



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

<b>DIPARTIMENTO</b>	Fisica e Chimica - Emilio Segrè		
<b>ANNO ACCADEMICO OFFERTA</b>	2022/2023		
<b>ANNO ACCADEMICO EROGAZIONE</b>	2023/2024		
<b>CORSO DILAUREA MAGISTRALE</b>	FISICA		
<b>INSEGNAMENTO</b>	QUANTUM THERMODYNAMICS		
<b>CODICE INSEGNAMENTO</b>	22748		
<b>MODULI</b>	Si		
<b>NUMERO DI MODULI</b>	2		
<b>SETTORI SCIENTIFICO-DISCIPLINARI</b>	FIS/03		
<b>DOCENTE RESPONSABILE</b>	NAPOLI ANNA	Professore Associato	Univ. di PALERMO
<b>ALTRI DOCENTI</b>	MILITELLO BENEDETTO	Professore Associato	Univ. di PALERMO
	PATERNOSTRO MAURO	Professore Ordinario	Univ. di PALERMO
<b>CFU</b>	6		
<b>PROPEDEUTICITA'</b>			
<b>MUTUAZIONI</b>			
<b>ANNO DI CORSO</b>	2		
<b>PERIODO DELLE LEZIONI</b>	1° semestre		
<b>MODALITA' DI FREQUENZA</b>	Facoltativa		
<b>TIPO DI VALUTAZIONE</b>	Voto in trentesimi		
<b>ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI</b>	<b>MILITELLO BENEDETTO</b> Martedì 14:30 16:00 Stanza 122, Dip. Fisica e Chimica, Via Archirafi 36. Giovedì 14:30 16:00 Stanza 122, Dip. Fisica e Chimica, Via Archirafi 36. <b>NAPOLI ANNA</b> Lunedì 15:00 16:30 Dipartimento di Fisica e Chimica, stanza 122, Via Archirafi 36 Venerdì 14:30 16:00 Dipartimento di Fisica e Chimica, stanza 122, Via Archirafi 36		

**DOCENTE:** Prof.ssa ANNA NAPOLI

<b>PREREQUISITI</b>	<p>Gli studenti devono possedere conoscenze di fisica classica, di meccanica quantistica e di meccanica statistica. In particolare è opportuno che gli studenti conoscano i principi della termodinamica (classica), che sappiano descrivere coi metodi della meccanica quantistica semplici sistemi microscopici (particella libera, particella in un potenziale armonico, spin e sistemi a pochi livelli) e che conoscano concetti basilari della meccanica statistica quali spazio delle fasi, ergodicità, funzione di partizione, insiemi microcanonico, canonico e gran canonico. Gli studenti devono anche possedere sufficienti capacità di calcolo e in particolare devono saper lavorare con integrali multipli, derivate parziali e matrici.</p>
<b>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</b>	<p>Conoscenza e capacità di comprensione: Il Corso intende offrire agli studenti un percorso introduttivo di riflessioni sul legame tra meccanica quantistica e termodinamica. Il corso presenta idee e metodi in continuità con il grado di formazione raggiunto dagli studenti nel loro primo anno del corso di laurea magistrale in Fisica.</p> <p>Capacità di applicare conoscenza e comprensione: Le lezioni saranno strategicamente organizzate in modo da coinvolgere gli studenti in discussioni collettive mirate a un approfondimento di concetti quali, per esempio, entropia e temperatura. Particolare spazio sarà dedicato alla comprensione del ruolo giocato dall'entanglement nell'emergenza del comportamento termodinamico di sistemi bipartiti o multipartiti. Agli studenti sarà proposto un percorso volto a farli familiarizzare con gli aspetti quantitativi e qualitativi degli argomenti trattati nel corso, non tralasciando l'acquisizione di confidenza con la classe di problemi importanti e concettuali a tutt'oggi aperti e dibattuti nella letteratura riguardanti la termodinamica quantistica.</p> <p>Autonomia di giudizio: Lo studente sarà stimolato a rielaborare ciò che apprende in classe. Le finalità primarie sono l'addestramento alla comprensione dei problemi e la stimolazione all'individuazione di ulteriori problemi meritevoli di approfondimento o addirittura di essere proposti come problemi di ricerca.</p> <p>Abilità comunicative: Gli studenti dovranno acquisire la capacità di esporre in modo chiaro le problematiche discusse nell'ambito del corso. Per favorire l'acquisizione di tale capacità, la classe sarà sistematicamente invitata a dibattere sul significato e sulla risoluzione di quesiti strategicamente somministrati dal docente.</p> <p>Capacità d'apprendimento: Particolare cura è dedicata alla puntuale indicazione della bibliografia, in genere libri di testo e articoli di rassegna recenti, da utilizzare per trarre maggior profitto dal lavoro svolto in aula.</p>
<b>VALUTAZIONE DELL'APPRENDIMENTO</b>	<p>La verifica finale consta di una breve presentazione seminariale di un argomento precedentemente concordato con i docenti e di un esame-colloquio nel quale lo studente dovrà dimostrare di aver acquisito familiarità coi contenuti del corso, anche su argomenti diversi da quello della presentazione seminariale. La valutazione complessiva sarà formulata sulla base dei seguenti criteri:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Insufficiente se il candidato dimostra di non aver acquisito una conoscenza accettabile dei contenuti del corso;</li><li>- Sufficiente (voto 18-20) se il candidato dimostra di possedere sufficiente conoscenza dei contenuti del corso ma scarsa capacità di esposizione dei concetti e di applicazione dei metodi introdotti nel corso;</li><li>- Soddisfacente (voto 21-23) se il candidato dimostra di possedere sufficiente conoscenza dei contenuti e sufficiente capacità di esposizione dei concetti e di applicazione dei metodi;</li><li>- Buona (voto 24-26) se il candidato dimostra di possedere buona conoscenza dei contenuti del corso, sufficiente capacità di esposizione dei concetti e sufficiente capacità di applicazione dei metodi;</li><li>- Molto Buona (voto 27-29) se il candidato dimostra di possedere buona conoscenza dei contenuti, buona capacità di esposizione e discreta capacità di applicazione dei metodi;</li><li>- Eccellente (voto 30-30 e lode) se il candidato dimostra di possedere ottima conoscenza dei contenuti, ottima capacità di esposizione e capacità di applicare autonomamente i metodi appresi.</li></ul>
<b>ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA</b>	<p>La didattica prevede lezioni teoriche. Le lezioni mirano a portare alla luce tutti gli aspetti problematici del legame tra termodinamica classica (TC) e meccanica quantistica (MQ), a fornire nuovi strumenti e metodi di indagine tipici della termodinamica quantistica (TQ) e a mostrare come tali metodi possano stabilire un legame diretto tra TC e MQ nonché essere utili nello studio dei sistemi fuori dall'equilibrio. Saranno inoltre presentati semplici esempi in modo da permettere agli studenti di impadronirsi dei metodi della TQ fino al punto di applicarli allo studio di semplici situazioni fisiche.</p>

**MODULO  
QUANTUM THERMODYNAMICS**

*Prof. BENEDETTO MILITELLO*

**TESTI CONSIGLIATI**

J. Gemmer, M. Michel, G. Mahler, Quantum Thermodynamics: Emergence of Thermodynamic Behavior Within Composite Quantum Systems, (2nd Edition), Springer. ISBN: 978-3-540-70509-3 - ISBN eBook: 978-3-540-70510-9  
Altro materiale fornito dal docente / Additional material provided by the teacher

<b>TIPO DI ATTIVITA'</b>	C
<b>AMBITO</b>	20901-Attività formative affini o integrative
<b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE</b>	51
<b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLE ATTIVITA' DIDATTICHE ASSISTITE</b>	24

**OBIETTIVI FORMATIVI DEL MODULO**

- 1) Comprensione del significato dello studio delle proprietà termodinamiche in ambito quantistico e comprensione delle differenze concettuali e metodologiche tra meccanica statistica e termodinamica quantistica.
- 2) Termodinamica quantistica all'equilibrio in condizioni microcanoniche, canoniche e gran canoniche, e in regime di forte accoppiamento.
- 3) Metodo delle medie nelle "regioni accessibili" applicato a sistemi all'equilibrio e no.

**PROGRAMMA**

<b>ORE</b>	<b>Lezioni</b>
1	Aspetti problematici nei fondamenti della termodinamica. Il problema della termodinamica applicata a sistemi microscopici.
1	Teorema H e sue conseguenze.
2	Operatore densità: definizione e proprietà generali, purezza ed entropia di von Neumann, prodotti scalari e distanze.
14	Concetto di tipicità e ruolo fondamentale dell'ambiente e delle correlazioni tra sistema e ambiente. Regioni accessibili e medie nello spazio di Hilbert. Tipicità sotto le condizioni di contatto microcanoniche, canoniche e gran canoniche.
2	Degenerazioni dell'energia in ambienti modulari.
2	Regime di forte accoppiamento e tipicità dello stato ridotto del sistema.
2	Cenni sull'utilizzo della tecnica delle medie nello spazio di Hilbert per lo studio dei sistemi fuori dall'equilibrio.

**MODULO**  
**NON-EQUILIBRIUM QUANTUM THERMODYNAMICS**

*Prof. MAURO PATERNOSTRO*

**TESTI CONSIGLIATI**

H.-P. Breuer and F. Petruccione, *The Theory of Open Quantum Systems* (Oxford University Press, Oxford, UK, 2002).

Materiale didattico fornito dal docente

<b>TIPO DI ATTIVITA'</b>	C
<b>AMBITO</b>	20901-Attività formative affini o integrative
<b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE</b>	51
<b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLE ATTIVITA' DIDATTICHE ASSISTITE</b>	24

**OBIETTIVI FORMATIVI DEL MODULO**

Evoluzioni di non equilibrio con approcci tradizionali e no.

Processi termodinamici su scala microscopica e macchine termiche quantistiche.

**PROGRAMMA**

<b>ORE</b>	<b>Lezioni</b>
3	Sistemi fuori dall'equilibrio in interazione col loro ambiente: mappe completamente positive e forma di Lindblad delle master equation.
7	Derivazione microscopica delle master equation markoviane; relazione Kubo-Martin-Schwinger. Stazionarietà dello stato termico. Termini di lavoro e calore in una master equation. Master equation di sistemi interagenti.
2	Stati stazionari per sistemi interagenti con più riserve; flussi di calore
4	Operatori non hermitiani e sistemi fuori dall'equilibrio. Analisi spettrale dell'operatore di Lindblad. Sistemi descrivibili con hamiltoniane non hermitiane.
6	Trasformazioni termodinamiche a livello microscopico e macchine termiche quantistiche.
2	Approccio alle dinamiche di non equilibrio basato sul principio di massima produzione di entropia.