercitazioni per un totale di 6 CFU; verranno trattati i seguenti argomenti

### **1) Magnetismo**

Magnetismo in meccanica statistica classica: teorema di van Leeuwen. Magnetismo in meccanica statistica quantistica. Calcolo delle suscettività atomiche: formulazione generale, suscettività diamagnetica di Larmor, paramagnetismo atomico. Suscettività del gas di elettroni: paramagnetismo di Pauli, livelli di Landau, diamagnetismo di Landau, contributo degli elettroni al calore specifico di un solido a basse temperature. Ferromagnetismo, descrizione fenomenologica. Modelli per il ferromagnetismo e l'antiferromagnetismo, dall'interazione Coulombiana al modello di Heisenberg. (10 ore)

### **2) Modelli di spin**

Onde di spin nel modello di Heisenberg. Dal modello di Heisenberg al modello di Ising. Modello di Ising unidimensionale: soluzione esatta con e senza campo magnetico, condizioni al contorno libere o periodiche. Matrice trasferimento. Funzioni di correlazione. Lunghezza di correlazione, calcolo esatto nel modello di Ising unidimensionale. (10 ore)

### **3) Teoria di campo medio**

Teoria di campo medio di Weiss. Modello di Ising. Transizione di fase nel modello di Ising.

Definizione degli indici critici di una transizione di fase. Calcolo degli indici critici per il modello di Ising. Equazione di van der Waals come teoria di campo medio di un fluido. Equazione degli stati corrispondenti. Calcolo degli indici critici per un gas di van der Waals. Analogie con il caso del ferromagnete. Universalità. Validità della teoria di campo medio.

Funzioni di correlazione: indici critici. (8 ore)

### **4) 4) Teoria di Landau**

Classificazione delle transizioni di fase. Parametri d'ordine. Teoria fenomenologica di Landau per ferromagneti e gas reali. Energia libera di Landau definizione e proprietà. Sistemi inomogenei, energia libera di Landau. Procedura di coarse-graining. Funzione di partizione come path-integral sul parametro d'ordine della

energia libera di Landau. Proprietà del path-integral. Teoria della risposta lineare. Regola di somma statica per la suscettività magnetica.

Calcolo della funzione di correlazione a due punti. Proprietà significato fisico e indici critici.

Validità della teoria di Landau: criterio di Ginzburg. (10 ore)

### **5) 5) Cenni sul gruppo di rinormalizzazione**

Oltre la teoria di Landau: approssimazione Gaussiana. Indici critici: disuguaglianze termodinamiche e identità sperimentali. Trasformazioni del gruppo di rinormalizzazione. Punti fissi. Flusso verso e dal punto fisso. Operatori rilevanti, irrilevanti e marginali. Superficie critica, universalità. Scaling ed esponenti critici.

Gruppo di rinormalizzazione per il modello di Ising unidimensionale. (10 ore)

### **Testi consigliati**

K. Huang, *Statistical Mechanics*, J. Wiley, New York, 1987;

S. K. Ma, *Statistical Mechanics*, World Scientific, Singapore, 1985;

J. M. Yeomans, *Statistical Mechanics of Phase Transition*, Oxford Science 1992;

N. Goldenfeld, *Lectures on Phase Transitions and the Renormalization Group*; Addison Wesley, Reading, MA 1992;

M. Le Bellac, *Quantum and Statistical Field Theory*, Oxford Science 1991;

N. W. Ashcroft, N. D. Mermin, *Solid State Physics*, Saunders College Publishing 1976.

# INTRODUZIONE ALLA FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI

<b>Periodo didattico :</b>	<b>Il semestre</b>
<b>CFU:</b>	<b>6</b>
<b>Ambito disciplinare:</b>	<b>FIS/04</b>
<b>Attività formativa:</b>	<b>B (Ambito Microfisico e della struttura della materia)</b>
	<b>B (Ambiti aggregati di sede)</b>
<b>Docente:</b>	<b>Prof. I. Peruzzi</b>
<b>Curriculum</b>	<b>Fisica delle Particelle Elementari</b>

## **Programma:**

il corso si articola in 48 ore . *Introduzione.*

L'introduzione è fatta utilizzando strumenti elementari (elementi di meccanica quantistica non relativistica, equazione di Schroedinger, elementi di meccanica analitica). I grafici di Feynman sono introdotti in modo euristico in riferimento al trattamento di particelle senza spin. Si dà solo una breve introduzione alla meccanica quantistica relativistica (equazione di Dirac, diffusione)

Il corso può quindi essere seguito anche da studenti del III anno del corso di laurea triennale che intendono acquisire elementi di fisica delle particelle in vista della scelta del curriculum per la laurea specialistica o che avendo già deciso per un curriculum in fisica teoria o struttura della materia desiderano comunque avere alcune nozioni sulla fisica delle particelle elementari.

## *Argomenti trattati:*

Introduzione storica. Relatività e meccanica quantistica. Principio di indeterminazione, scale di energia e di distanza (Griffiths cap. I).

Cenni storici: esperimento di Geiger-Marsden e struttura atomica. Il neutrone ed i nuclei. Il fotone. Lo spin di elettroni e nucleoni, cenno al problema della funzione d'onda per particelle con spin ed alla equazione di Dirac. Antiparticelle, crossing symmetry. (Griffiths 1.2, 1.4)

Cenno alla teoria di Yukawa delle interazioni forti. Raggio delle forze nucleari e massa del pione. (Perkins 1.5.1, 1.5.2) Scoperta dei mesoni  $\mu$  e  $\pi$ . L'ipotesi del neutrino nei decadimenti beta. Conservazione del numero leptonico. L'esperimento dei due neutrini (Griffiths 1.5) Classificazione delle particelle in multipletti di SU(3), il modello a quarks (Griffiths 1.7, 1.8)

Le forze tra particelle elementari, stime di ordini di grandezza (Lee 8.1-8.5) Introduzione ai grafici di Feynman per QED, vertici e propagatore, conservazione dell'energia e particelle virtuali. Introduzione ai grafici di Feynman per QCD, difficoltà del trattamento perturbativo (Griffiths 2.1-2.3), cenno ai calcoli sul reticolo per le masse degli adroni. Cenno alle correzioni radiative ed alla polarizzazione del vuoto per QED

(Griffiths 2.3), Comportamento antischerma di QCD e la variazione di  $\alpha$  strong con la distanza (Lee 17.2-17.4)

Grafici di Feynman per le interazioni deboli. Matrice di CKM. Decadimenti e leggi di conservazione. Cenno agli schemi di unificazione (Griffiths 2.4-2.6)

Riepilogo di relatività: trasformazioni speciali di Lorentz. Conseguenze: dilatazione dei tempi e vita media dei  $\mu$ , contrazione delle lunghezze, composizione delle velocità. Notazione matriciale. Cenno al gruppo di Lorentz. Notazione quadridimensionale, vettori contravarianti e covarianti, tensore metrico, invarianti, prodotto scalare, quadri-velocità, quadri-impulso, energia relativistica. (Griffiths 3.1-3.3)

Sistemi del laboratorio e del centro di massa. Decadimento a due corpi. Soglia di una reazione.  $Q$  di una reazione. Anelli di accumulazione. Variabili di Mandelstam e crossing.

(Griffiths 3.4, 3.5 ed esercizi del capitolo)

Gruppi di simmetria. Simmetria e leggi di conservazione. (Griffiths 4.1, Perkins 3.1, 3.2). Definizione di gruppo, rappresentazioni riducibili ed irriducibili. Relazione di equivalenza per elementi coniugati (Jones 1.1, 1.2, 2.1-2.4, 3.1-3.3). Il gruppo delle rotazioni nel piano, rotazione in coordinate sferiche (6.1). Definizione di gruppi ortogonali ed unitari normali e speciali. (Griffiths 4.1). Proprietà dei generatori (hermitiani ed a traccia nulla). Il gruppo delle rotazioni e la terza componente del momento angolare. Generatori delle rotazioni ed operatori di momento angolare. Richiamo sul momento angolare in MQ, operatori di abbassamento ed innalzamento, composizione dei momenti angolari, coefficienti di Clebsch-Gordan (Perkins C1, Griffiths 4.3)

Relazioni di commutazione tra generatori. Algebra di Lie, rappresentazioni dell'algebra di Lie. Rotazioni attorno ad una ass qualunque. (Jones 6.2)

$SU(2)$  e matrici di Pauli. Rotazione degli spinori. Relazione tra  $SU(2)$  ed  $O(3)$ . (Jones 8.1, Griffiths 4.3 ed esercizi del capitolo)

Invarianza del tensore antisimmetrico di Levi Civita per rappresentazione spinoriale. Equivalenza delle rappresentazioni due e due barrate. Tabelle di Young e decomposizione dei prodotti tensoriali in  $SU(2)$  (Jones 8.2, Grenier ?).  $SU(3)$  e decomposizione dei prodotti tensoriali, rappresentazioni irriducibili e tabelle di Young (Jones 8.3)

Conservazione dello spin isotopico nelle interazioni forti e sue conseguenze, la risonanza  $\Delta$  (Griffiths 4.5), stati instabili e lorentziana (Perkins 4.8). Conservazione della Parità nelle interazioni forti ed elettromagnetiche, non conservazione della parità nelle interazioni deboli, elicità del neutrino, cenno alla struttura della corrente debole carica ed alla teoria di Fermi delle interazioni deboli (Griffiths 4.6, Perkins 3.3-3.5, 3.6.2, 7.4, 7.5)

Invarianza per coniugazione di carica delle interazioni forti ed elettromagnetiche (Perkins 3.8, 3.9, 3.11) Cenno al teorema CPT con discussione sulla sua possibile violazione. Invarianza per inversione temporale e sua possibile violazione (Perkins 3.12, 3.14, Griffiths 4.9) Violazione di CP nel decadimento del  $K^0$ , esperimento di Fitch e Cronin (Perkins 7.14, 7.14.3)

Cenno alla violazione diretta ed indiretta di CP.

Riassunto delle proprietà dell'atomo di idrogeno e dei sistemi idrogenoidi, modello a stringa degli adroni e ricorrenze di regge degli stati adronici, gli stati di quarkonio ed il potenziale delle interazioni forti (Green 1.1, 1.4 per le parti rilevanti gli argomenti sopra descritti).

I mesoni leggeri, composizione e masse. I barioni, composizione e masse. I momenti magnetici dei barioni nel modello con tre quarks liberi. (Griffiths 5.8, 5.9.

Equazione di Klein-Gordon: corrente, soluzioni in onda piana. Cenno alla equazione di Dirac ed alle correnti. Interpretazione di Feynman degli stati ad energia negativa. Diffusione elettromagnetica di bosoni carichi senza spin (appunti)

Il propagatore. Calcolo della sezione d'urto per il processo  $1+2 \rightarrow 3+4$  nel CM. La diffusione elastica per particelle senza spin in termine di variabili di Mandelstam. (appunti)

La formula per la diffusione  $e\bar{e}$ . Conservazione dell'elicità. Distribuzione angolare per la diffusione  $e\bar{e}$  nel laboratorio. Diffusione su nucleoni e fattori di forma. Distribuzione profondamente anelastica (appunti). Invarianza di scala di Bjorken e partoni. Spin dei partoni. (appunti)

Funzioni di struttura. Annichilazione elettrone positrone in coppie di mu ed in adroni. Getti di particelle e frammentazione. Processo di Drell-Yan. Collisione protone protone ad alte energie. Cenno alla deviazione dall'invarianza di scala. (appunti)

Decadimento beta e massa del neutrino. Angolo di Cabibbo. Determinazione angolo di cabibbo. Meccanismo GIM. Matrice CKM. Triangolo di unitarietà. Violazione di CP ed elementi della matrice CKM (appunti)

Introduzione al modello standard. Rinormalizzabilità della QED. Invarianza di gauge di QED. Invarianza di gauge.  $SU(2) \times U(1)$ . L'interazione elettrodebole. Angolo di Weinberg (appunti).

Rottura spontanea di una simmetria. Meccanismo di Higgs. Massa del bosone di Higgs e delle particelle elementari per il meccanismo di Higgs. Ricerche sperimentali. (appunti). Problemi del modello standard. La stabilità delle masse. Cenno alle possibili soluzioni. Cenno alla supersimmetria. Cenno alla inflazione (appunti)

Grande unificazione. La massa dei neutrini. Ricerche sperimentali (appunti)

### *Bibliografia*

-David Griffiths: Introduction to Elementary Particles – John Wiley & Sons 1987  
(è il testo principale di riferimento)

-Donald H. Perkins: Introduction to High Energy Physics third Edition Addison Wesley Publishing Company 1987 (esiste una quarta edizione della Cambridge University Press)

con un trattamento meno esteso della fisica delle particelle ma con l'inclusione di un capitolo dedicato espressamente alla fisica oltre il modello standard ed uno dedicato alla cosmologia)

- Dan Green: Lectures in Particle Physics World Scientific 1994

- T.D: Lee Particle Physics and Introduction to Field Theory Harwood Academic publisher 1981

- I.J.R: Aitchison & A.J.C. Hey: Gauge Theories in Particle Physics first edition Institute of Physics Publishing Bristol and Philadelphia 1987 (caratterizzato dalla scelta di non utilizzare la seconda quantizzazione. Esiste una seconda edizione con una sintetica ed efficace introduzione alla teoria quantizzata dei campi)

- H.F: Jones: Groups Representation and Physics IOP 1994

Ad un livello leggermente più elementare del libro di Griffiths:

- - I.R. Kenyon: Elementary Particle Physics Rutledge&Keagan Paul 1987

Ad un livello un poco superiore:

F. Halzen, A.D. Martin: Quarks&Leptons: An Introductory Course in Modern Particle Physics John Wiley & Sons 1984

## **COSMOLOGIA E ASTROPARTICELLE**

<b>Periodo didattico :</b>	<b>I semestre</b>
<b>CFU:</b>	<b>6</b>
<b>Ambito disciplinare:</b>	<b>FIS/04</b>
<b>Attività formativa:</b>	<b>B (Ambito Sperimentale-Applicativo) B (Ambiti aggregati di sede)</b>
<b>Docente:</b>	<b>Prof. B. Bertucci</b>
<b>Curriculum</b>	<b>Fisica delle Particelle Elementari</b>

### **Programma:**

#### **La cosmologia standard (Big Bang) :**

Equazioni dinamiche dell'universo: la metrica di Friedmann-Robertson-Walker, l'equazione di Friedmann, l'universo piatto, chiuso, aperto. I parametri cosmologici, definizione ed osservazioni sperimentali: la costante di Hubble, la densità di materia e la pressione di radiazione, la costante cosmologica.

I processi fisici nell'universo primordiale, l'equilibrio termico e la rottura dell'equilibrio. L'equazione di Saha. I neutrini nell'universo. La rottura delle simmetrie C e CP. La bariogenesi. La nucleosintesi primordiale. La radiazione cosmica di fondo. L'età dell'universo.

#### **L'universo inflazionario:**

Il problema dell'isotropia, dell'orizzonte e della causalità. La dinamica dei campi scalari nell'universo. L'anisotropia nella radiazione cosmica di fondo.

#### **La materia oscura**

Necessità teorica ed evidenze sperimentali. Materia oscura barionica: metodi sperimentali per la ricerca di materia oscura barionica. Materia oscura non-barionica: calda e fredda. Materia oscura e modelli non-standard delle particelle elementari. Metodi sperimentali per la ricerca di materia oscura non barionica.

#### **Neutrini**

I neutrini: Meccanismi di produzione. Interazione con la materia. Neutrini stellari. Oscillazione di neutrini solari. I neutrini dalle Supernovae. L'oscillazione dei neutrini atmosferici. I rivelatori di neutrini cosmici.

#### **Libri di riferimento:**

An Introduction to Modern Cosmology, Andrew Liddle, Wiley & Sons, 1999  
Cosmology and Particle Astrophysics, L.Bergstrom & A.Gobar, Wiley, 1999



# **FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI**

<b>Periodo didattico :</b>	<b>I semestre</b>
<b>CFU:</b>	<b>6</b>
<b>Ambito disciplinare:</b>	<b>FIS/04</b>
<b>Attività formativa:</b>	<b>B (Ambito Sperimentale-Applicativo)</b> <b>B (Ambiti aggregati di sede)</b>
<b>Docente:</b>	<b>Dott. C. Cecchi</b>
<b>Curriculum</b>	<b>Fisica delle Particelle Elementari</b>

## **Programma:**

- ~ Equazione di Dirac.
- ~ Regole di Feynman.
- ~ Richiami a sezioni d'urto e decay rate.
- ~ Elettrodinamica Quantistica. Scattering  $e^+e^-$  in QED.
- ~ Scattering elettrone-protone. Deep inelastic scattering.
- ~ SU(2) e SU(3). Cromodinamica Quantistica.
- ~ Interazioni deboli. Decadimento del muone.
- ~ Violazione di CP. Teorie di Gauge e unificazione elettrodebole
- ~ I bosoni W e Z. Il bosone di Higgs.
- ~ Oscillazione di neutrini. Oltre il Modello Standard.

## **Testi:**

Griffiths, Introduction to elementary particles (cap 6-11)  
Halzen Martin, Quarks and Leptons  
Aitchison Hey, Teorie di Gauge

## LABORATORIO DI FISICA SUBNUCLEARE I

<b>Periodo didattico :</b>	<b>II semestre</b>
<b>CFU:</b>	<b>6</b>
<b>Ambito disciplinare:</b>	<b>FIS/01</b>
<b>Attività formativa:</b>	<b>B (Ambito Sperimentale-Applicativo)</b> <b>B (Ambiti aggregati di sede)</b>
<b>Docente:</b>	<b>Prof. P. Lubrano – Dott. G. Ambrosi</b>
<b>Curriculum</b>	<b>Fisica delle Particelle Elementari</b>

### **Programma:**

Il corso è articolato in un breve ciclo di lezioni mirate a fornire le nozioni necessarie allo svolgimento delle esercitazioni di laboratorio.

Argomenti trattati nelle lezioni: Uso di: oscillografo digitale, contatori, multicanale. Fotomoltiplicatore. Discriminatore. Cavi coassiali. Circuiti logici. Standard dell'elettronica logica nucleare: NIM, ECL. Convertitori analogico-digitali (ADC) e tempo-digitali (TDC). Registri di ingresso e di uscita. Contatori. Standard dei sistemi di acquisizione dati: CAMAC e VME. Software per la acquisizione dei dati. Il linguaggio grafico di programmazione "Labview".

Strumenti per lo sviluppo di programmi in ambiente UNIX. Simulazione Monte-Carlo. Tecniche di analisi dei dati. Istogrammi mono e multi-dimensionali. Confronto di istogrammi con previsioni teoriche mediante test di "goodness of fit". Stime di parametri col metodo dei minimi quadrati e della "maximum likelihood".

**Esercitazioni:** Funzionamento del discriminatore e di semplici circuiti logici. Studio del guadagno di un fotomoltiplicatore. Introduzione all'uso di "Labview". Sviluppo di un programma di acquisizione dati con "Labview". Calibrazione di un convertitore analogico-digitale. Simulazione del decadimento di una particella con il metodo Monte-Carlo Determinazione della vita media del decadimento di una particella su dati simulati.

**Esame:** viene di norma effettuato alla fine del corso e consiste nella discussione orale delle relazioni scritte sugli esperimenti svolti. A discrezione della commissione può essere richiesta una prova pratica.

Testi consigliati:

W.R. Leo, Techniques for nuclear and particle physics experiments. A how-to approach, Springer-Verlag 1994

G.D. Cowan, Statistical data analysis, Oxford University Press 1998 (?)

L.Sokoloff, Basic concepts of Labview 4, Prentice Hall 1998 (?)

## **LABORATORIO DI FISICA SUBNUCLEARE II**

**Periodo didattico :** I semestre  
**CFU:** 6  
**Ambito disciplinare:** FIS/01  
**Attività formativa:** B (Ambito Sperimentale-Applicativo)  
B (Ambiti aggregati di sede)  
**Docente:** Prof. P. Lubrano – Dott. G. Ambrosi  
**Curriculum** Fisica delle Particelle Elementari

### **Programma:**

Contattare i docenti

## **ESPERIMENTI DI FISICA DELLE ALTE ENERGIE**

**Periodo didattico :** Il semestre  
**CFU:** 6  
**Ambito disciplinare:** FIS/04  
**Attività formativa:** B (Ambito Microfisico e della struttura della materia)  
B (Ambiti aggregati di sede)  
**Docente:** Prof. M. Valdata  
**Curriculum** Fisica delle Particelle Elementari  
**Prerequisiti:** Rivelatori per la Fisica delle Alte Energie, elementi base della fisica delle particelle elementari, elementi base di statistica.  
**Programma:**

- Selezione e filtraggio dei dati in tempo reale.(12 ore)
  - definizione di trigger e filtri e cenni di elettronica
  - schemi di triggers
  - classificazione di triggers
  - esempi di triggers
  - linee di comunicazione e sistemi a bus.
- Pattern recognition.(14 ore)
  - principi della pattern recognition
  - metodi per la ricerca delle tracce
  - stima dei parametri della traccia
  - fit di tracce di particelle cariche
  - associazione di tracce al vertice
- Analisi di uno o piu' esperimenti di fisica delle particelle (22 ore)
  - o Motivazione fisica
  - o Richieste per l'apparato
  - o Progetto dell'apparato
  - o Elettronica , trigger ed acquisizione dati
  - o Operazione di un rivelatore: monitoring e calibrazioni.
  - o Dai raw data ai risultati di fisica.

### **Testi :**

*Data Analysis Techniques for High Energy Physics.* R. Fruhwirth, M.Regler, R.K.Bock, H.Grote, D. Notz (Cambridge Monographs on Particle Physics, Nuclear Physics and Cosmology- Cambridge University Press)

Altre referenze saranno fornite durante il corso, almeno per quanto riguarda l'analisi di esperimenti di fisica delle particelle.

**Esame :** l'esame consiste nella discussione di una tesina concernente un esperimento di fisica delle alte energie.

## **FISICA DELLA MATERIA II**

<b>Periodo didattico :</b>	<b>II semestre</b>
<b>CFU:</b>	<b>6</b>
<b>Ambito disciplinare:</b>	<b>FIS/03</b>
<b>Attività formativa:</b>	<b>B (Ambito Microfisica e Struttura della Materia)</b> <b>B (Ambiti aggregati di sede)</b>
<b>Docente:</b>	<b>Prof. Paciaroni</b>
<b>Curriculum</b>	<b>Fisica della Materia</b>
<b>Programma:</b>	

- - Interazione dei neutroni con la materia, concetto di sezione d'urto e pseudopotenziale di Fermi.
- - Espressione generale per la sezione d'urto nell'approssimazione di Born.
- - Scattering elastico ed anelastico. Scattering coerente ed incoerente.
- - Il neutrone come sonda per lo studio delle proprietà strutturali e dinamiche della materia. Finestra spazio-temporale accessibile.
- - Sorgenti di neutroni a fissione e spallazione. Caratteristiche generali delle sorgenti a fissione. Caratteristiche generali delle sorgenti a spallazione.
- - Guide di neutroni. Monocromatori.
- - Rivelatori di neutroni. Layout di un tipico spettrometro.
- - Studio di proprietà strutturali:
  - o o Diffrattometri a 2-4 assi;
  - o o Small-angle scattering.
- - Applicazione su biomolecole e sistemi colloidali.
- - Studio di proprietà dinamiche:
  - o o Spettrometri triplo asse;
  - o o Spettrometri a tempo di volo;
  - o o Spettrometri backscattering.
- - Applicazione su liquidi, sistemi micellari e biomolecole.

**Esame:** consiste in un colloquio orale.

**Libri di testo:** verranno consigliati dal docente.

## LABORATORIO DI FISICA DELLA MATERIA I

<b>Periodo didattico :</b>	<b>Il semestre</b>
<b>CFU:</b>	<b>6</b>
<b>Ambito disciplinare:</b>	<b>FIS/01</b>
<b>Attività formativa:</b>	<b>B (Ambito Sperimentale-Applicativo)</b> <b>B (Ambiti aggregati di sede)</b>
<b>Docente:</b>	
<b>Curriculum</b>	<b>Fisica della Materia</b>

### **Programma:**

Contattare il docente

**Esercitazioni:** Saranno svolte da ogni studente circa 5 esperienze riguardanti gli argomenti presentati .

**Esame:** viene di norma effettuato alla fine del corso e consiste nella discussione orale delle relazioni scritte sugli esperimenti svolti. A discrezione della commissione può essere richiesta una prova pratica.

## LABORATORIO DI FISICA DELLA MATERIA II

**Periodo didattico :** I semestre  
**CFU:** 6  
**Ambito disciplinare:** FIS/01  
**Attività formativa:** B (Ambito Sperimentale-Applicativo)  
B (Ambiti aggregati di sede)  
**Docente:**  
**Curriculum** Fisica della Materia

### **Programma:**

Contattare il docente

**Esercitazioni:** Saranno svolte da ogni studente circa 3 esperienze riguardanti gli argomenti presentati .

**Esame:** viene di norma effettuato alla fine del corso e consiste nella discussione orale delle relazioni scritte sugli esperimenti svolti.

## **FISICA DELLO STATO SOLIDO I**

**Periodo didattico :** Il semestre

**CFU:** 6

**Ambito disciplinare:** FIS/03

**Attività formativa:** B (Ambito Sperimentale-Applicativo)

B (Ambiti aggregati di sede)

**Docente:** Dott. A. Orecchini

**Curriculum** Fisica della Materia

**Programma:**

Rivolgersi al docente



## **FISICA DELLO STATO SOLIDO II**

**Periodo didattico :** I semestre  
**CFU:** 6  
**Ambito disciplinare:** FIS/03  
**Attività formativa:** B (Ambito Sperimentale-Applicativo)  
B (Ambiti aggregati di sede)  
**Docente:** Prof. C. Petrillo  
**Curriculum** Fisica della Materia

**Programma:**  
Rivolgersi al docente

# ASTROFISICA

<b>Periodo didattico :</b>	<b>II semestre</b>
<b>CFU:</b>	<b>6</b>
<b>Ambito disciplinare:</b>	<b>FIS/05</b>
<b>Attività formativa:</b>	<b>B (Ambiti aggregati di sede)</b>
<b>Docenti:</b>	<b>Prof. R. Busso</b>
<b>Curriculum</b>	<b>Fisica delle Particelle Elementari</b>

## **Programma:**

il corso si articola in 48 ore di lezioni. Verranno trattati i seguenti argomenti

### **1. Astrofisica stellare osservativa (10 ore)**

Le osservazioni stellari e la misura delle distanze. Parallassi trigonometriche, spettroscopiche, statistiche. Stelle variabili e calibratori di distanza: le cefeidi. Distanze da esplosioni stellari: prima introduzione alle supernovae. Classificazioni stellari mono- e bi-parametriche. Diagramma di H-R. Diagrammi colore-colore. Calibrazioni della temperatura e temperatura efficace. Modelli di atmosfera stellare. Opacità e processi atomici e molecolari nelle atmosfere. Cenni sul trasporto radiativo. Attività stellare e campi magnetici. Cicli solari e vento solare. Spettroscopia e misura di abbondanze di elementi chimici. Popolazioni stellari. Ammassi stellari. Funzione Iniziale di Massa. Le nane brune e i sistemi planetari extrasolari. Tecniche di rivelazione ad alta risoluzione.

### **2. Fisica delle Stelle [e richiami di fisica generale] (10 ore)**

Probabilità degli stati di un sistema di particelle. Equazioni di Saha e di Boltzmann. Statistiche di Maxwell, Bose-Einstein e Fermi-Dirac. Materia ad alta densità: la degenerazione elettronica. Richiami di termodinamica con applicazioni alla materia stellare. Teorema del viriale. Equazioni dell'equilibrio di una struttura stellare. Soluzioni politropiche. L'importanza della radiazione: equilibrio radiativi e pressione di radiazione. Equazioni di stato per materia degenera. Equilibrio di strutture degeneri e massa di Chandrasekhar. Interazioni elettro-debole e forte: le forze nucleari agenti nelle stelle. Energia di legame e distribuzione degli elementi. Abbondanze chimiche nel sistema solare e in altri ambienti galattici. Abbondanze in oggetti ad alto redshift.

### **3. Reazioni nucleari nelle stelle e loro probabilità (8 ore)**

Sezioni d'urto e tassi di reazione. Vari tipi di reazione in condizioni stellari: il picco di Gamow. Reazioni di bruciamento dell'idrogeno nel Sole. Esperimenti per la misura delle sezioni d'urto in condizioni solari: l'esperimento LUNA. Problemi legati alle interazioni deboli e la vita media del neutrone. Neutrini solari ed esperimenti ad essi legati. Cenni sulle oscillazioni neutriniche. Bruciamento dell'idrogeno in fasi avanzate. Produzione dell' $^{26}\text{Al}$ . Misura dell' $^{26}\text{Al}$ . Radioattività fossili e problemi di datazione. Bruciamento dell' $^4\text{He}$  e innesco di reazioni nucleari in condizioni degeneri (*He-flash*). Reazioni tra ioni ad alta carica ( $Z > 2$ ) in stelle massicce. Evoluzione e generazione di energia nelle stelle in fasi idrostatiche. Processi di cattura neutronica e loro classificazione (*r-process* e *s-process*). Nucleosintesi da catture neutroniche in stelle di diversa massa. Esperimenti per la misura di sezioni d'urto di cattura neutronica.

### **4. Nucleosintesi esplosiva e nucleosintesi non-stellare (8 ore)**

Richiami sui modelli cosmologici standard. Nucleosintesi cosmologica. Le abbondanze degli elementi leggeri e la loro evoluzione. Il contributo (positivo e negativo) delle stelle e il meccanismo di Cameron-Fowler. Raggi cosmici. Il modello "leaky-box". Raggi cosmici galattici e non: il vento solare e il suo contributo. Reazioni di spallazione nei raggi cosmici e il problema delle anomalie di Ne e Xe. Componenti di Ne e Xe anomali: distinzione tra contributi di spallazione e stellare. Nucleosintesi esplosiva in supernovae. Nucleosintesi nelle stelle *novae* e loro interpretazione fisica. Ipotesi attuali sulle origini dei vari tipi di supernova. Supernovae come 'standard candles'. Criteri stellari e nucleari per la stima dell'età dell'Universo.

### **5. Astrofisica extragalattica (Modulo tenuto dal dott. Tosti: 12 ore)**

Struttura generale e rotazione della via Lattea. Le leggi di Oort e le dimensioni del sistema. Morfologia e classificazione delle galassie dei diversi tipi. Caratteristiche fisiche e componenti principali: popolazioni stellari, fasi calde e fredde del mezzo interstellare, polveri. Tecniche di osservazione dell'astrofisica extragalattica: grandi telescopi terrestri e strumenti spaziali. Fisica ed evoluzione delle galassie di diverso tipo. Formazione stellare nelle galassie. Ammassi di galassie. Galassie peculiari e galassie attive. I vari tipi di galassie attive e le loro manifestazioni osservative. Strategie di osservazione da Terra e dallo Spazio. Cenni sui progetti presenti e futuri dedicati. Morfologia e fisica dell'attività nucleare. Cenni di fisica dei plasmi. Processi all'origine dell'energia emessa. Astrofisica extragalattica delle alte energie.

**Esame:** consiste in un colloquio orale.

**Testi consigliati:**

- 1) dispense del docente;
- 2) L. Gratton: Introduzione all'astrofisica (Zanichelli);
- 3) B. Pagel: Nucleosynthesis and Chemical Evolution of Galaxies (Cambridge Univ. Press).

# **ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE**

<b>Periodo didattico :</b>	<b>Il semestre</b>
<b>CFU:</b>	<b>6</b>
<b>Ambito disciplinare:</b>	<b>FIS/05</b>
<b>Attività formativa:</b>	<b>B (Ambiti aggregati di sede)</b>
<b>Docente:</b>	<b>Dott. E. Fiandrini (I modulo), da definire (II modulo)</b>
<b>Curriculum</b>	<b>Fisica delle Particelle Elementari</b>

## **Programma:**

- - Interazione delle particelle di alta energia con la materia: elettroni, adroni, fotoni.
- - Sorgenti di radiazione elettromagnetica nel cosmo.
- - Rivelatori ottici, X e gamma a terra.
- - Principali rivelatori ottici, X e gamma nello spazio.
- - I raggi cosmici loro creazione, accelerazione.
- - Composizione dei raggi cosmici.
- - Meccanismo di spallazione.
- - Confinamento dei raggi cosmici nella galassia.
- - Dinamica dei RC nel campo magnetico terrestre.
- - Rivelazione dei RC da terra.
- - Rivelazione dei RC nell' atmosfera e nello spazio.

**Esame:** consiste in un colloquio orale.

**Testo consigliato:** M. Longair High Energy Astrophysics Vol 1 e 2 ISBN 0-521-38773-6 e 0-521-43584-6

## **RIVELATORI A SEMICONDUTTORI**

<b>Periodo didattico :</b>	<b>Il semestre</b>
<b>CFU:</b>	<b>6</b>
<b>Ambito disciplinare:</b>	<b>FIS/04</b>
<b>Attività formativa:</b>	<b>B (Ambiti aggregati di sede)</b>
<b>Docente:</b>	<b>Prof. Santocchia</b>
<b>Curriculum</b>	<b>Fisica delle Particelle Elementari</b>

### **Programma:**

#### **1) La Fisica dei SemiConduttori**

I principi fisici dei Rivelatori a SemiConduttori:

Materiali; Struttura e Legami Atomici; La banda di energia; Drogaggio, Donori e Accettori. Trasporto della Carica. Corrente Drift-Diffusion. Processi di Generazione e Ricombinazione. Equazione di Continuità.

Giunzione p-n

Condizione di equilibrio termico; Zona svuotata; Larghezza di svuotamento e Campo elettrico;

Capacità di svuotamento; Caratteristiche Tensione-Corrente

Rivelatori a SemiConduttori

Ionizzazione; L'energia persa (Bethe-Block); Creazione di Coppie Elettrone-Lacuna; Fluttuazioni di Carica: il fattore di Fano; Risoluzione intrinseca; Raccolta di Carica; Carica Indotta; Rivelatori a Strip; Semiconductor Drift Chamber; Rivelatori a Pixel.

Danno da Radiazione

Il danno microscopico; effetti macroscopici sui rivelatori: Corrente di Fuga, Tensione di Svuotamento. Annealing. Modelli del Danno da Radiazione.

#### **2) Trattamento Elettronico del Segnale**

Acquisizione del Segnale

Architetture per il sistema di lettura dei dati: Charge-Sensitive Amplifier. Architetture per il sistema di controllo e distribuzione dei segnali di sincronizzazione dei rivelatori. Caratteristiche fondamentali di alcuni blocchi funzionali per i rivelatori a Micro-Strip: CR-RC Shaping.

Rapporto Segnale-Rumore

Origine del rumore e analisi delle varie fonti di rumore.

Il Danno da Radiazione nell'elettronica di Front-End

Danneggiamento prodotto dalle radiazioni sui circuiti elettronici: tecnologie resistenti alle radiazioni e tecnologie commerciali per i rivelatori a semiconduttori.

#### **3) I rivelatori di Tracce**

Il Trattamento del Segnale

Il Segnale. La partizione di carica. Il Cluster. La funzione di risposta et.

L'impatto dei Rivelatori a SemiConduttori sulla Fisica della Alte Energie

Il parametro d'impatto. Allineamento. Ricerca dei vertici primari e secondari. Misura di vita media.

Il rivelatore di tracce di CMS. Ricerca del Bosone di Higgs.

## FISICA ATOMICA

<b>Periodo didattico :</b>	<b>II semestre</b>
<b>CFU:</b>	<b>6</b>
<b>Ambito disciplinare:</b>	<b>FIS/03</b>
<b>Attività formativa:</b>	<b>B (Ambito Microfisico e di struttura della materia) B (Ambiti aggregati di sede)</b>
<b>Docente:</b>	<b>Prof. F. Pirani</b>
<b>Curriculum</b>	<b>Fisica della Materia</b>

**Programma: Introduzione generale ai contenuti del corso:** richiami sull'interazione fine negli atomi sul fattore di Landé. ore 2

**Atomo in un campo esterno:** effetto Zeeman ed effetto Paschen Back in un campo magnetico, effetto Stark in un campo elettrico; accoppiamento e disaccoppiamento dei momenti angolari elettronici in un campo magnetico esterno. ore 2

**Struttura iperfine nei livelli atomici:** spin nucleare e accoppiamento tra momenti angolari elettronici e nucleari. ore 2

**Selezione di stato con campi magnetici disomogenei:** richiami sull'esperimento di Stern-Gerlach; proprietà generali dei selettori magnetici di Rabi e di Rabi-Millan-Zacharias; metodo in trasmissione e metodo in deflessione. ore 3

**Comportamento di atomi con struttura iperfine in un campo magnetico esterno:** trattazione completa del caso  $J = \frac{1}{2}$  ed  $I$  qualunque; energie Zeeman e momenti magnetici in funzione del campo magnetico applicato; casi limite di accoppiamento dei momenti angolari. ore 5

**Natura e proprietà del potenziale di interazione:** potenziale di interazione in sistemi a guscio chiuso e in sistemi anisotropi, disaccoppiamento dei momenti angolari atomici nel campo elettrico interatomico o intermolecolare; potenziali adiabatici di interazione e diagrammi di correlazione tra stati atomici e stati molecolari. ore 4

**Introduzione alle tecniche sperimentali per lo studio di proprietà collisionali:** tecniche di produzione e controllo del vuoto, sistemi di pompaggio, misuratori di pressione, produzione e rivelazione dei fasci di particelle in fase gassosa. ore 2

**Fasci atomici e fasci molecolari:** fasci effusivi e distribuzione in velocità; fasci supersonici: termodinamica del processo di espansione, numero di Mach, velocità di flusso e distribuzione delle velocità; fasci seminati e loro applicazioni; effetti di rilassamento ed allineamento dei momenti angolari nella formazione ed espansione dei fasci seminati. ore 4

**Alcune applicazioni dei fasci:** cenno allo studio dei "clusters", rallentamento e confinamento di atomi con l'uso combinato di fasci "Laser" e fasci atomici, cenno alla condensazione di Bose-Einstein. ore 2

**Collisioni in meccanica classica:** richiami sui sistemi di riferimento nel laboratorio e nel centro di massa; diagrammi di Newton; collisioni ed osservabili sperimentali: sezione d'urto differenziale e totale; trattazione classica di processo collisionale da campo centrale: relazione tra potenziale di interazione e angolo di deflessione e discussione su alcune traiettorie particolari. ore 4

**Sezioni d'urto:** sezioni d'urto in meccanica classica e singolarità nel loro comportamento; richiami della trattazione quantistica del processo collisionale; onde parziali, ruolo e proprietà dello sfasamento della singola onda. ore 3

**Trattazione semiclassica del processo collisionale:** relazione tra sfasamento e traiettoria; sfasamento definito secondo varie approssimazioni (Jeffreys, Wentzel, Kramers, Brillouin (JWKB) e Jeffreys, Born (J B)); definizione di sezione d'urto nell'approssimazione semiclassica. ore 2

**Natura e proprietà degli effetti di interferenza quantomeccanica nelle collisioni:** fenomeni di diffrazione, arcobaleno ed aureola e loro dipendenza dal potenziale di interazione; scelta delle condizioni sperimentali per la misura di effetti di interferenza nelle collisioni: esempi di risultati sperimentali e discussione. ore 5

**Collisioni tra particelle identiche:** restrizioni imposte dalla simmetria del problema e oscillazioni di simmetria; effetti di risonanza dovuti al fenomeno della particella orbitante. ore 2

**Collisioni da potenziale anisotropo:** schemi approssimati di trattazione, esempi e loro discussione; importanza dell'uso di fasci atomici e fasci molecolari polarizzati nello studio delle proprietà e della dinamica collisionale da potenziale anisotropo. ore 4

**Accoppiamento dei momenti angolari in molecole ruotanti:** i cinque casi di Hund; parallelismo tra rotazione molecolare e collisione: livelli "orto" e "para" nelle molecole omonucleari. ore 2

**Esame:** l'esame consiste in una prova orale.

**Testo consigliato:** appunti delle lezioni

# SPETTROSCOPIA

<b>Periodo didattico :</b>	<b>II semestre</b>
<b>CFU:</b>	<b>6</b>
<b>Ambito disciplinare:</b>	<b>FIS/03</b>
<b>Attività formativa:</b>	<b>B (Ambito Microfisico e di struttura della materia)</b> <b>B (Ambiti aggregati di sede)</b>
<b>Docente:</b>	<b>Dott. A. Paciaroni</b>
<b>Curriculum</b>	<b>Fisica della Materia</b>

## Programma:

- - Introduzione alla spettroscopia di luce.
- - Spettroscopie di assorbimento, emissione e diffusione.
- - Tecniche sperimentali: principi di funzionamento e caratteristiche spettrali dei laser a gas e a stato solido; spettrometri basati sull'impiego del prisma, del reticolo di diffrazione e dell'interferometro di Fabry-Perot.
- - Risposta lineare: fenomenologia e approccio statistico.
- - Spettroscopia di assorbimento e spettroscopia Raman per lo studio dei moti vibrazionali e rotazionali delle molecole.
- - Diffusione anelastica della luce per lo studio di modi idrodinamici nei liquidi, di modi acustici nei solidi, di modi superficiali e guidati in film sottili.

**Esame:** l'esame consiste in un colloquio orale.

**Libri di testo:** verranno consigliati dal docente.



## **FISICA DEI MEZZI CONTINUI**

**Periodo didattico :** Il semestre  
**CFU:** 6  
**Ambito disciplinare:** FIS/03  
**Attività formativa:** B (Ambito Microfisico e di struttura della materia)  
B (Ambiti aggregati di sede)  
**Docente:** Prof. P. Diodati  
**Curriculum** Fisica della Materia

**Programma:**  
Contattare il docente