



<b>Insegnamento</b>	Fisica dei Liquidi	Physics of the Liquid state
<b>Codice</b>	B013289	B013289
<b>Corso di Laurea</b>	Magistrale in Scienze Fisiche e Astrofisiche	Physical and Astrophysical Sciences
<b>Docente/i</b>	Renato Torre, Eleonora Guarini	Renato Torre, Eleonora Guarini
<b>Contenuti in breve</b>	<p>Liquidi semplici. Funzioni di correlazione a coppie. Sviluppo in densità di <math>g(r)</math> e potenziale di interazione a due e tre corpi. Teorie dello stato liquido. Fattore di struttura statico e dinamico e loro determinazione sperimentale tramite tecniche di scattering.</p> <p>Liquidi complessi. Equilibrio e fuori equilibrio termodinamico. Transizioni di fase e transizione vetrosa. Funzioni di correlazione molecolari. Equazione di Langevin, memory function e teorie di mode-coupling. Dinamica nei liquidi aggregati e sotto raffreddati. Spettroscopia ottica non-lineare: teoria e pratica.</p>	<p>Simple liquids. Pair correlation functions. Density expansion of <math>g(r)</math> and two- and three-body interaction potential. Theories of the liquid state. Static and dynamic structure factor, and their experimental determination through scattering techniques.</p> <p>Complex liquids. Thermodynamical equilibrium and out of equilibrium conditions. Phase transitions and glass transition. Molecular correlation functions. Langevin equation, memory function, and mode-coupling theory. Dynamics of aggregate and supercooled liquids. Non-linear optical spectroscopy: theory and practice.</p>
<b>Testi di riferimento</b>	<p>J. P. Hansen, I. R. McDonald, "Theory of Simple Liquids", (Academic Press, London, 1986)</p> <p>Gray C. G., Gubbins K. E., "Theory of Molecular Fluids", (Clarendon, Oxford, 1984).</p> <p>U. Balucani and M. Zoppi "Dynamics of the Liquid State" (Clarendon Press, Oxford, 1994).</p> <p>B.J.Berne and R. Pecora "Dynamic Light Scattering with Applications to Chemistry, Biology, and Physics" (Dover Publications, Inc. Mineola, New York, 2000).</p> <p>R.Torre "Time-resolved spectroscopy in complex liquids" (Springer, New York, 2008).</p>	<p>J. P. Hansen, I. R. McDonald, "Theory of Simple Liquids", (Academic Press, London, 1986)</p> <p>Gray C. G., Gubbins K. E., "Theory of Molecular Fluids", (Clarendon, Oxford, 1984).</p> <p>U. Balucani and M. Zoppi "Dynamics of the Liquid State" (Clarendon Press, Oxford, 1994).</p> <p>B.J.Berne and R. Pecora "Dynamic Light Scattering with Applications to Chemistry, Biology, and Physics" (Dover Publications, Inc. Mineola, New York, 2000).</p> <p>R.Torre "Time-resolved spectroscopy in complex liquids" (Springer, New York, 2008).</p>
<b>Obiettivi formativi</b>	<p>Conoscenza delle fondamentali proprietà strutturali e dinamiche dei liquidi semplici e complessi. Processi e regimi dinamici nei liquidi. Dinamica collettiva e self nei sistemi disordinati e loro determinazione sperimentale tramite varie tecniche</p>	<p>Knowledge of the basic structural and dynamical properties of simple and complex liquids. Dynamical processes and regimes in liquids. Collective and self dynamics of disordered systems and their experimental determination by various spectroscopic techniques: neutron and x-rays scattering; non-linear</p>



	spettroscopiche: scattering di neutroni e raggi X; spettroscopia ottica non-lineare.	optical spectroscopy..
<b>Prerequisiti</b>	Consigliato: Metodi Matematici	Advised: Mathematical Methods
<b>Metodi didattici</b>	Lezioni frontali (6 CFU, circa 55 ore) con alcuni calcoli svolti alla lavagna e uso parallelo di trasparenze per la descrizione di dati e tecniche sperimentali, e per il riepilogo delle formule fondamentali presentate durante la lezione.	Traditional lectures (6 CFU, about 55 hours) with some calculations carried out at the blackboard. Parallel use of transparencies for the description of experimental data and techniques, and for the outline of the fundamental formulas presented during the lecture.
<b>Altre informazioni</b>	Orario di ricevimento studenti: Guarini: martedì 11.00-13.00 presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia, studio 229 Torre: martedì 11.00-13.00 presso il LENS, studio 62	Weekly availability for students: Guarini: Tuesday 11.00-13.00 at the Physics and Astronomy Department, room 229 Torre: Tuesday 11.00-13.00 at LENS, room 62
<b>Modalità di verifica dell'apprendimento</b>	Esame orale con eventuale presentazione di una breve relazione (opzionale) su uno degli argomenti trattati nella parte relativa ai liquidi semplici.	Oral exam with a possible short presentation (optional) on one of the subjects of the part regarding simple liquids.
<b>Programma esteso</b>	Struttura statica di <b>liquidi semplici</b> . Richiami di meccanica statistica classica e medie di insieme. Densità di probabilità configurazionale ad $n$ particelle. Densità microscopica ad $n$ particelle. Funzione di distribuzione a coppie $g(r)$ come funzione di autocorrelazione delle densità ad una particella. Significato fisico e proprietà di $g(r)$ e legame con il potenziale di interazione a molti corpi. Pair theory dei liquidi e legame di $g(r)$ con le proprietà termodinamiche del liquido. Il potenziale di interazione a corto e lungo raggio e modelli fenomenologici del potenziale a due e tre corpi. Sviluppo in densità di $g(r)$ . Cenni alla cluster expansion. Limite di bassa densità di $g(r)$ e legame col potenziale a coppie. Teorie dello stato liquido. Funzioni di correlazione a coppie: totale e diretta. Equazione di Ornstein-Zernike. Approssimazioni di	Static structure of <b>simple liquids</b> . Classical statistical mechanics and ensemble averages: useful results to remember. $n$ -particle configurational probability density. $n$ -particle microscopic density. Pair distribution function $g(r)$ as density-density autocorrelation function. Physical meaning and properties of $g(r)$ , and its relation with the many-body interaction potential. Pair theory of liquids and relation between $g(r)$ and the thermodynamical properties of the liquid. The short and long-range interaction potential and phenomenological models for the two- and three-body interactions. Density expansion of $g(r)$ . Introduction to the cluster expansion. Low-density limit of $g(r)$ and relation with the pair potential. Theories for the liquid state. Pair correlation functions: total and direct correlation. Ornstein-Zernike equation. Percus-Yevick, Hypernetted



	<p>Percus-Yevick, Hypernetted Chain, Modified Hypernetted Chain. Il fattore di struttura statico, suo legame con <math>g(r)</math>, significato fisico e proprietà. Introduzione allo scattering di neutroni e raggi X. Studi strutturali recenti in liquidi semplici tramite diffrazione di neutroni e raggi X. La generalizzazione al caso dinamico: funzioni di correlazione spazio-temporali. Funzione di autocorrelazione delle densità dipendenti dallo spazio e dal tempo. Funzione intermedia di scattering e fattore di struttura dinamico. Dinamica collettiva e di singola particella. Regimi dinamici. Fattore di struttura dinamico self in regime cinetico e diffusivo. Fattore di struttura dinamico dalla teoria idrodinamica. Modello viscoelastico e cenni al formalismo delle funzioni di memoria. Estrazione delle curve di dispersione delle eccitazioni collettive in liquidi semplici e dei tempi di rilassamento della funzione di memoria da dati di scattering anelastico di neutroni o raggi X.</p> <p><b>Liquidi Complessi</b> Introduzione: Tipologia e caratteristiche generali, aspetti termodinamici (equilibrio e fuori equilibrio); Fasi e Mesofasi (cristalli liquidi e plastici). Fenomenologia delle transizioni di fase: teorie di base (Energie libere, Classificazione di Ehrenfest, Teoria di Landau-Ginburg). Fasi metastabili, sottoraffreddate e vetri, Termodinamica e stabilità, Diagramma ST e fenomeni di rilassamento, Liquidi metastabili in natura e tecnologia. Osservabili fisiche e sperimentali per lo scattering di luce: medie, coarse-graining (macro, meso e microscala), Funzioni di correlazioni nello spazio delle fasi o di Fourier. Funzione microscopica della costante dielettrica e sue funzioni di</p>	<p>Chain, Modified Hypernetted Chain approximations. The static structure factor, its relation with <math>g(r)</math>, physical meaning and properties. Introduction to neutron and X-rays scattering. Recent structural studies in simple liquids by neutron and X-rays diffraction. Generalization to the dynamical case: space-time correlation functions. Space and time dependent density-density autocorrelation function. Intermediate scattering function and dynamic structure factor. Collective and single-particle dynamics. Dynamical regimes. The self dynamic structure factor in the kinetic and diffusive regimes. The dynamic structure factor from hydrodynamic theory. Viscoelastic model and brief introduction to the memory function formalism. Extraction of collective modes dispersion curves in simple liquids and relaxation times of the memory function from inelastic neutron or X-rays scattering data.</p> <p><b>Complex Liquids</b> Introduction: Types and general characteristics, thermodynamic aspects (equilibrium and off equilibrium), Phases and mesophase (liquid crystals and plastic). Phase transitions phenomenology: basic theories (free energies, Ehrenfest classification, Theory of Landau-Ginburg). Metastable, supercooled and glass phases, Thermodynamics and stability ST diagram and relaxation phenomena, metastable liquids in nature and technology. Physical and experimental observables for light scattering: average and coarse-graining (macro, meso and micro), the correlation functions in phase or Fourier space. Microscopic function of the dielectric constant and its correlations, power spectrum and dynamic structure factors. Introduction to the dynamics of liquids: Fluctuations and</p>
--	--	---



*Università degli Studi di Firenze*

Presidenza Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali

	<p>correlazione, spettro di potenza e fattori di struttura dinamici. Introduzione alla dinamica dei liquidi: Fluttuazioni ed equilibrio termodinamico. Equazioni Idrodinamiche Spettroscopia lineare: Scattering di luce risolto in frequenza, Spettri misurati e dinamica del liquido, Modi diffusivi e propagativi Spettroscopia non-lineare: Polarizzazione e suscettività e non-lineare, Tecniche di four-wave mixing, Osservabili sperimentali, Funzione risposta e dinamica del liquido. Tecniche sperimentali risolte nel tempo: Effetto Kerr ottico e Transient Grating</p>	<p>equilibrium thermodynamics. hydrodynamic equations Linear Spectroscopy: Scattering of light in frequency space, measured spectra and liquid dynamics, Diffusion phenomena and propagation modes. Non-linear Spectroscopy: Non-linear polarization and susceptibility, Four-wave mixing techniques, Experimental observables, Response functions and liquid dynamics. Time resolved experimental techniques: optical Kerr effect and Transient Grating.</p>
--	---	---