

## **Programma.**

### **1. Elementi di ottica non lineare in mezzi materiali.**

Fenomenologia elementare dei processi ottici non lineari in mezzi materiali; suscettività al primo, secondo, terzo ordine. Generazione di seconda (terza) armonica, generazione di frequenze somma e differenza; amplificazione ottica parametrica, indici di rifrazione dipendenti dall'intensità.

Definizione di processi parametrici e non parametrici.

Descrizione formale della suscettività ai vari ordini; convenzioni nella indicazione delle frequenze. Componenti dei tensori suscettività di vario ordine; criteri per ridurre il numero delle componenti indipendenti: realtà dei campi, simmetria di permutazione intrinseca, simmetria del materiale cristallino; cenno a possibili simmetrie "dinamiche".

Differenze nei processi con o senza assorbimento effettivo; ruolo delle transizioni virtuali.

Processi microscopici che generano processi ottici non lineari in mezzi materiali. Richiamo alla teoria delle perturbazioni dipendenti dal tempo; rappresentazione di Schrödinger e di interazione, sviluppo di Dyson; correzioni alla funzione d'onda.

Calcolo del valor medio dell'operatore di polarizzazione: vari ordini di approssimazione nell'accoppiamento tra campo e.m. e mezzo materiale.

Probabilità di transizione: processi non parametrici. Significato fisico dei processi parametrici. Espressione del valor medio della polarizzazione al primo e al secondo ordine. Processi virtuali. Quasi-risonanza.

Cenno alla forma della interazione col campo e.m.:  $r.E$  o  $p.A$ . Difficoltà nel descrivere processi oltre il primo ordine, trasformazione di gauge che connette le due forme (solo citata).

### **2. Elementi di fisica dei polimeri e loro proprietà elettroniche ed ottiche.**

Principali scoperte nel campo dei polimeri coniugati: conduttività del poliacetilene, diodi ad emissione di luce nel PPV (Poli Para Fenilene Vinilene). Struttura dei principali polimeri coniugati, semiconduttori e conduttori. Strutture unidimensionali e tridimensionali. Principali interazioni coinvolte, accenno al metodo di tight-binding.

Processi di ibridizzazione  $sp$ ,  $sp^2$ ,  $sp^3$ . Concetto di polimero coniugato, introduzione alla struttura del Poliacetilene. Principali proprietà del Poliacetilene: instabilità di Peierls e dimerizzazione; stato fondamentale degenerare; formazione di difetti solitonici.

Hamiltoniana generale per la descrizione fisica di un polimero; approssimazione di Born-Oppenheimer; Hamiltoniana di Born-Oppenheimer; Hamiltoniana generale per gli elettroni  $p$ . Hamiltoniana di Born-Oppenheimer per gli elettroni  $p$  i di Hückel, Su-Schrieffer-Heeger, Parr-Parriser-Pople. Ruoli delle interazioni elettrone-fonone ed elettrone-elettrone.

Catalogazione degli stati a molti corpi in termini delle simmetrie del polimero. Parametro d'ordine per la distorsione e la dimerizzazione nel Poliacetilene. Solitoni, antisolitoni, polaroni, bipolaroni. Corrispondenti livelli elettronici, e relative transizioni possibili.

Modello di Hubbard. Eccitoni nei sistemi polimerici: eccitoni di Mott-Wannier e di Mott-Hubbard. Esempio di attribuzione di misure sperimentali a opportuni stati eccitati.

Definizione della energia di legame degli eccitoni. Eccitazioni inter-catena: coppie di polaroni, eccimeri, aggregati. Discussione degli stati  $1Bu$ ,  $1^3Bu^+$ ,  $2^1Ag^+$ .

Cenno sulla teoria delle proprietà ottiche. Polarizzazione, suscettività, coefficiente di assorbimento. Principio di Frank-Condon e shift di Stoke. Regole di selezione. Cenno all'ottica non lineare.

Spettro di assorbimento, spettro di assorbimento fotoindotto, spettro da ottica non lineare e fotoconduttività nel caso del Poliacetilene.

Polimeri fenilici. Proprietà elettroniche del PPV. Interpretazione del suo spettro di assorbimento. Fotoconduttività. LED organici: principi di funzionamento, efficienza, applicazioni.

### **3. Elementi di fisica dei cristalli liquidi e loro proprietà ottiche.**

**Generalità sui cristalli liquidi.** Le mesofasi liquido cristalline: cristalli liquidi termotropici e liotropici. Geometria molecolare dei termotropici: calamitici, discotici e banana-like. Cristalli liquidi monomerici e polimerici. Le principali mesofasi non chirali: nematici, smettici A, smettici C. Le principali mesofasi chirali: colesterici, smettici A chirali e smettici C chirali. Cenni alle tecniche di caratterizzazione delle mesofasi. Il parametro d'ordine scalare e tensoriale. Legame fra parametro d'ordine e grandezze macroscopiche.

**Interazioni dei cristalli liquidi con campi e superfici.** *Proprietà dielettriche:* Il tensore dielettrico, la densità di energia libera dielettrica, il momento di forza dielettrico. Cenni su altre interazioni con

campi elettrici: effetti elettrodrodinamici, l'effetto flexoelettrico, la polarizzazione dei cristalli liquidi ferroelettrici.

*Proprietà magnetiche:* Il tensore diamagnetico, la densità di energia magnetica e il momento di forza diamagnetico.

*Interazioni con le superfici:* L'asse facile e la configurazione omeotropica, tiltata e planare. La tecnica del "rubbing". L'energia di ancoraggio e il coefficiente di ancoraggio.

*Interazioni fra le molecole di cristallo liquido:* La densità di energia elastica. Le costanti elastiche di twist, splay e bend e il loro significato fisico.

**Applicazioni della teoria elastica.** La deformazione di twist e la deformazione di splay bend e le relative energie libere. Determinazione del passo di un colesterico utilizzando la teoria elastica. Orientazione di cristalli liquidi in campi elettrici e magnetici. Deformazione di equilibrio e lunghezza di coerenza elettrica e magnetica. La soglia di Freederickz. Influenza dell'ancoraggio sulla soglia di Freederickz. La lunghezza di estrapolazione. La transizione di saturazione e la sua soglia.

**Applicazioni dei cristalli liquidi.** *Richiami di ottica dei mezzi anisotropi:* le onde straordinaria ed ordinaria; l'ellissoide degli indici. Calcolo dell'indice straordinario per un mezzo uniassiale. Intensità trasmessa per un cristallo liquido posto fra polarizzatori incrociati o paralleli. Propagazione di un fascio di radiazione e.m. in un mezzo stratificato. Il teorema adiabatico per la propagazione in un mezzo twistato. *Modulatori di luce e display elettroottici:* Configurazione tipica di un display. Cenni al pilotaggio multiplexing. Display passivi ed attivi. Esempi: il twisted nematic, il super twisted nematic, i polymer dispersed liquid crystals.

#### 4. Introduzione alla fisica dei cristalli fotonici.

Equazioni di Maxwell in mezzi non dispersivi, non magnetici ma con costante dielettrica distribuita nello spazio; l'equazione per il campo  $H(\mathbf{r})$  come equazione agli autovalori per l'operatore  $L_H$ . Definizione di prodotto scalare di due campi  $H(\mathbf{r})$ . Dimostrazione che l'operatore  $L_H$  è hermitiano, mentre non lo è  $L_E$  (analogo operatore per il campo elettrico); gli autovalori di  $L_H$  sono reali e positivi.

L'operatore  $L_H$  ha la stessa simmetria della distribuzione di costante dielettrica  $\epsilon(\mathbf{r})$  nel mezzo materiale; possibilità di ottenere distribuzioni periodiche di  $\epsilon(\mathbf{r})$ : cristalli fotonici.

Zona di Brillouin e forma alla Bloch del campo  $H(\mathbf{r})$  nei cristalli fotonici; bande fotoniche, possibilità di gap in  $\epsilon(\mathbf{k})$ . Significato fisico e opportunità applicative; cenno alla possibilità di introdurre difetti nel cristallo fotonico.

Teorema di scala che lega  $\epsilon(\mathbf{r})$  e  $\epsilon(\mathbf{k})$ . Principio di minimo per i campi  $H(\mathbf{r})$  autostati di  $L_H$ ; modo intuitivo di distribuire il campo nel cristallo fotonico: bande dielettriche e bande d'aria.

Esempi: caso di periodicità unidimensionale; caso di periodicità in due dimensioni, distinzione con argomenti di simmetria dei modi TE e TM; realizzazioni di reticoli in due dimensioni con gap solo per modi TE o TM, o con gap per ogni polarizzazione. Cenno al caso tridimensionale con gap totale: la yablonskite.

#### *Lecture consigliate per un eventuale maggior approfondimento degli argomenti proposti.*

Per l'argomento al punto 1 è indicato il libro di **R.W. Boyd**, *Nonlinear Optics*, 2nd ed., Academic, San Diego 2003; per gli argomenti al punto 2, i riferimenti suggeriti sono il libro di **W. Barford**, *Electronic and Optical properties of Conjugated Polymers*, Clarendon, Oxford 2005, e il volume *Conjugated Conducting Polymers*, a cura di **H.G. Kiess**, Springer, Berlino 1992; per gli argomenti al punto 3 è indicato il classico libro di **P.G. de Gennes** e **J. Prost**, *The Physics of Liquid Crystals*, 2nd ed., Clarendon, Oxford 1994; infine il testo consigliato per l'argomento al punto 4 è il volume di **J.D. Joannopoulos**, **R.D. Meade** e **J.N. Winn**, *Photonic Crystals*, Princeton UP, Princeton 1995.

*Le lezioni per i punti 1 e 4 sono state tenute da Emilio Doni, quelle per il punto 2 da Riccardo Farchioni, e quelle per il punto 3 da Sandro Faetti.*