

Sylabus přednášky fyzika pevných látek SLO/PL

1. Prostorové uspořádání krystalu
Historický vývoj pohledu na strukturu pevných látek a atomu. Pevná látka z pohledu kvantové mechaniky. Periodické uspořádání atomů v krystalu, krystalografie. 14 Bravaisových mřížek, 7 krystalografických skupin. Mřížka, elementární/primitivní buňka, báze. Operace symetrie, Millerovy indexy krystalových rovin. Nejčastější krystalové struktury a jejich parametry: SC, FCC, BCC, HCP (hexagonální nejtěsnější uspořádání). Zaplnění prostoru tuhými koulemi.
2. Difrakce na krystalu, reciproká mřížka
Studium prostorového uspořádání krystalu pomocí rozptylu rentgenového záření, svazku neutronů nebo elektronů. Bázové vektory reciproké mřížky, vztah mezi symetrií přímé a reciproké mřížky. Braggův zákon rozptylu, Brillouinova podmínka, Laueho podmínka. Experimentální difrakční metody. Brillouinova zóna, Fourierova analýza, strukturní faktory.
3. Krystalová vazba
Definice kohezní energie. Opakování základních vazeb, které umožňují vytvářet stabilní krystaly. Van der Waalsova vazba, krystaly inertních plynů, Lennard-Jonesův potenciál, rovnovážné mřížkové konstanty, $\sum_j p_{ij}^{-12}$, $\sum_j p_{ij}^{-6}$. Iontové krystaly, elektrostatická neboli Madelungova energie. Kovalentní krystaly, Pauliho vylučovací princip, výměnná interakce. Kovové krystaly, kladné ionty v moři vodivostních elektronů. Vodíková vazba.
4. Fonony, kmity mřížky
Rovnovážné polohy jader, harmonický rozvoj ve výchylkách, silové konstanty. Malé výchylky $\rightarrow$ diagonalizace (normální souřadnice) $\rightarrow$ nezávislé oscilátory $\rightarrow$ kvantování normálních modů $\rightarrow$ fonony. Energetické hladiny fononů jsou $E = (n + \frac{1}{2})\hbar\omega$. Grupová/fázová rychlost, podélné/příčné, akustické/optické fonony. Disperzní závislosti $\omega(\vec{q})$, popis pomocí vektoru kvazihybnosti $\vec{q}$ z 1.BZ. 1D řetězek atomů stejných/různých atomů.
Tepelné vlastnosti krystalové mřížky: Einsteinův model, Debyeův model měrných tepel C_v . Hustota modů $D(\omega)$, Debyeova teplota. Anharmonické efekty, tepelná roztavnost a tepelná vodivost mřížky.
5. Kovy - Fermiho plyn volných elektronů
Přiblížení, kdy se krystal bere jako potenciálová krabice. Získáme diskrétní energetické stavy v pravoúhlé potenciálové jámě. Model volných elektronů, Fermiho-Diracovo rozdělení, Fermiho energie, chemický potenciál. Přejít k Boltzmannovu rozdělení. Hustota stavů elektronů v kovech $\mathcal{D}(E)$. Tepelná vodivost elektronů, měrné teplo elektronového plynu C_V . Experimentální měrné teplo s příspěvkem od elektronů i od mřížky. Elektrická vodivost σ , Ohmův zákon, experimentální relaxační doby τ_L , τ_i . Odezva elektronového plynu na vnější pole $\vec{E}$, $\vec{B}$, Hallův koeficient, cyklotronová frekvence ω_c .
6. Energetické pásy
Periodický potenciál, pásová struktura, vznik zakázaných pásů. Schrödingerova rovnice v jednoelektronovém přiblížení, přechod k Fourierovým komponentám. Blochův teorém, Blochovy funkce. Ústřední rovnice a speciální případy jejího řešení na hranici Brillouinovy zóny. Kvazihybnost elektronu. Kronigův-Penneyův model. Model téměř volných elektronů, model prázdné mřížky.
7. Polovodiče
Charakteristické vlastnosti polovodičů, pásová struktura, přímý a nepřímý zakázaný pás. Pohybové rovnice pro elektron v energetickém pásu, kvazičástice, díra. Efektivní hmotnost elektronu a díry v pásovém schématu. Typické energetické disperzní relace na hraně pásů, příklady pásové struktury pro křemík, germanium a GaAs. Koncentrace vlastních nositelů proudu, popis příměsí, donory a akceptory, příměsová vodivost. Termoelektrické jevy.
8. Fermiho plochy v kovech
Pásové schéma: rozšířené, redukované, periodické, index pásu. Sestrojení Fermiho plochy v přiblížení téměř volných elektronů. Elektronové, děrové a otevřené orbitály. Výpočet pásové struktury metodou těsné vazby (lineární kombinace atomárních orbitalů LCAO), energetické závislosti $E(\vec{k})$ pro SC, BCC, FCC. Wignerova-Seitzova metoda. Zkoumání Fermiho ploch s pomocí magnetického pole.

9. Plazmony
Kolektivní excitace Fermiho moře elektronů. Dielektrická funkce, relativní permitivita $\varepsilon(\omega, \vec{k})$. Ode-
zva plazmatu v limitě dlouhých vln, definice plazmatu, plazmové frekvence ω_p . Disperzní zákon pro
elektromagnetické vlny. Plazmon - kvantum oscilací plazmatu. Elektrostatické stínění, polariton.
10. Optické procesy
Ramanův rozptyl. Mezipásové elektronové přechody, sdružená hustota stavů. Exciton jako kvazi-
částice složená z elektronu a díry. Frenkelovy excitony s malým poloměrem (silně vázané), Mottovy-
Wannierovy excitony jako obdoba atomu vodíku (slabě vázané).
11. Pokročilé kapitoly
Supravodivost. Dielektrika, feroelektrika a piezoelektrický jev. Magnetická susceptibilita, paramag-
netismus, diamagnetismus, feromagnetismus. Curieova teplota.

Literatura

Literatura základní:

1. C. Kittel, *Úvod do fyziky pevných látek* - český překlad, ACADEMIA Praha, 1985.
2. C. Kittel, *Introduction to Solid State Physics*, Wiley, 2004.
3. R.F. Pierret, *Advanced Semiconductor Fundamentals*, Prentice Hall, 2002.
4. M. Razeghi, *Fundamentals of Solid State Engineering*, Springer, 2009.
5. M. De Graef, M.E. McHenry, *Structure of Materials: An Introduction to Crystallography, Diffraction and Symmetry*, Cambridge University Press, 2007.
6. N.W. Ashcroft, N.D. Mermin, *Solid State Physics*, Brooks Cole, 1976.

Literatura rozšiřující:

1. L. Mihaly, M.C. Martin, *Solid State Physics: Problems and Solutions*, Wiley-Interscience, 1996.
2. J. Kvasnica: *Matematický aparát fyziky*, ACADEMIA Praha, 2004.
3. E. Majerníková, *Fyzika pevných látek*, skriptá UP Olomouc, 1999.
4. C. Kittel, *Quantum Theory of Solids*, Wiley, 1987.

Literatura doporučená:

1. P.Y. Yu, M. Cordona, *Fundamentals of Semiconductors, Physics and Material Properties*, Springer, 2001.
2. C. Klingshirn, *Semiconductor Optics*, Springer, 2005.
3. J. Celý, *Kvazičástice v pevných látkách*, VUTIUM, Brno 2004.