Corsi del Dottorato di Scienze Chimiche e relativi Docenti

I SEMESTRE ANNO 2016 (1 DICEMBRE 2015-28 FEBBRAIO 2016)

1) Applicazione dei Metodi Computazionali in Chimica(spettroscopia molecolare)
6 CFU, 48 ore
Luigi Bencivenni

2) La teoria del funzionale densità: una guida per lo studio dei materiali complessi.
3 CFU, 24 ore
Enrico Bodo

3) Materiali avanzati e loro caratterizzazione strutturale
6 CFU, 48 ore
Valerio Rossi Albertini, CNR

4)**Uso e Sostenibilità dei Materiali Polimerici**
6 CFU , 48 ore
Loris Pietrelli-Enea, ENEA,

5) Tecniche per lo Studio di Sistemi Dispersi
6 CFU ,48 ore
Luciano Galantini

6) La Spettroscopia Raman nella caratterizzazione dei materiali: principi ed applicazioni
3 CFU ,24 ore
Delia Gazzoli

II SEMESTRE ANNO 2016 (1 APRILE-30 GIUGNO 2016)

1) **Basic Principle of Bioinformatics**
6 CFU ,48 ore
Simone Meloni

2) Metodi computazionali in Chimica Organica
3 CFU , 24 ore
Paolo Mencarelli

3) Nanotecnologie e nanomateriali per applicazioni industriali
6 CFU , 48 ore
Cleofe Palocci

4) Chemiometria applicata con elementi di MATLAB
6 CFU ,48 ore
Federico Marini

5) Intro to Polymer Science and to New Frontiers of Material Science
6 CFU ,48 ore
Ferdinando Bruno

Orario I semestre

Professore	*Lunedì*	*Martedì*	*Mercoledì*	*Giovedì*	*Venerdì*	*INIZIO*	*CFU*
Bencivenni	**-**	**11-13**	**11-13**	**10-12**	**-**	**1/12/2015**	**6**
Rossi	**15-17**		**15-17**		**15-17**	**1/12/2015**	**6**
Bodo	**11-13**	**14-16**	**-**	**-**	**-**	**1/12/2015**	**3**
Pietrelli	**-**	**9-11**	**-**	**9-10**	**9-11**	**1/12/2015**	**6**
Galantini	**9-11**	**-**	**9-11**	**16-18**	**-**	**1/12/2015**	**6**
Gazzoli	**13-15**	**-**	**-**	**12-14**	**-**	**1/12/2015**	**3**

Orario II semestre

Professore	*Lunedì*	*Martedì*	*Mercoledì*	*Giovedì*	*Venerdì*	*INIZIO*	*CFU*
Meloni	**11-13**	**14-16**	**11-13**	**14-16**	**11-13**	**1/4/2016**	**6**
Mencarelli	**14-16**	**-**	**14-16**	**-**	**-**	**1/4/2016**	**3**
Palocci	**-**	**9-11**	**-**	**9-11**	**9-11**	**1/4/2016**	**6**
Marini		**14-16**	**16-18**	**14-16**		**1/4/2016**	**6**
Bruno	**16-18**	**16-18**	**-**	**-**	**16-18**	**1/4/2016**	**6**

I CORSI SONO TENUTI TUTTI IN AULA F
PIANO TERRA VECCHIO EDIFICIO DI CHIMICA

Prof. Osvaldo Lanzalunga
Coordinatore del Dottorato in Scienze Chimiche
Mail: osvaldo.lanzalunga@uniroma1.it

Programmi dei Corsi Istituzionali del Dottorato in Scienze Chimiche

I SEMESTRE 2016

1) Applicazione dei Metodi Computazionali in Chimica (6 CFU)

Prof. Luigi Bencivenni

Obiettivi del Corso

Il corso, dedicato agli studenti di Dottorato di Ricerca, introduce alle teorie di base della Chimica Computazionale ed in particolar modo alla loro applicazione nello studio delle proprietà dei sistemi molecolari. Questo corso, pur essendo essenzialmente applicativo, necessita di alcuni richiami della teoria di base (illustrati dettagliatamente nel programma).

Risultati dell'apprendimento

Apprendimento dei concetti basilari della Chimica Computazionale. Acquisizione della capacità di utilizzo critico e consapevole dei metodi computazionali finalizzati allo studio delle proprietà molecolari (struttura molecolare, spettri rotazionali, vibrazionali, spettro NMR, applicazioni termodinamiche: equilibrio chimico ed equilibri conformazionali). Le conoscenze acquisite saranno valutate mediante un esame orale (discussione di un tema assegnato individualmente).

Programma

Introduzione ai metodi di struttura elettronica molecolare

Metodo Hartree-Fock. Il metodo variazionale e le equazioni di Hartree-Fock per la determinazione degli orbitali molecolari: energia degli orbitali e Teorema di Koopman per le energie di ionizzazione e le affinità elettroniche. Espansione degli Orbitali Molecolari su funzioni di base e metodo di Roothan-Hall. Matrice di Fock, Matrice di Densità Elettronica. Proprietà mono-elettroniche: densità elettronica, potenziale elettrostatico molecolare,momento di dipolo elettrico, analisi popolazionale della densità elettronica secondo Mulliken.

Basis Sets di espansione per orbitali molecolari: Funzioni di Slater, funzioni di base Gaussiane, contrazione delle funzioni Gaussiane. Set di Base minimale, Set di Base double zeta, funzioni di base di polarizzazione, funzioni di base diffuse.

Ottimizzazione di geometria molecolare: caratterizzazione della superficie di energia potentziale (PES), punti di minimo dell'energia e punti di sella (stati di transizione), gradiente ed Hessiano dell'energia molecolare. ricerca delle strutture degli stati di transizione.

Metodi di Correlazione Elettronica: correlazione elettronica, funzioni d'onda *post*-SCF: metodi di Interazione di Configurazione, metdo perturbativi Moeller-Plesset, metodi Coupled-Cluster.

Teoria del Funzionale di Densità: teoremi di Heomberg e Khon, metodo di Khon-Sham, funzionali di scambio e correlazione: funzionali nella approssimazione di densità locale (LDA), funzionali non locali e funzionali ibridi.

Proprietà molecolari: le proprietà molecolari come derivate dell'energia elettronica: frequenze vibrazionali armoniche e intensità IR e Raman. Assegnazione degli spettri vibrazionali di molecole poliatomiche mediante l'analisi P.E.D.Termodinamica statistica e teoria dello stato di transizione

Distribuzione di Boltzman, funzioni di partizione molecolari e calcolo delle proprietà termodinamiche di gas ideali. Stato di transizione ed energia di attivazione.

Modelli di solvatazione: metodi per lo studio dell'effetto del solvente sulle proprietà molecolari. Il modello del Polarizable Continuum Model (PCM).

Testi consigliati

F. Jensen "Introduction to Computational Chemistry", Wiley, 1996
J.B. Foresman and Ae. Frisch, "Exploring Chemistry with Electronic Structure Methods", 2nd Edit., Pittsburg,1994
An Introduction to Theoretical Chemistry

---

2) Materiali avanzati e loro caratterizzazione strutturale 6 CFU

Prof Valerio Rossi Albertini

1. Gli stati di aggregazione della materia
2. Proprietà strutturali di cristalli, semicristalli, materiali nanofasici, liquidi e amorfi.
3. Richiami sulla diffrazione
4. Cenni sulla differenza tra diffrazione a scansione d'angolo e di energia
5. Esempi di interpretazione degli spettri di diffrazione dei diversi tipi di materiali
6. Presente e futuro della diffrazione di raggi X: le grandi apparecchiature (sincrotroni e laser di raggi X)
7. Diffrazione e spettroscopia di neutroni. Confronto con la diffrazione di raggi X
8. Riflettometria di Raggi X per lo studio di superfici, di interfacce e di campioni stratificati
9. Le microscopie a scansione di sonda (Scanning Tunnelling Microscopy e Atomic Force Microscopy)
10. Studio di superfici con le microscopie a scansione e confronto con le tecniche di diffrazione

---

3)La teoria del funzionale densità (DFT): una guida per lo studio dei materiali complessi.

Prof Enrico Bodo 3CFU

- La chimica computazionale: applicazioni, sistemi studiabili, metodi e attendibilità.
- Il modello base della teoria: definizioni, campo di applicazione, relazioni con altri metodi.
- La natura quantistica degli elettroni e la correlazione elettronica.
- L'idea di base: la densità elettronica e l'interazione tra elettroni: le funzioni "hole" e le densità di probabilità.
- Un po' di storia: i primi tentativi di descrivere i sistemi atomici e molecolari usando la densità elettronica.
- Il fondamento matematico: i teoremi di Hohenberg-Kohn.
- Il metodo DFT in pratica: il metodo di Kohn-Sham.
- Alla ricerca del funzionale perfetto: esempi e nomenclatura dei funzionali.
- Il metodo del campo autoconsistente nella formulazione DFT: algoritmi e codici.
- Le performance del modello e le sue capacità predittive: le strutture molecolari, la termodinamica, le proprietà elettriche e magnetiche, la reattività chimica.

- La frontiera: stati elettronici eccitati, dinamica ab-initio, applicazioni recenti e stato dell'arte della teoria DFT.

---

4) Uso e Sostenibilità dei Materiali Polimerici 6 CFU

Prof. Loris Pietrelli

FINALITÀ DEL CORSO

Conciliare le conoscenze scientifiche e tecnologiche per favorire una visione allargata alla sostenibilità non solo economica di un materiale polimerico a partire dal processo produttivo.

Fornire una corretta ed efficace conoscenza delle fasi di un processo chimico fornendo tutte le informazioni correlate all'impatto che esse generano sull'ambiente.

Analizzare, in dettaglio, le applicazioni della chimica fisica a problemi di carattere ambientale al fine di valutare i rendimenti e la sostenibilità dei materiali polimerici e dei relativi processi produttivi.

Fornire allo studente competenze di tipo tecnologico sui processi chimici di conversione delle materie prime, del recupero e del riciclaggio, sulla connessione processo-prodotto-impatto.

Far crescere una generazione di chimici industriali da inserire nelle attività industriali riguardanti le tecnologie dell'industria chimica non ché in altri settori quali la protezione ambientale e la riduzione del rischio delle attività produttive.

Programma

Introduzione al corso (2 ore)

Evoluzione e contraddizioni del concetto di sostenibilità (6 ore):

Sviluppo, preservazione/conservazione, chimica, fisica, biologia, ingegneria: i diversi punti di vista dello stesso problema. Le contraddizioni nell'uso di alcuni materiali polimerici.

I due volti della chimica: benefici e rischi (4 ore):

Aspetti socio economici. Valutazione delle criticità nella produzione.

Chimica verde e problemi etici (6 ore):

Criteri identificativi. Oltre il petrolio. Green design.

Recupero di materie prime seconde

Sistemi di separazione selettiva (4 ore)

La normativa (3 ore):

Decreto unico, REACH, analisi dei rischi ed autorizzazioni. Limiti al riciclaggio. I consorzi di recupero.

Verso un uso razionale delle risorse (5 ore):

Simbiosi industriale, *Urban mining*, riciclaggio, sostituzione dei reagenti, verso una produzione con impatto ambientale ridotto.

Analisi di un processo produttivo (9 ore):

Relazione fra materiale e aspetti funzionali. Aspetti economici, normativi, ambientali e commerciali: dal laboratorio all'impianto.

Criteri di valutazione di un processo produttivo sostenibile.

La certificazione dei processi produttivi (3 ore):

LCA, EMAS, etc,

Esempio di applicazione ad un caso pratico.

Rifiuto: problema o risorsa? (3 ore)
Problemi socio economici connessi al riciclaggio.
Opzioni di riciclaggio e tecnologie.
Analisi di casi pratici

TESTI DI RIFERIMENTO: materiale didattico distribuito dal docente

---

5) Tecniche per lo Studio di Sistemi Dispersi 6CFU

Prof Luciano Galantini

Introduzione ai colloidi. Definizione di colloidi e loro catalogazione: aerosols, emulsioni, sospensioni colloidali, gels, dispersioni solide, colloidi di associazione, cristalli liquidi. I colloidi e la chimica fisica delle interfasi. Stabilità dei colloidi: forze interparticellari, le forze intermolecolari alla base delle interazioni interparticellari, forze di van der Waals e costante di Hamaker, influenza del mezzo solvente, interazioni elettrostatiche: il doppio strato elettrico, influenza di materiali adsorbiti sulla superficie delle particelle, adsorbimento reversibile, effetto di polimeri. Potenziale DLVO. Processi di distruzione dei colloidi. Cenni sull'interesse dei colloidi nelle nanotecnologie.

Principi della diffusione di radiazioni. Polarizzabilità della materia (orientazionale, di distorsione ed elettronica). La diffusione elastica e anelastica della radiazione elettromagnetica. Diffusione di Reyleig e di Thompson. Interferenza delle onde diffuse da un distribuzione discreta e continua di diffusori. Radiazione diffusa da una dispersione di particelle colloidali in presenza di solvente (caso dei raggi-X e della luce).
Diffusione statica della luce e dei raggi-X. Intensità diffusa da una dispersione di particelle piccole rispetto alla lunghezza d'onda della radiazione incidente. Il fattore di struttura e la funzione di distribuzione radiale. Compressibilità osmotica e sviluppo del viriale. I coefficienti del viriale dalla termodinamica statistica. Il plot di Debye. Intensità diffusa da una dispersione di particelle grandi rispetto alla lunghezza d'onda della radiazione incidente. Fattore di forma e raggio di girazione. Il plot di Zimm, di Guinier. I polimeri e il plot di Kratky. Polidispersità ed effetti sulla determinazione della massa e del raggio di girazione. Ricostruzione della struttura a bassa risoluzione di particelle colloidali in soluzioni diluite. Soluzioni concentrate ed approssimazione di disaccoppiamento. Descrizione delle strumentazioni per misure di diffusione della luce e di raggi-X a piccoli angoli. Esperienze di laboratorio.
Diffusione dinamica della luce. Dipendenza dal tempo dell'intensità diffusa. Funzioni di autocorrelazione del campo elettrico e dell'intensità della luce diffusa. Coefficiente di diffusione collettiva. Polidispersità: analisi dei cumulanti e metodi per la determinazione della distribuzione dei tempi di rilassamento. Funzioni di autocorrelazione per dispersioni di particelle grandi e contributo rotazionale. Esperienza di laboratorio.

Risonanza magnetica nucleare in gradiente di campo magnetico pulsato. Richiami sui principi della risonanza magnetica nucleare. I tempi di rilassamento. Sequenza spin echo ed esperimento di Hahn.
Sequenza spin echo ed esperimento di Hahn. Spin-echo in gradiente di campo magnetico pulsato: sequenze principali. Il coefficiente di auto diffusione. Polidispersità: valore medio e distribuzione dei coefficienti di diffusione.

Diffusione traslazionale e proprietà dei colloidi. Effetti delle interazione sui coefficienti di auto diffusione e di diffusione collettiva. Coefficiente di diffusione libera: equazione di Stokes Einstein e raggio idrodinamico. Metodi per il calcolo del raggio idrodinamico dalla struttura delle particelle.

---

6) La Spettroscopia Raman nella caratterizzazione dei materiali: principi ed applicazioni

Prof. Delia Gazzoli **3 CFU**

Il corso sarà articolato in lezioni teoriche, applicazioni allo studio di materiali di interesse in vari campi ed esercitazioni di laboratorio. Aspetti teorici e principi fondamentali dello scattering Raman, SERS (surface enhanced raman scattering) e SEERS (surface enhanced resonance raman scattering). Strumentazione, campionamento, raccolta spettri ed aspetti teorici e pratici per l'interpretazione di uno spettro.Illustrazione di studi relativi a materiali inorganici ed organici, di interesse per i beni culturali e per applicazioni biologiche e medico-farmacologiche.

==========

II SEMESTRE 2016

1) Basic Principle of Bioinformatics **6 CFU**

Prof. Simone Meloni

Introduction:

- Composition of an organism, Composition of cells, Defining the protein, Correlations of mRNA and protein abundances, Protein properties and Posttranslational modifications, Protein sequence databases (Uniprot and NCBI), Protein and Gene BLAST
- Elements of genomic :databases for genomics (MBL, NCBI, DDBJ), evolution and philogenetics, coding and Non-coding RNA)

1. **Data Analysis I – outliers and normalization**
   Testing for normality, Outliers, Testing for one or more than one outlier, The logarithmic function, Normalizing using sum, mean, and median, Global intensity normalization
2. **Data Analysis II – Statistical analysis**
   Use of replicates for statistical analysis, Correlation (R^2, Pearson, Spearman), Percentiles and quantiles, Box Plot, Z-variable, Fisher–Irwin exact test, Missing values (possible reason and handling them), Prediction and hypothesis testing, Statistical significance for multiple testing, ANOVA, False discovery rate control, Volcano Plot
3. **Clustering and discriminant analysis**
   Clustering, Distances and similarities, Distances between an object and a class, clustering and missing data, Clustering approaches (sequential, hierarchical), Discriminant analysis, PCA
4. **Using statistical software**
   Using matlab (using Matlab bio-tools), using R, specific software for proteomics and genomics
5. **Protein, proteome, and proteomics, Primary goals for studying proteomes**
6. **Protein level analysis and quantification**
   Two-dimensional gels, Comparing results from different experiments (qualitative and quantitative analysis of gels by software), Western blotting, ELISA
7. **Peptide level quantification – Shotgun proteomics**
   Peptide digestion, peptide separation and enrichment, elements of chromatography (RP, HILIC, SCX, SAX)
8. **The principle of mass spectrometry**

Ionization sources (MALDI and ESI), Mass analyzers (TOF and Orbitrap), Predicting the isotope intensity distribution, Estimating the charge

9. **Mass spectrometry and peptide identification**
   MS/MS – tandem MS, Fragmentation techniques, Peptide identification by MS/MS spectra, scoring, statistical significance (p-Value and e-Value), Constructing the decoy database, MS^3 spectra
10. **Protein quantification by mass spectrometry**
    Reconstructing proteins, Protein variants and isoforms, Can shared peptides be used for quantification?, Relative and Absolute quantification, Label based vs. label free quantification
11. **Label based**
    Labeling techniques for label based quantification (metabolic or chemical labeling), All techniques (SILAC, iTRAQ, TMT and dimethyl)
12. **Label free by MS/MS spectra or by intensity**
    Abundance measurements, Normalization (emPAI, NSAF, PASC, RIBAR, xRIBAR), comparing methods, Alignment of chromatograms for intensity based quantification, Absolute quantification in label free, targeted protein quantification (MRM)
13. **Major software for proteomics**
    MASCOT, SEQUEST, MaxQuant, OMSSA, XTandem
14. **Metabolomics**
    Metabolomics study design, workflows and sources of experimental error, difference between target and un-target approaches, Metabolomics downstream analyses: KEGG, BioCyc, MetExplore and Cytoscape for metabolic pathway and network analysis with visualisation of differential expression, understanding metabolomics flux analysis.
15. **The case of potential Biomarkers**
    Evaluation of potential biomarkers, Taking disease prevalence into account, evaluating threshold values for biomarkers

---

2) Metodi computazionali in Chimica Organica **3 CFU**

Prof. Paolo Mencarelli

Introduzione ai metodi computazionali per il calcolo di energie e strutture molecolari
Approssimazione di Born-Oppenheimer. Punti critici delle superfici di energia potenziale. Metodi di calcolo quantomeccanici basati sulla teoria dell'orbitale molecolare e metodi di calcolo basati sulla meccanica molecolare.

Meccanica Molecolare

Definizione del Force Field attraverso le funzioni di Potenziale. Trasferibilità e affidabilità del Force Field. Minimizzazione dell'energia sterica: aspetti generali, metodi del primo ordine e del secondo ordine. Valutazione della solvatazione.

Esplorazione dello spazio conformazionale

Approcci sistematici e casuali. Tecnica del Simulated Annealing per la ricerca del minimo globale. Cenni di dinamica molecolare. La dinamica molecolare come tecnica di esplorazione dello spazio conformazionale.

Esercitazioni

Durante il corso sono previste alcune esercitazioni al computer. Verranno effettuati calcoli su alcune molecole organiche semplici mediante meccanica molecolare.

---

3) Nanotecnologie e nanomateriali per applicazioni industriali 6 CFU

Prof. Cleofe Palocci

Obiettivi formativi

Come è noto lo sviluppo di nuovi materiali si affianca da sempre all'evoluzione tecnologica della nostra società: le aziende più competitive investono ingenti risorse umane ed economiche nell'innovazione dei materiali e dei processi produttivi per trovare nuove soluzioni progettuali e far fronte alle sempre più stringenti esigenze del mercato. Ad oggi, ad esempio, è diventato sempre più importante formare ricercatori dotati di competenze specialistiche in settori di punta quali quello delle nanoscienze e nanotecnologie, al fine di fornire conoscenze "trasversali" necessarie a interagire operativamente in diversi campi disciplinari.

Il corso è articolato nei seguenti contenuti:

- Approccio "bottom up e top down" nella preparazione di nanomateriali
- Proprietà dei materiali nanometrici ("size effect")
- Principali metodi di nanofabbricazione
- I microreattori fluidici per la sintesi di nanoparticelle (lab on chip)
- Principali tecniche di caratterizzazione dei materiali nanostrutturati
- Applicazioni dei nanomateriali in diversi settori industriali ed in particolare nel settore biotecnologico

---

4) CHEMIOMETRIA APPLICATA con elementi di MATLAB 6 CFU

Prof. Federico Marini

PROGRAMMA

1. **Richiami di algebra matriciale e introduzione all'ambiente MATLAB.** Scalari, vettori, matrici, prodotti vettoriali e matriciali e loro rappresentazione in ambiente matlab. Tipologie di variabili MATLAB e funzioni algebriche elementari.
2. **Calibrazione univariata e multivariata.** Il metodo dei minimi quadrati. Regressione lineare univariata. Calcolo delle bande di confidenza e degli errori di previsione. Generalizzazione al caso multivariato: la regressione lineare multipla. Esercitazioni in MATLAB.
3. **Disegno sperimentale.** Disegni simultanei e sequenziali. Disegni fattoriali a due livelli (completi e frazionati). Calcolo degli effetti e della loro significatività. Disegni di screening. Superfici di risposta. Esercitazioni in MATLAB.
4. **Analisi Esplorativa.** Introduzione all'analisi multivariata. L'analisi delle componenti principali. Criteri per la scelta delle PC. Identificazione degli outliers. Esercitazioni in MATLAB.
5. **Regressione sulle variabili latenti.** La regressione sulle componenti principali. L'algoritmo PLS. Selezione delle variabili ed interpretazione del modello. Esercitazioni in MATLAB.
6. **Classificazione.** Problemi di classificazione in chimica. Classificazione discriminante e modellante. L'analisi discriminante lineare e quadratica. Il metodo PLS-DA. SIMCA e la classificazione modellante. Coomans plot. Esercitazioni in MATLAB.
7. **Curve resolution**. Multivariate curve resolution (MCR) e le sue applicazioni chimiche. Scelta dei constraints. Estensione al caso di più matrici di dati: l'analisi multiset. Applicazioni all'analisi di immagini. Esercitazioni in MATLAB.

8. **Metodi multiway.** Segnali chimici multidimensionali e loro rappresentazione attraverso arrays di dati. Introduzione all'analisi multi-way. Il metodo PARAFAC. Esercitazioni in MATLAB.

---

5) Intro to Polymer Science and to New Frontiers of Material Science ……. 6 CFU

Prof. Ferdinando Bruno

Purpose and objectives

This course is intended to offer a comprehensive outline of polymer science and the advances in material science. The importance will be given on the synthesis and structure of polymeric materials, and their physical chemical characterization. Industrial uses of the most common polymers and novel polymeric materials will be introduced; the course will be identical to what nowadays is taught in US colleges.

The student after this course should be able to comprehend and explain the production of important polymers using notions from chemical kinetics and equilibrium thermodynamics; understand the structure of polymer chains in solution (including, molecular weight, molecular weight distribution, chain conformation) and methods to characterize polymers in solution; describe polymer phase behavior using Flory-Huggins theory; comprehend polymer's structure in the solid state and describe the effects of structural organization (*i.e.*, crystallinity, liquid crystallinity, phase separation) on molecular and end use properties of polymers, and recognize the basic stress/train and viscoelastic behavior of polymers based on knowledge of structure and thermal properties (*e.g.*, melting and glass transition); to create their own polymers with a detailed procedure.

Programme

1 The nature of polymer materials: branching, networks, tacticity and copolymers.
2 Polymer synthesis: step-growth and chain polymerizations.
3 Kinetics of polymerization: the kinetics of step growth and free radical chain polymerizations; relationship to molecular weight.
4 Statistics of step-growth polymerization: the use of statistics in describing molecular weight distributions in step-growth polymerization.
5 Copolymerization: the kinetics of free radical copolymerization.
6 Structure: chain conformations, amorphous polymers, and the morphology of semicrystalline polymers.
7 Crystallization, melting and the glass transition: an introduction to crystallization kinetics, melting and glass formation.
8 Polymer solutions: the Flory-Huggins theory and phase behavior.
9 The measurement of molecular weight: osmometry, light scattering, viscosity and size exclusion chromatography.
10 Mechanical and rheological properties: stress/strain behavior, viscoelasticity, nonlinear mechanical and rheological behavior, ultimate properties.
11. Industrial production and uses of the most produced polymers. Novel polymers and new applications in fields like electronics, solar panel and electronic displays.

Textbook

Textbook of Polymer Science 3rd Edition, by Fred W. Billmeyer Jr. (Wiley press)