

## PROGRAMA. FÍSICA DE L'ESTAT SÒLID

### INTRODUCCIÓ

#### 1. PRIMERES QÜESTIONS: FORCES D'ENLLAC I ESTRUCTURES CRISTAL.LINES

##### 1.1. Forces d'enllaç

Enllaç van der Waals-London.  
Enllaç iònic. Constant de Madelung.  
Enllaç metàl·lic.  
Enllaç covalent.  
Enllaç d'hidrogen.

##### 1.2. Estructures cristal.lines

Operacions de simetria.  
Simetries de rotació permeses.  
Classificació dels solids cristal.lins: sistemes cristal.lins.  
Index de Miller,  
Exemples d'estructures cristal.lines.  
Estructures d'ordre parcial.

#### 2. PROPIETATS GENERALS DE LES FUNCIONS I FUNCIONS D'ONA.

##### 2.1. Funcions periòdiques. Teorema de Bloch

Funcions periòdiques i xarxa reciproca.  
Propietats de la xarxa reciproca.  
Teorema de Bloch.  
Esquemes de zones: exteses, reduïdes, repetides.  
Condicions de contorn. Densitat d'estats.

2.2. Separació dels moviments de la xarxa i dels electrons:  
Aproximació de Born-Oppenheimer.

### 3. DINÀMICA DE LA XARXA

#### 3.1. Equacions dinàmiques, Fonons.

Model clàssic. Vibracions normals.  
Exemples. Branques acústiques i òptiques.  
Model quàntic. Fonons.  
Moment dels fonons. Moment cristal·lí.

#### 3.2. Calor específica

Model d'Einstein.  
Model de Debye.  
Densitat d'estats real de la xarxa.

#### 3.3. Anharmonicitat

Dilatació tèrmica; interacció fonó-fonó; Fusió.

### 4. MÉTODES DE DETERMINACIÓ DE L'ESTRUCTURA.

#### 4.1. Difracció elàstica

Difracció per un cristall ideal.

#### 4.2. Difracció inelàstica

Difracció per un cristall amb vibracions de la xarxa.  
Interpretació quàntica. Factor de Debye-Waller.

#### 4.3. Observació directa

### 5. ESTATS ELECTRÒNICS: MODELS MONOELECTRÒNICS

#### 5.1. Models monoelectrònics: introducció

#### 5.2. Models senzills

Model d'electrons lliures.  
Model d'electrons quasi-lliures. Bandes d'energia.  
Potencial efectiu.  
Model de lligams forts. Evolució àtom + cristall.

#### 5.3. Models elaborats

### 6. OCUPACIÓ DE LES BANDES D'ENERGIA ELECTRÒNIQUES

#### 6.1. Tipus de sòlids segons el model de bandes

Aïlladors, semiconductors, metalls.  
Alguns criteris per a la determinació del tipus de sòlid.

#### 6.2. Superfícies isoenergètiques

Cas dels metalls: superfície de Fermi.  
Cas dels semiconductors: el. lípodes de portadors.  
Densitat d'estats.

#### 6.3. Estadística de Fermi-Dirac

Cas dels metalls.  
Cas dels semiconductors.

#### 6.4. Calor específica electrònica

Cas dels metalls.

### 7. INTERACCIÓ ELECTRÓ-ELECTRÓ

## 7.1. Resposta col·lectiva dels electrons a una pertorbació exterior. Constant dielèctrica

Plantejament general pertorbatiu. Constant dielèctrica.  
Pertorbacions independents del temps.  
Metalls: Pertorbacions poc abruptes.  
Apantallament d'impureses.  
Comparació amb l'aproximació de Thomas-Fermi.  
Pertorbacions abruptes.  
Apantallament de la xarxa.  
Semiconductors: Contribució dels electrons de valència.  
Contribució dels portadors lliures.  
Pertorbacions dependents del temps.  
Oscil.lacions del plasma. Plasmons.

## 7.2. Teories més exactes

Liquid de Fermi. Quasipartícules de Landau.

## 8. PROPIETATS DINÀMICHES DELS ELECTRONS

### 8.1. Resposta de cada electró a camps exteriors. Dinàmica de paquets d'ona.

Hamiltonià i funcions d'ona equivalents.  
Casos particulars: Electrons lliures.  
Semiconductors (fons banda, nivells d'impuresa).  
Metalls (impureses).  
Cristalls iònics (centres de color).  
Cas general: Dinàmica dels paquets d'ona.  
Tensor massa.  
Dinàmica de forats. Nivells d'impuresa. Excitons.

### 8.2. Altres fenòmens

Col.lisions: interacció electró-impuresa (o imperfecció).  
interacció electró-fon. Polaró.  
interacció electró-electró.  
Efectes superficials: Estats de superficie.  
Emissions electroniques (tipus).

## 9. PROPIETATS DE TRANSPORT

### 9.1. Plantejament general

Ecuació de Boltzmann.  
Temps de relaxació.

### 9.2. Casos particulars

Conductivitat elèctrica: Tensor  $\sigma$   
Aplicació als metalls i als semiconductors.  
Comparació.  
Conductivitat tèrmica electrònica. Llei de Wiedemann-Franz.  
Coeficients generals de transport.  
Efectes termoelectrics.  
Conductivitat tèrmica de la xarxa.  
Efecte Wall.  
Unions.

## 10. PROPIETATS ÓPTIQUES I ELÉCTRIQUES

### 10.1. Aplicació dels mètodes òptics a l'estudi dels sòlids.

Resposta d'un medi a una ona EM.  
Ones planes transversals: Constant dielèctrica monocròmatica  $\epsilon(\omega)$ .  
Coeficients d'absorció i reflexió.  
Velocitats de propagació.  
Ones planes longitudinals.  
Càcul d' $\epsilon(\omega)$ : polaritzabilitat, camp local.

### 10.2. Resposta dels diferents tipus de medis.

Dielèctrics: contribució electrònica.  
contribució iònica. Interacció fotó-fotó (polarització).  
Semiconductors: transicions interbandes.  
creació d'excitons.  
Conductors: apantallament, efecte pelicular.

### 10.3. Altres tipus de propietats.

Color dels cristalls.  
Mètodes espectroscòpics mixtes.  
Fotodetecció i fotogeneració.

### 12.1. Aspectes experimentals.

Introducció històrica. Medis superconductors.  
Propietats elèctriques.  
Propietats magnètiques. Tipus de superconductors.  
Propietats tèrmiques.  
Propietats òptiques.

## 11. PROPIETATS MAGNÈTIQUES

### 11.1. Acció d'un camp magnètic fort sobre els electrons de conducció. Aplicació a l'estudi de la superfície de Fermi.

Dinàmica electrònica. Freqüència i massa ciclotrònica.  
Experiències de ressonància ciclotrònica.  
Orbites, tancades i obertes. Magneto-resistència.  
Quantització d'òrbites: Nivells de Landau. Consideració de l'espi.  
Manifestacions experimentals de la quantificació d'òrbites.  
Efecte de Haas-van Alphen.

### 12.2. Aspectes teòrics.

Interacció electrònica a través de la xarxa.  
Estat superconductor. Formulació quàntica. Parelles Cooper. Explicació dels corrents persistents.

### 11.2. Resposta magnètica d'un medi material

Introducció.  
Diamagnetisme: d'electrons lligats (Langevin).  
d'electrons lliures (Landau).  
Paramagnetisme: d'electrons lligats (Van Vleck, Curie).  
d'electrons lliures (Pauli).

Ferro, anti-ferro i ferrimagnetisme:

Llei de Curie-Weiss.  
Hamiltonia d'espi.  
Ones d'espi. Magnons.  
Dominis i parets de Bloch. Histèresi.

### 11.3. Ressonàncies magnètiques.