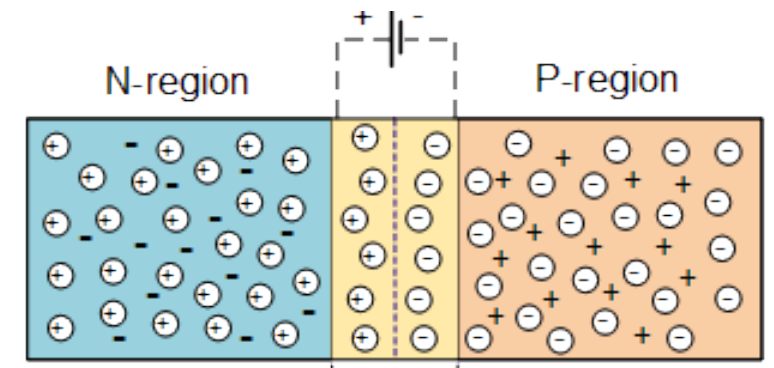
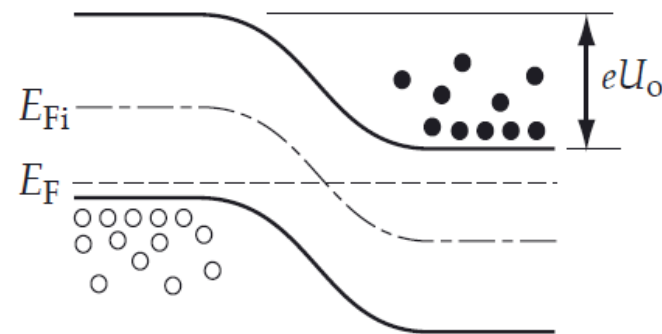
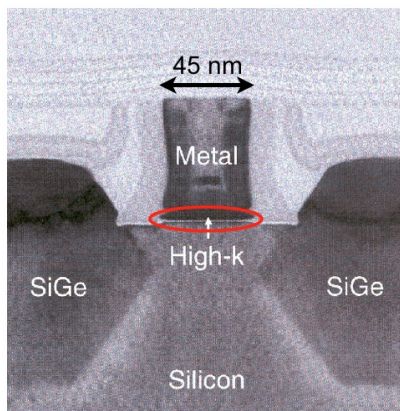


Välkomna till kursen i elektroniska material!



- **Innehåll:** fasta tillståndets fysik med fokus på halvledarfysik. Dioder, solceller, transistorer ...
- **Lärare:** Martin Leijnse (föreläsare, kursansvarig) - rum C 365C, email: martin.leijnse@ftf.lth.se
Florinda Viñas (övningsledare, laborationshandledare)
Martin Josefsson (laborationshandledare)
Erik Mårtensson (laborationshandledare)
- **Examination:** skriftlig tentamen, kursens formelsamling tillåten
- **Litteratur:** kompendium “Fasta tillståndets fysik”, 150 kr på Mediatryck (pdf på hemsidan)
på hemsidan finns övningshäfte, formelsamling, laborationshandledningar, ...
- **Hemsida:** alla dokument, repetitioner av föreläsningar, uppdateras kontinuerligt (kolla nyheter)
- **Laborationer:** 1) konduktivitet och Halleffekt (4h), laborationsrapport
2) pn-övergången (3h), muntlig redovisning i små grupper
- obligatoriska förberedelseuppgifter till båda laborationer!
- **Föreläsningar:** måndag 8:15 och onsdag 10:15, första tre veckorna även tisdag 10:15 eller 13:15
gemensamma med fasta tillståndets fysik, teknisk fysik (Carina Fasth) fr o m föreläsning 8
- **Övningar:** Två tillfällen per vecka, ingen gruppindelning, även ok att gå på teknisk fysiks övningar

Information - kursplan

Syfte

Under kursens första del studeras, med utgångspunkt från den kvantmekanik som t.ex. behandlats i kursen Kvantfenomen och nanoteknologi, *fasta material och då särskilt deras elektriska egenskaper*. Därefter studeras enklare elektroniska komponenter som *pn-övergången och kortfattat även transistorer*. Därmed knyter kursen direkt an till de tillämpningar som behandlas i den senare följande kursen i Ellära och elektronik. Dessutom diskuteras översiktligt även materias *optiska och dielektriska egenskaper*.

Mål

Kunskap och förståelse

För godkänd kurs skall studenten

- kunna beskriva och med enkla modeller *förklara fasta materials egenskaper*, särskilt med avseende på *elektriska tillämpningar*
- kunna förklara enklare *elektroniska komponenters funktion*

Färdighet och förmåga

För godkänd kurs skall studenten

- kunna förstå i kursen använda *modellers förutsättningar, möjliga användningsområden och begränsningar*
- kunna genomföra och utvärdera *experiment* samt skriva *laborationsrapport*

Kursinnehåll

Elektronens partikel- och vågegenskaper, bindning i kristaller. Elektronstruktur: fri-elektronmodellen och bandstruktur. Elektrisk ledningsförmåga; metaller, halvledare och isolatorer. Elektroniska komponenter: pn-övergången och introduktion till bipolära och fälteffekt-transistorer. Översikt över materials optiska och dielektriska egenskaper.

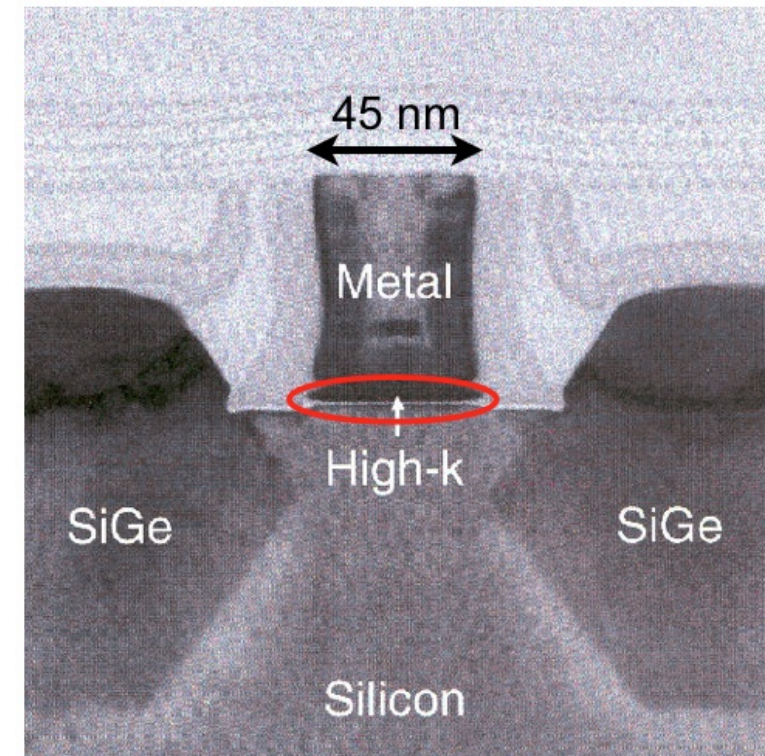
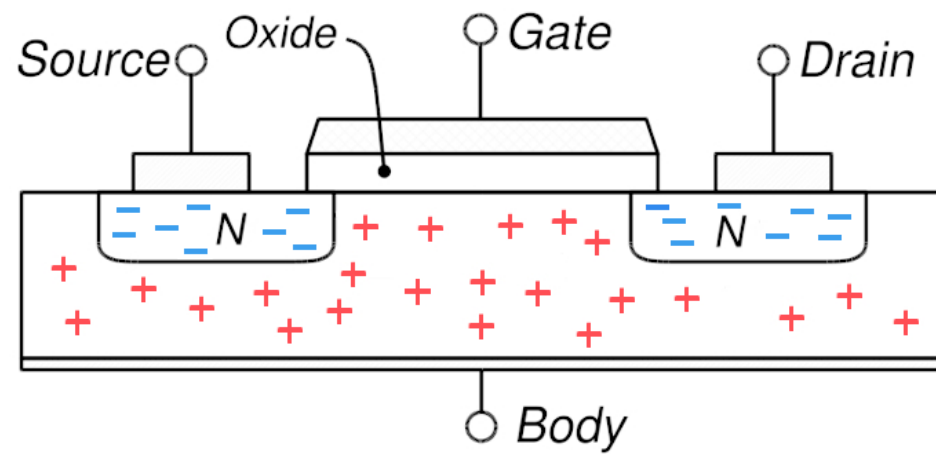
Information - vad är viktigt/svårt?

Brukar anses vara en svår kurs, men viktig för utbildningen

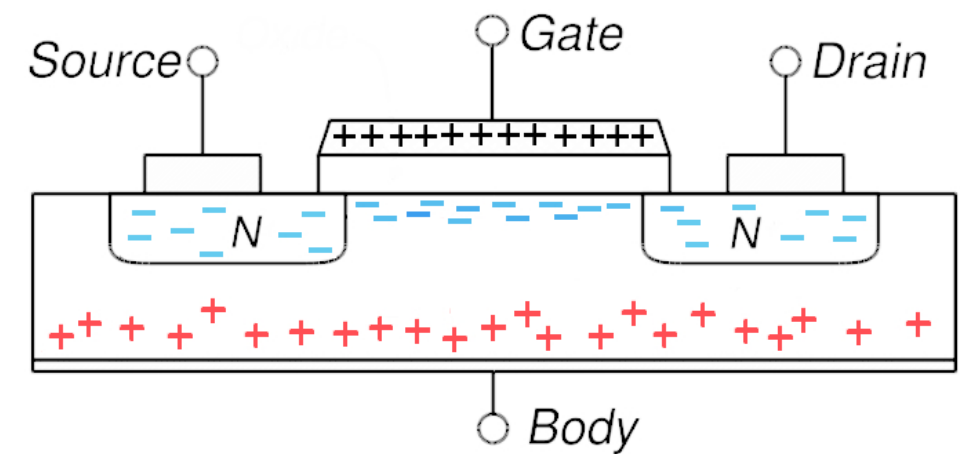
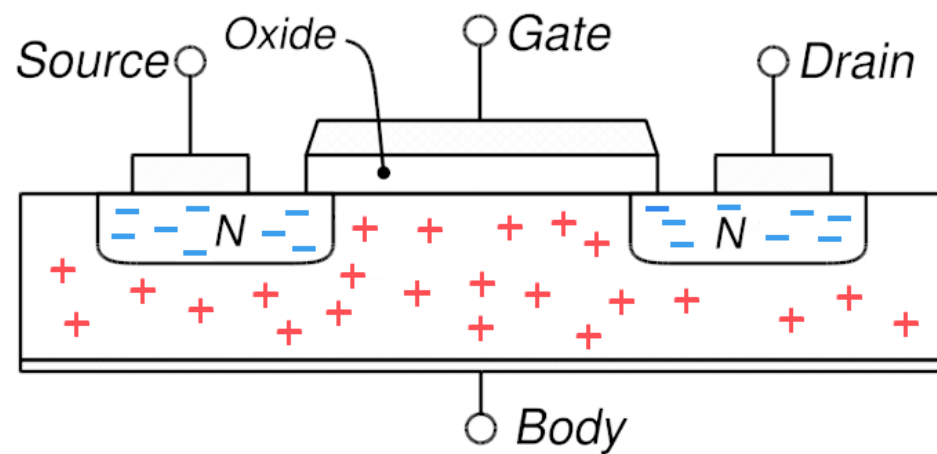
- Viktigt:**
- Problemlösningssförmåga
 - Fysikalisk intuition, förmåga att föra fysikaliska resonemang

Råd: försök *förstå* texten, räkna själv mellansteg, skriv egen sammanfattning, fråga, gå på övningarna(!), diskutera lösningar och problem med övningsledaren/föreläsaren

Motivation - MOSFET



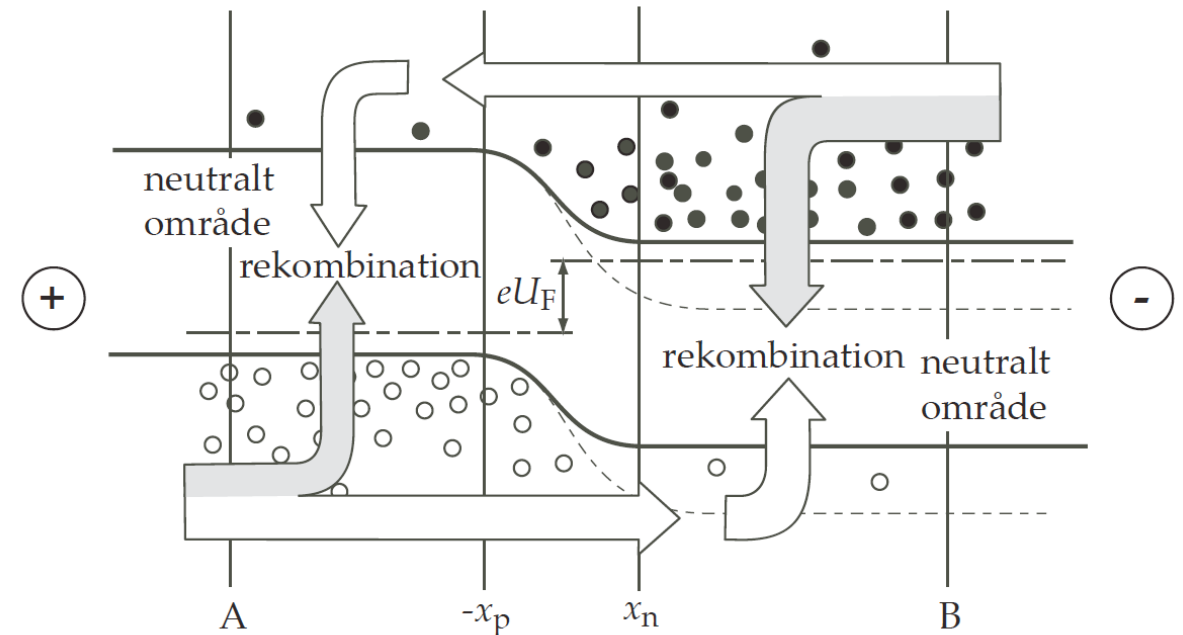
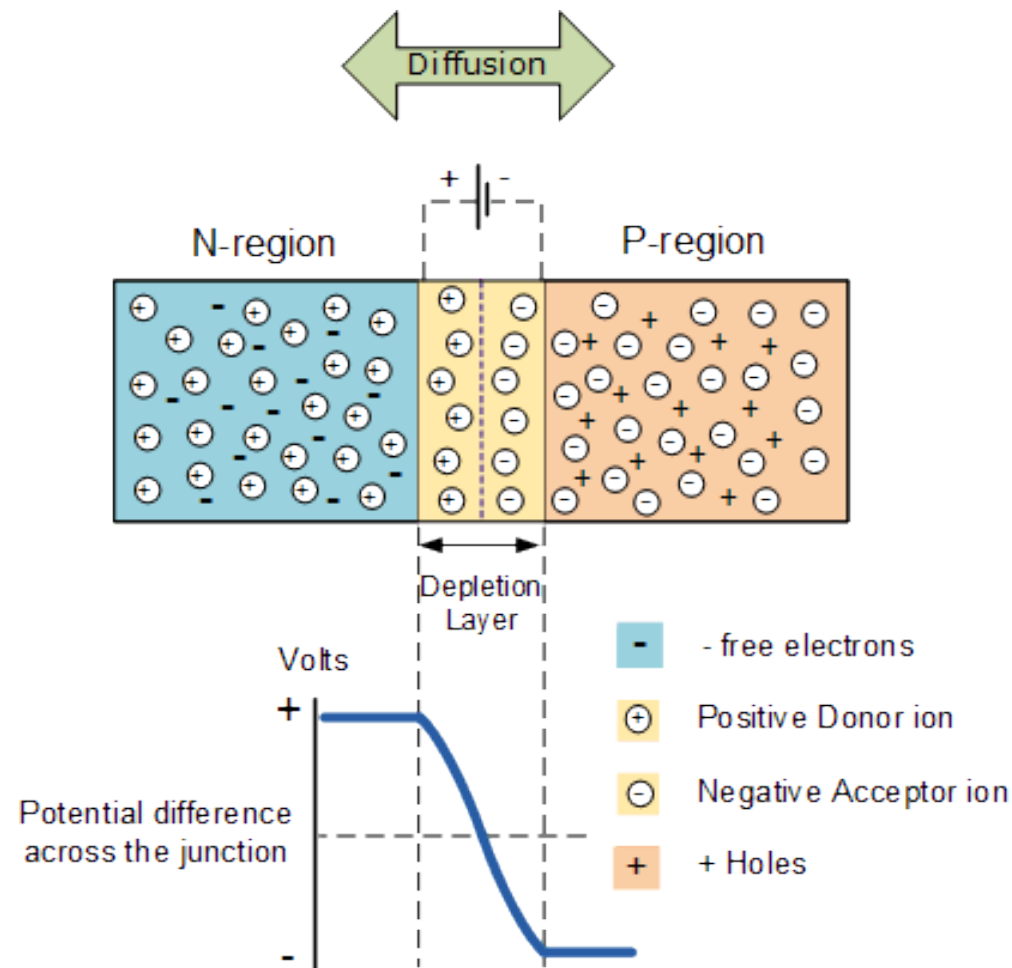
Motivation - MOSFET



Gatespänningen kontrollerar kanalen mellan source och drain

➡ kontrollerar om transistorn leder ström

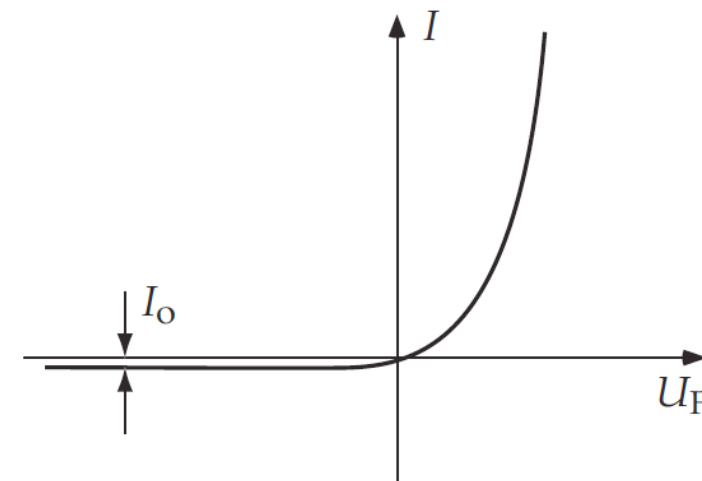
Motivation - Dioder, solceller, LEDs



pn-övergång:

Leder ström enbart för en polaritet på spänningen

Användbar i LEDs, solceller, ...



Hur räknar vi på dessa komponenter?

Lös Schrödingerekvationen:

$$i\hbar\Psi(x, t) = -\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2}{dx^2}\Psi(x, t) + V(x, t)\Psi(x, t) \longrightarrow I(V, V_G)$$

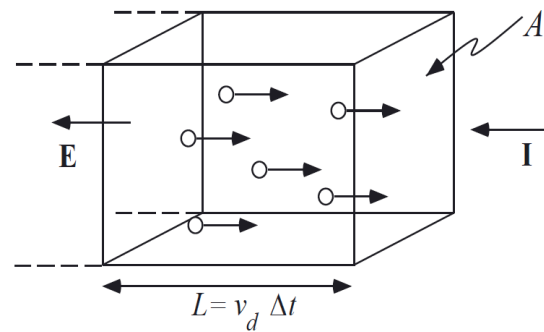
Alldeles för svårt! Vi måste ta en längre men mer framkomlig väg ...

Översikt kursinnehåll

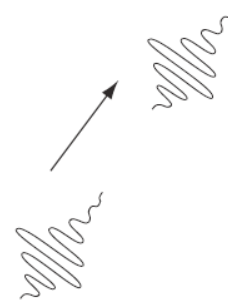
[1] Elektroner och atomer



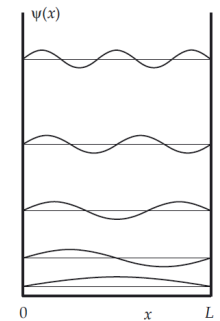
[2] Elektronen som partikel



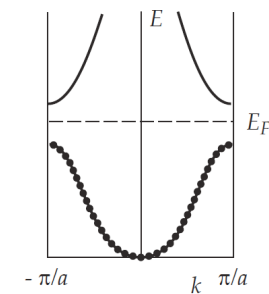
[3] Elektronen som våg



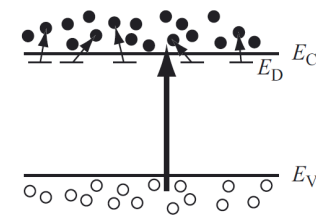
[4] Frielektronmodellen



[5] Bandstruktur



[6] Halvledare

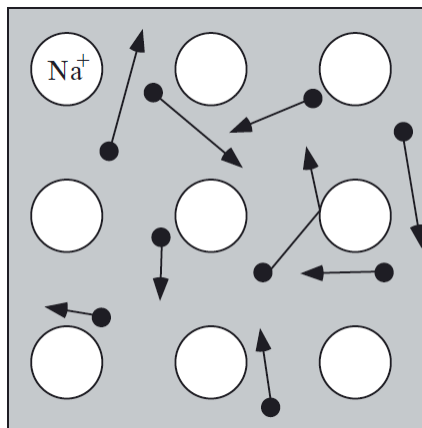


[7] pn-övergången

[8-10] Transistorer

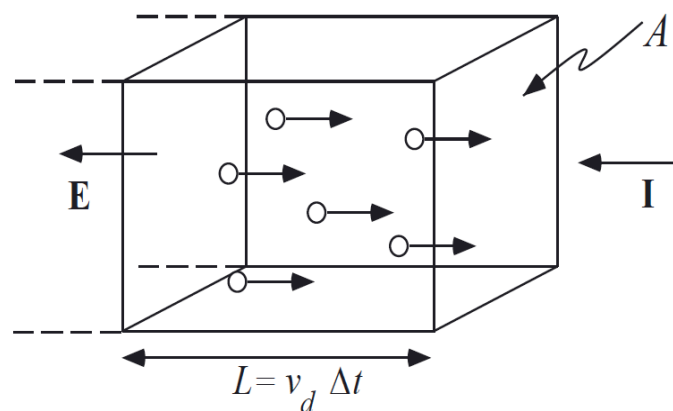
Elektronen som partikel

Metall: joner + gas av klassiska elektroner

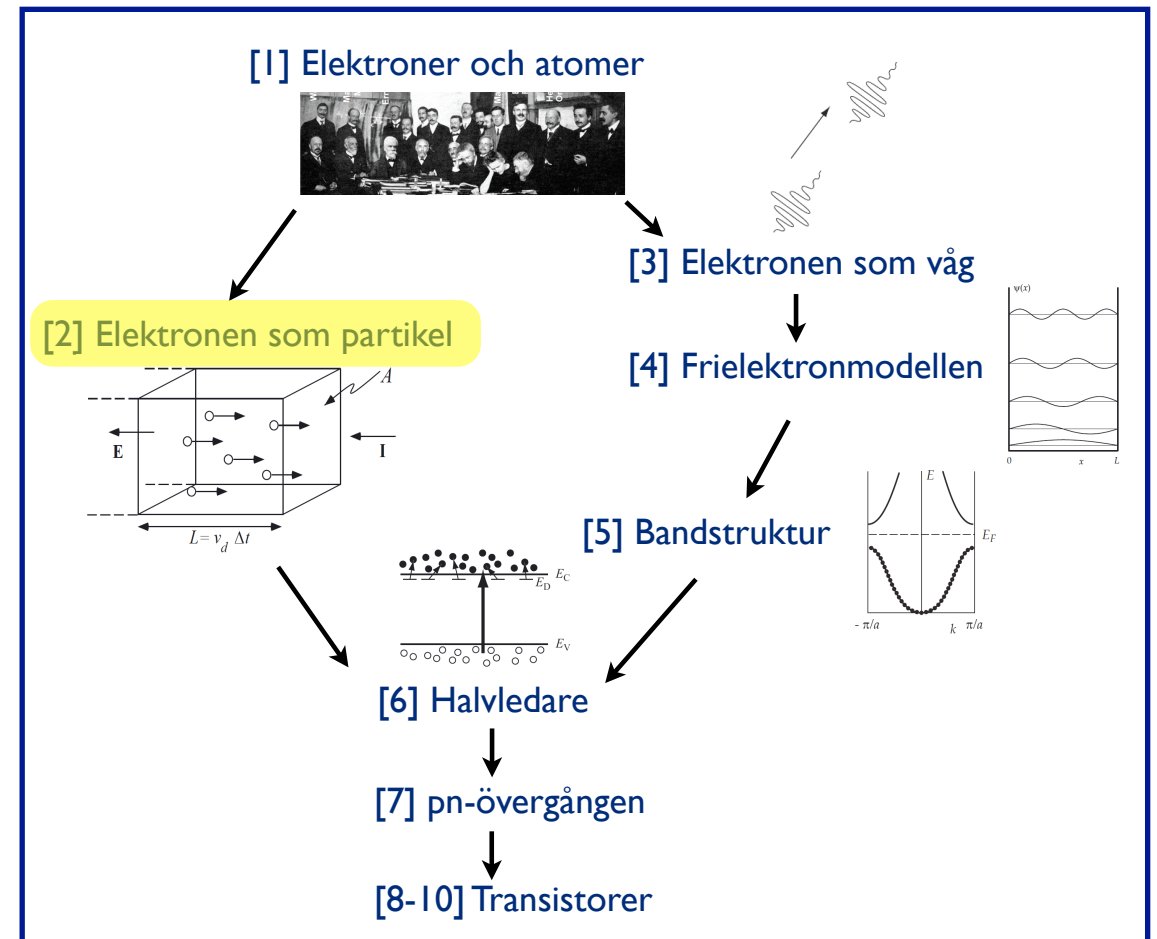


Diffusion: slumpmässig rörelse

➡ nettoflöde från hög till låg koncentration



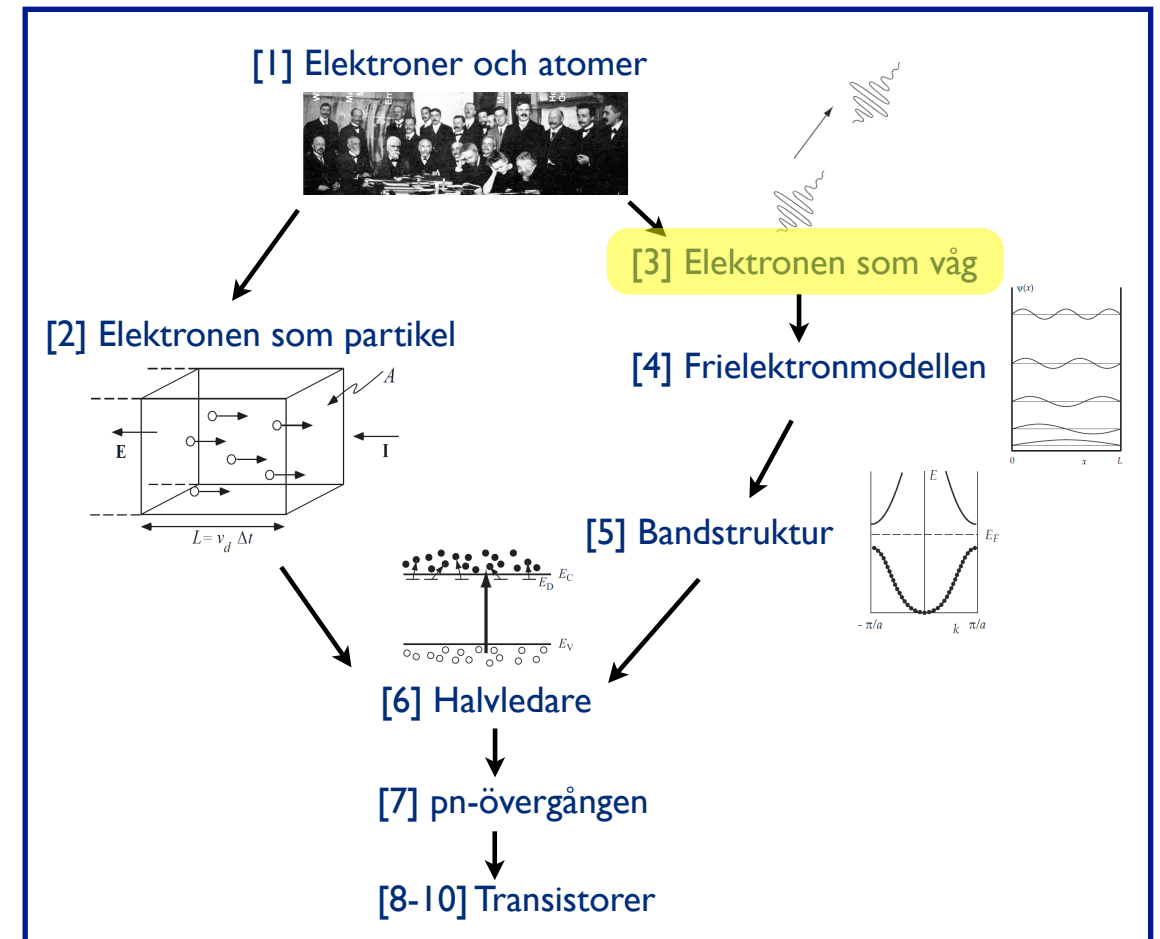
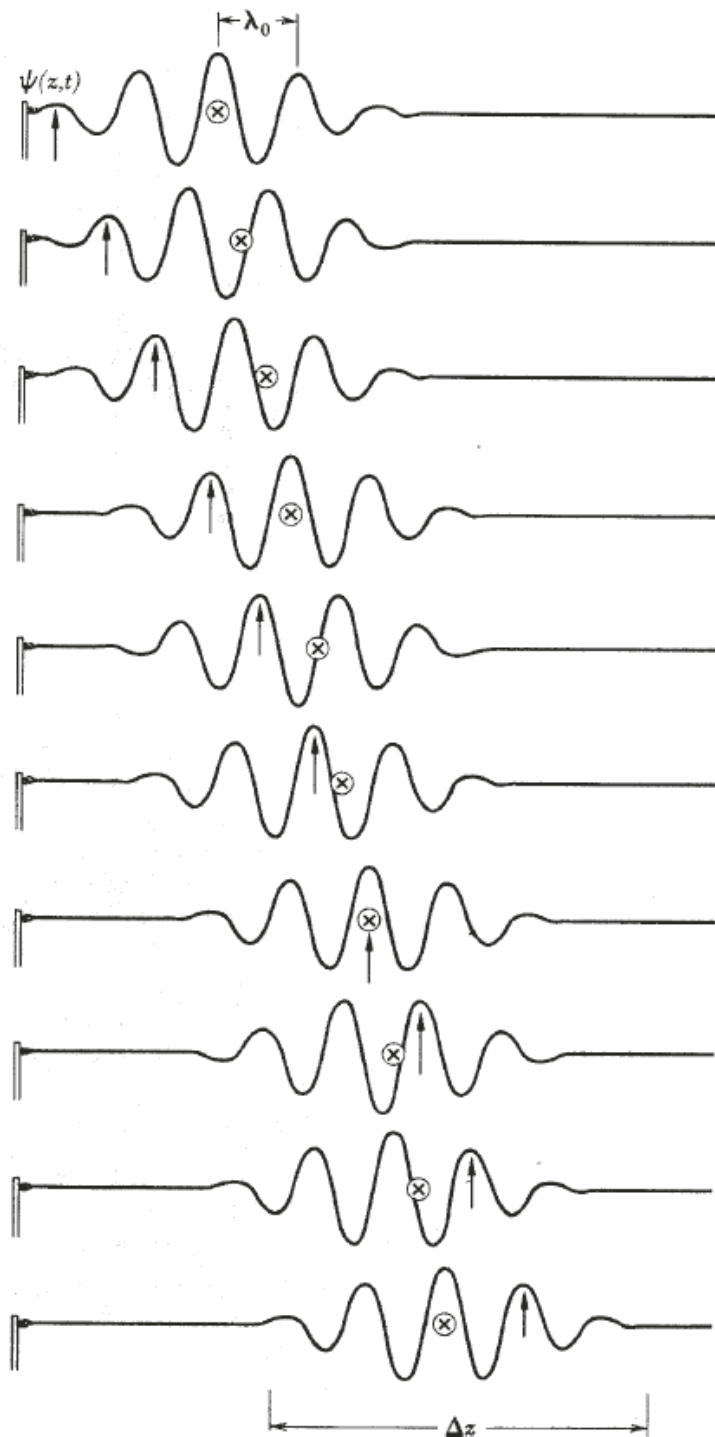
Elektriskt fält: även drift av elektroner



Kan inte förklara allt!

- Halvledare?
- Vad är hål?
- Värmekapacitet
- Kvantitativa förutsägelser

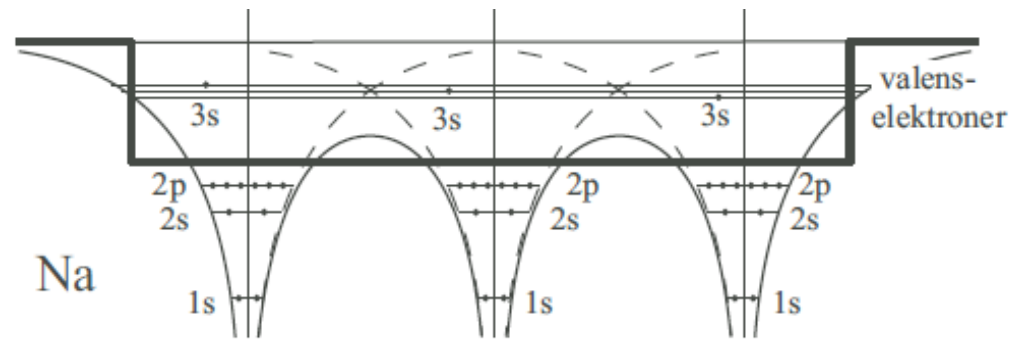
Elektronen som våg



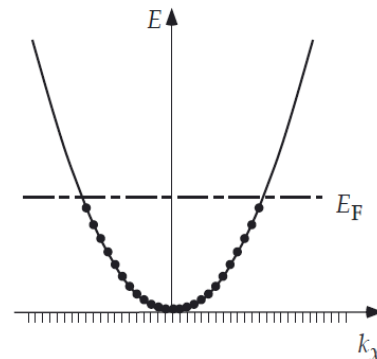
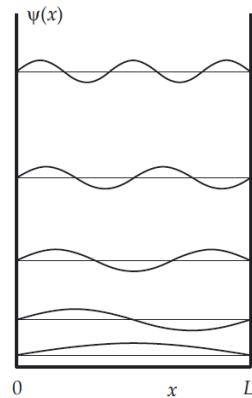
$$i\hbar\Psi(x,t) = -\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2}{dx^2}\Psi(x,t) + V(x,t)\Psi(x,t)$$

Frielektronmodellen

Metall: låda för kvantmekaniska elektroner



Positiva joner: attraktiv potential för elektroner

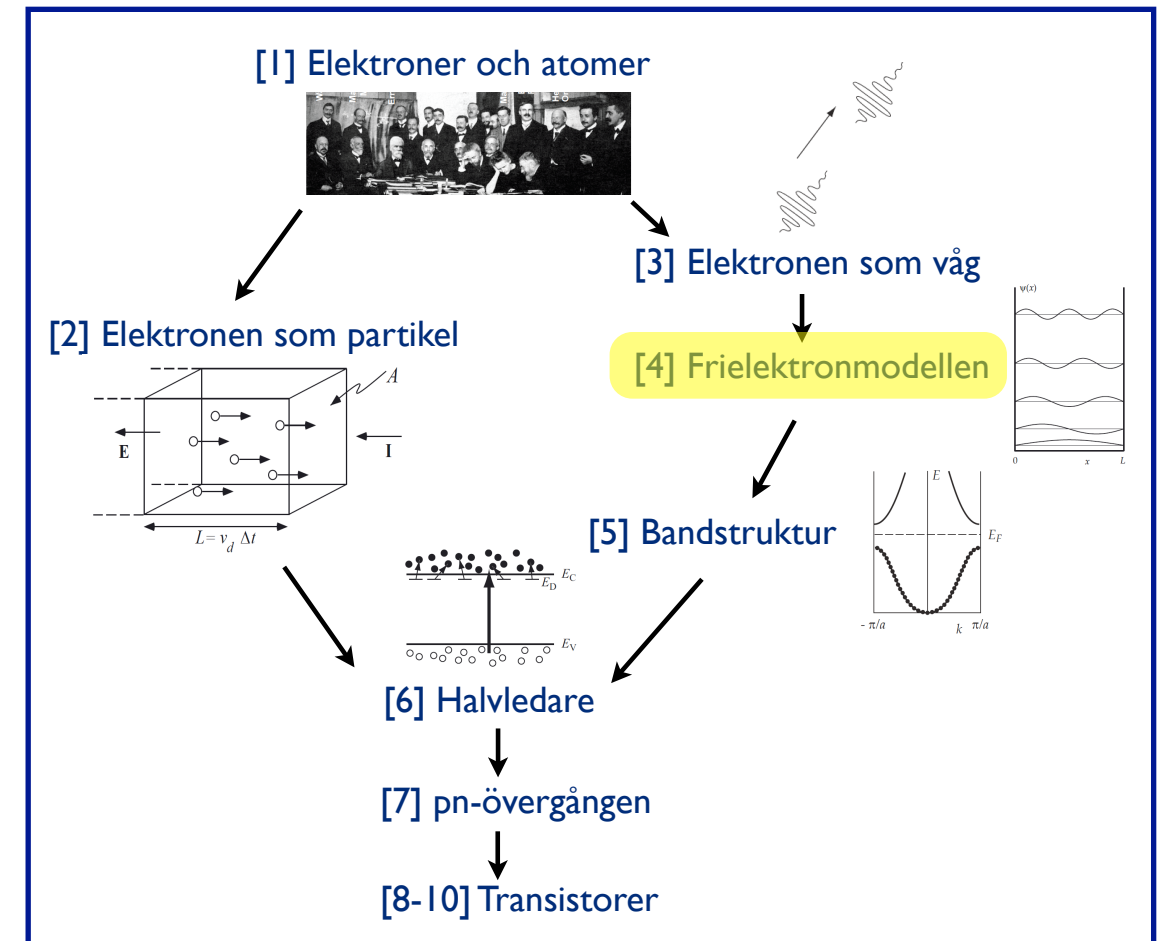


$$\Psi_n(x) \sim \sin(k_n x)$$

$$k_n = \frac{\pi n}{L}$$

$$E_n = \frac{\hbar^2 k_n^2}{2m}$$

Stor låda ➡ tätt liggande tillstånd (tillståndstäthet)

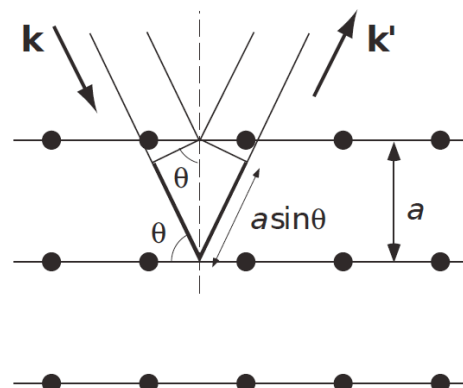
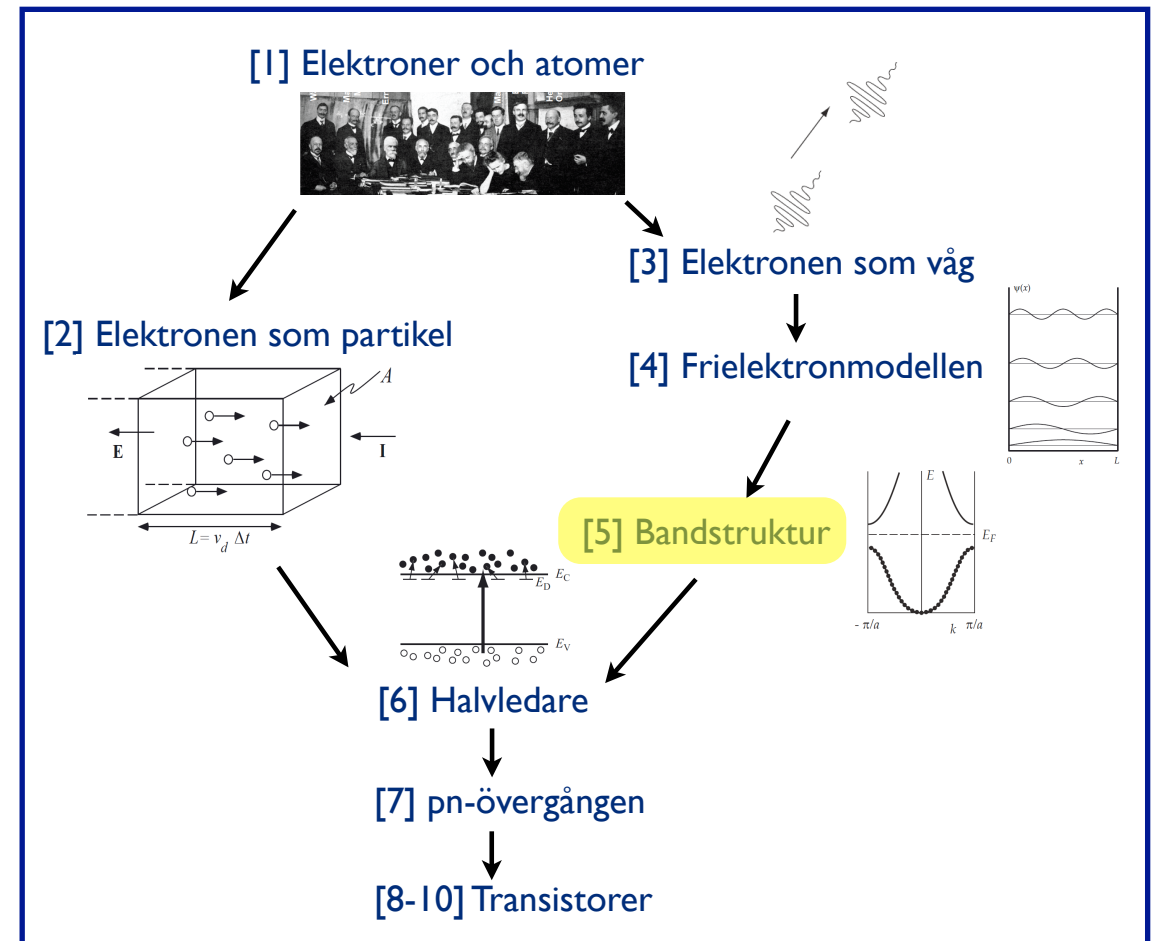
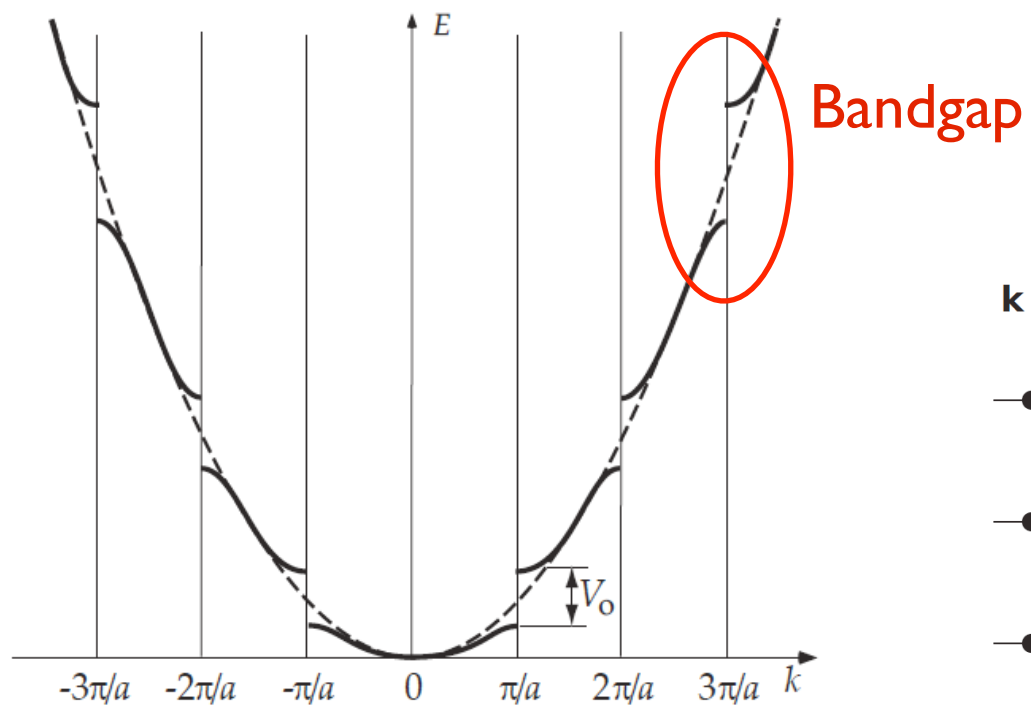
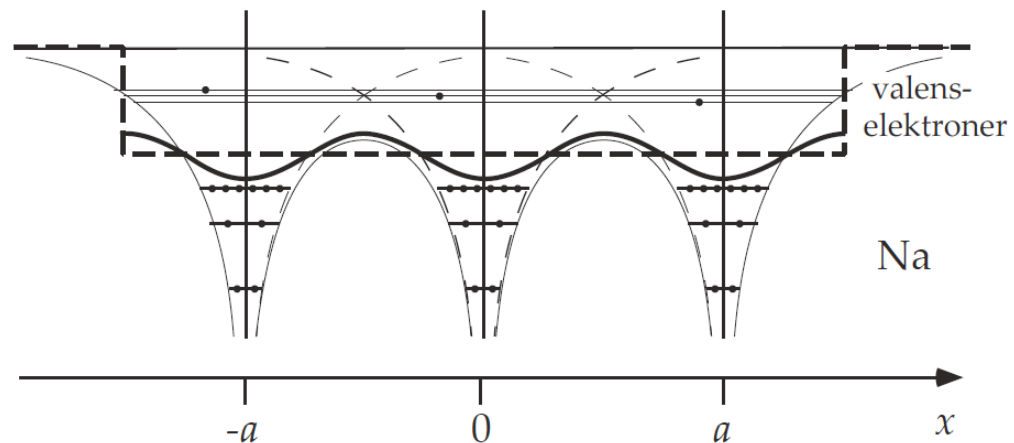


Kan inte förklara allt!

- Vad är hål?
- Varför halvledare och isolatorer?
- Kvantitativa förutsägelser

Bandstruktur: nästan-frielektronmodellen

Låda med bucklig botten (periodisk)

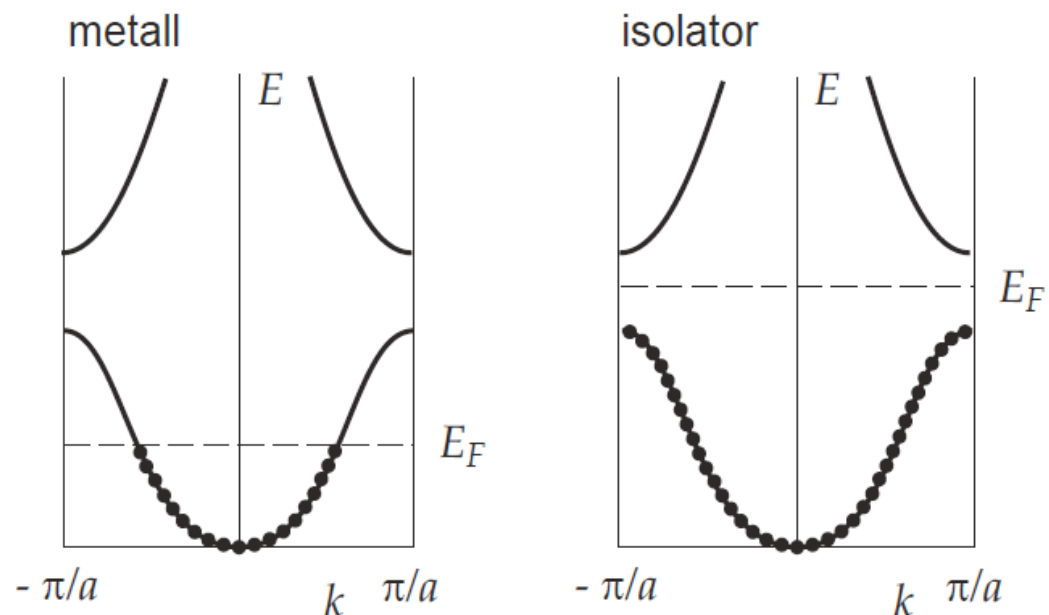
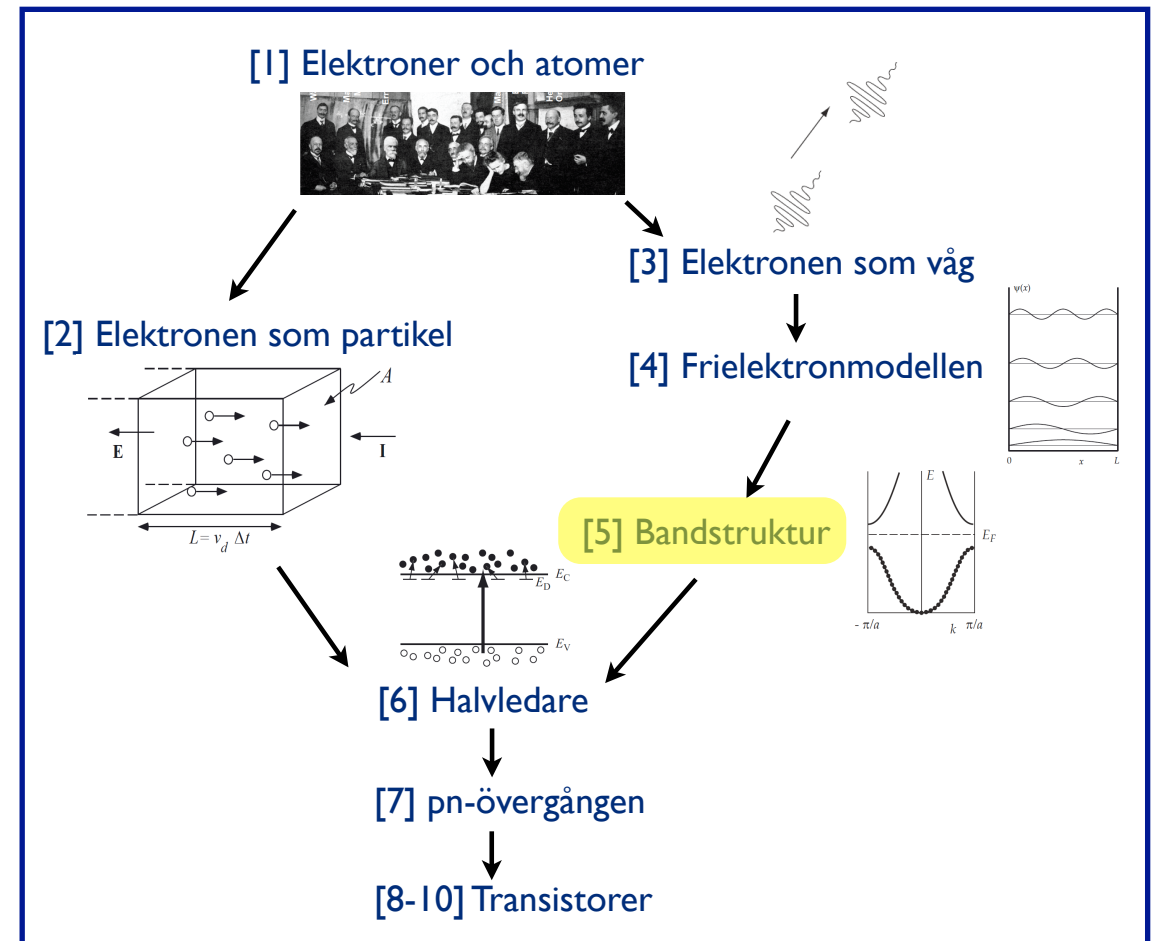
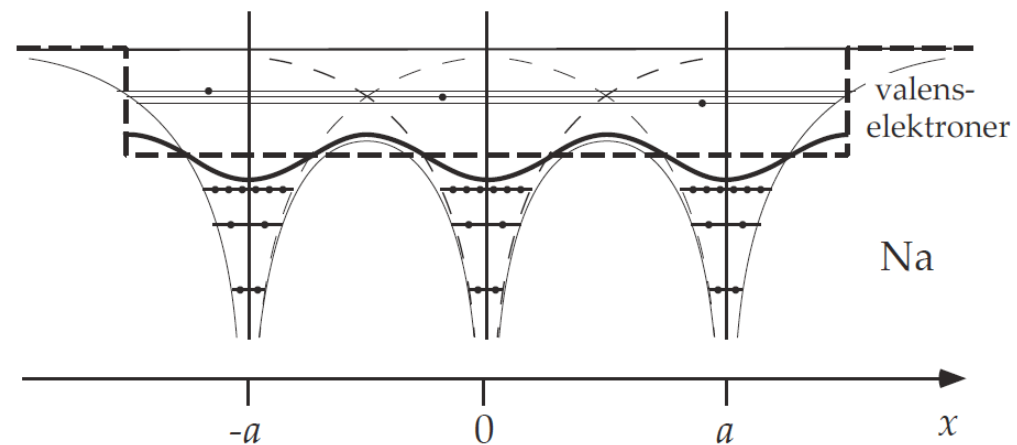


Konstruktiv interferens ($\theta = 0$):

$$\lambda = \frac{2a}{n} \longrightarrow k = \frac{\pi n}{a}$$

Bandstruktur: nästan-frielektronmodellen

Låda med bucklig botten (periodisk)

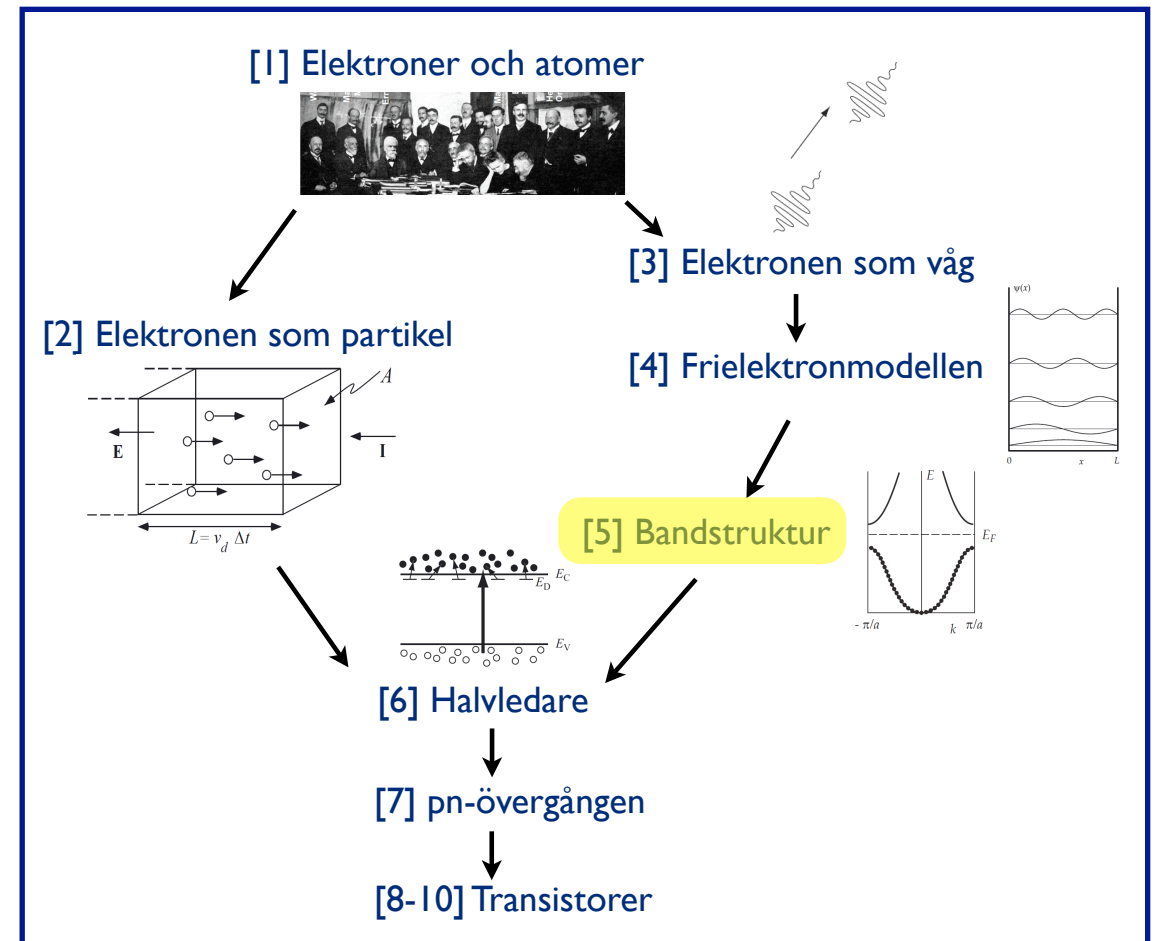
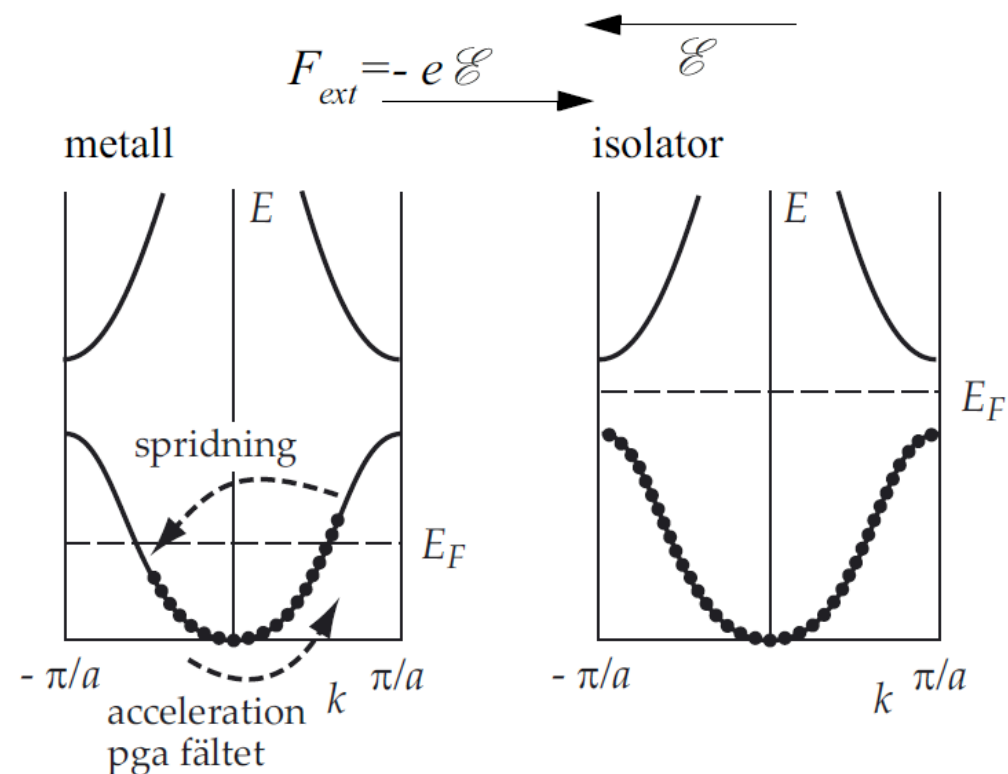
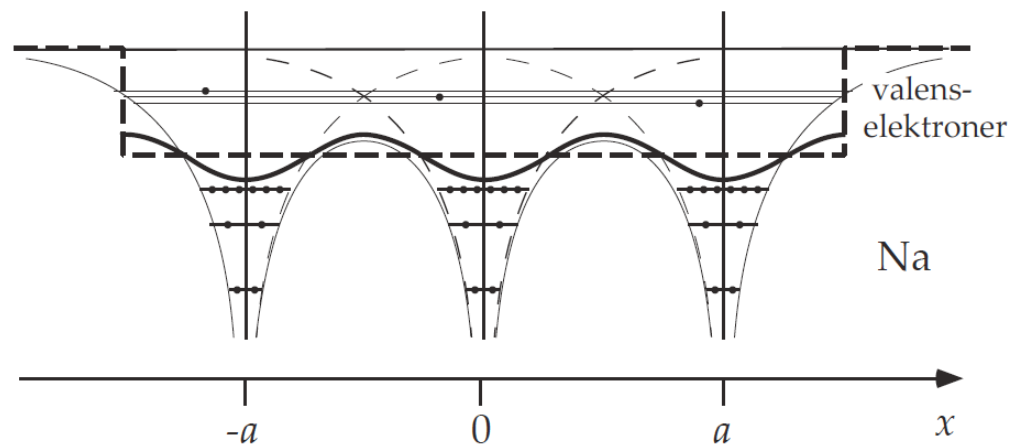


Metaller har fermienergin i ett band

Isolatorer har fermienergin i bandgapet

Bandstruktur: nästan-frielektronmodellen

Låda med bucklig botten (periodisk)

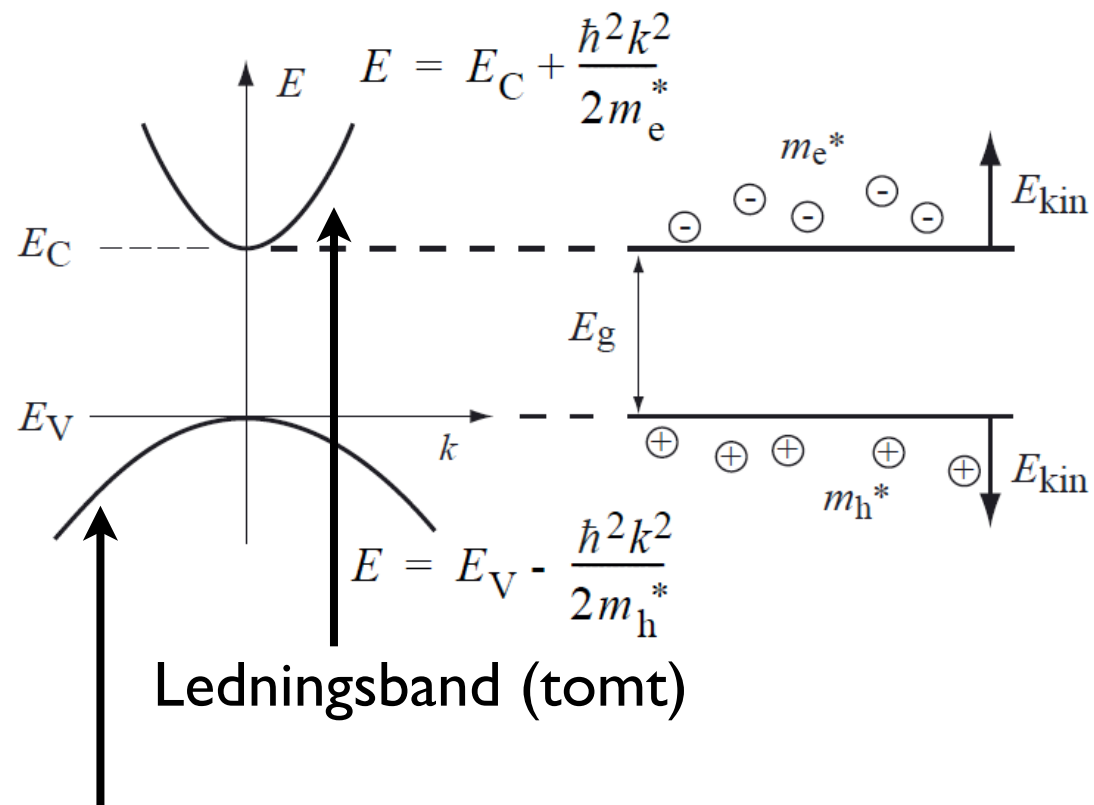


E-fält kan accelerera elektronerna i metallen

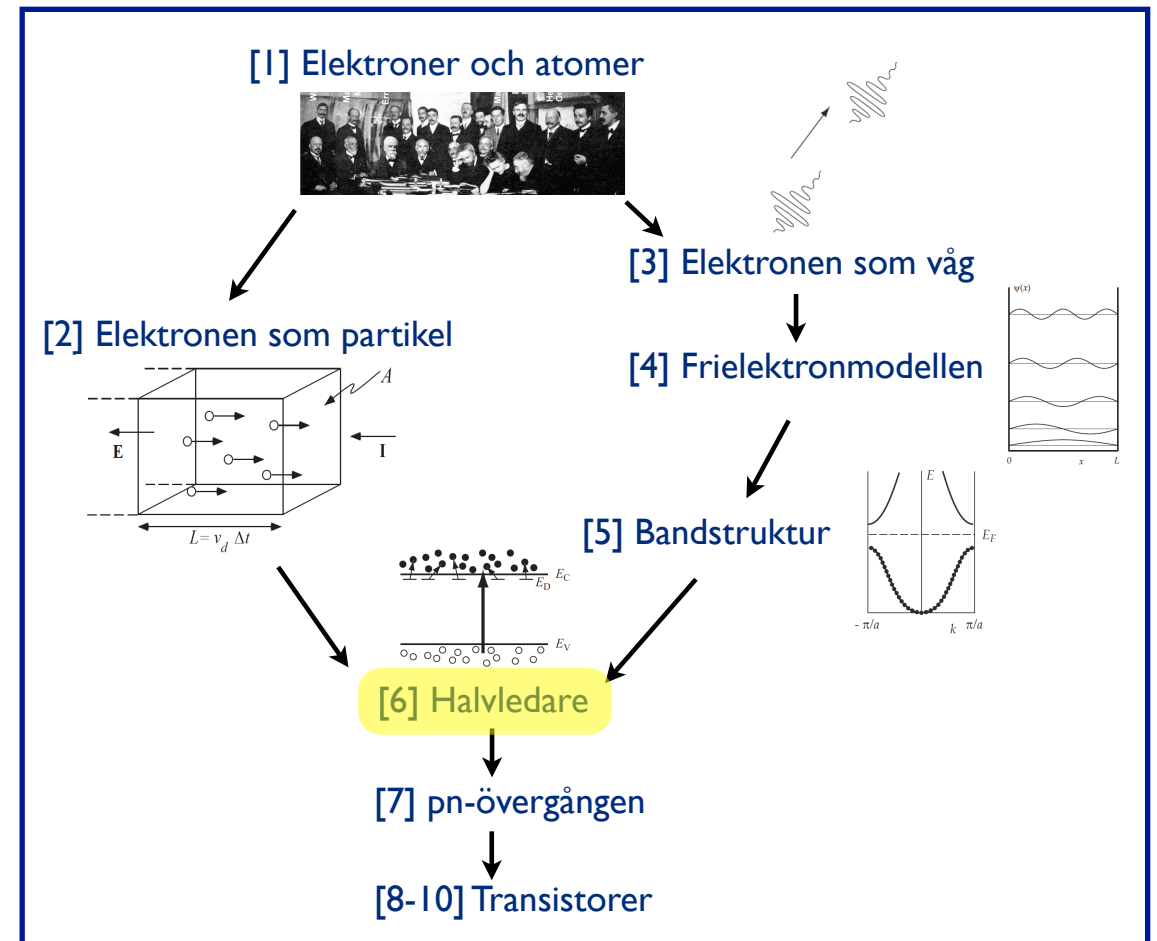
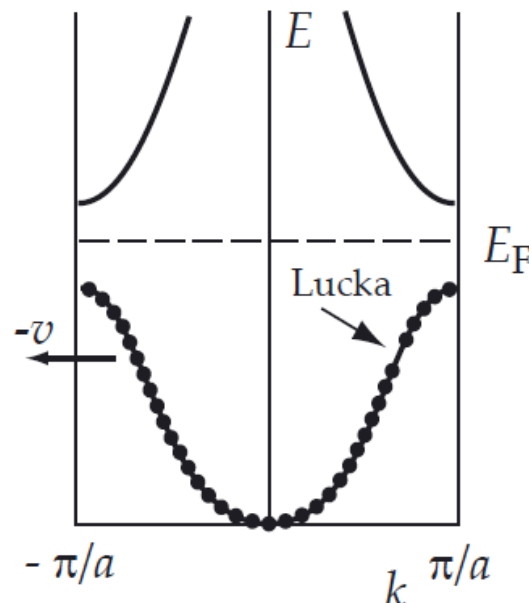
Elektronerna i isolatorn är låsta

Halvledare

Halvledare: isolator med litet bandgap



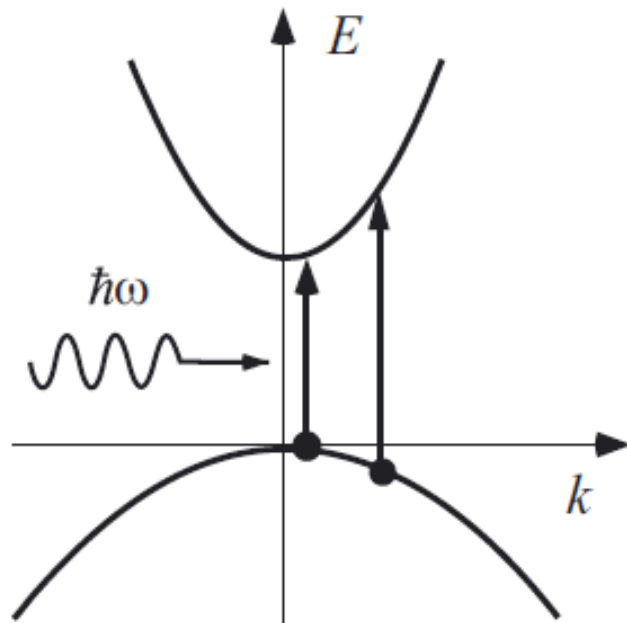
Valensband (fullt)



Vid ändlig temperatur är vissa elektroner exciterade över bandgapet. Kvar blir positivt laddade hål.

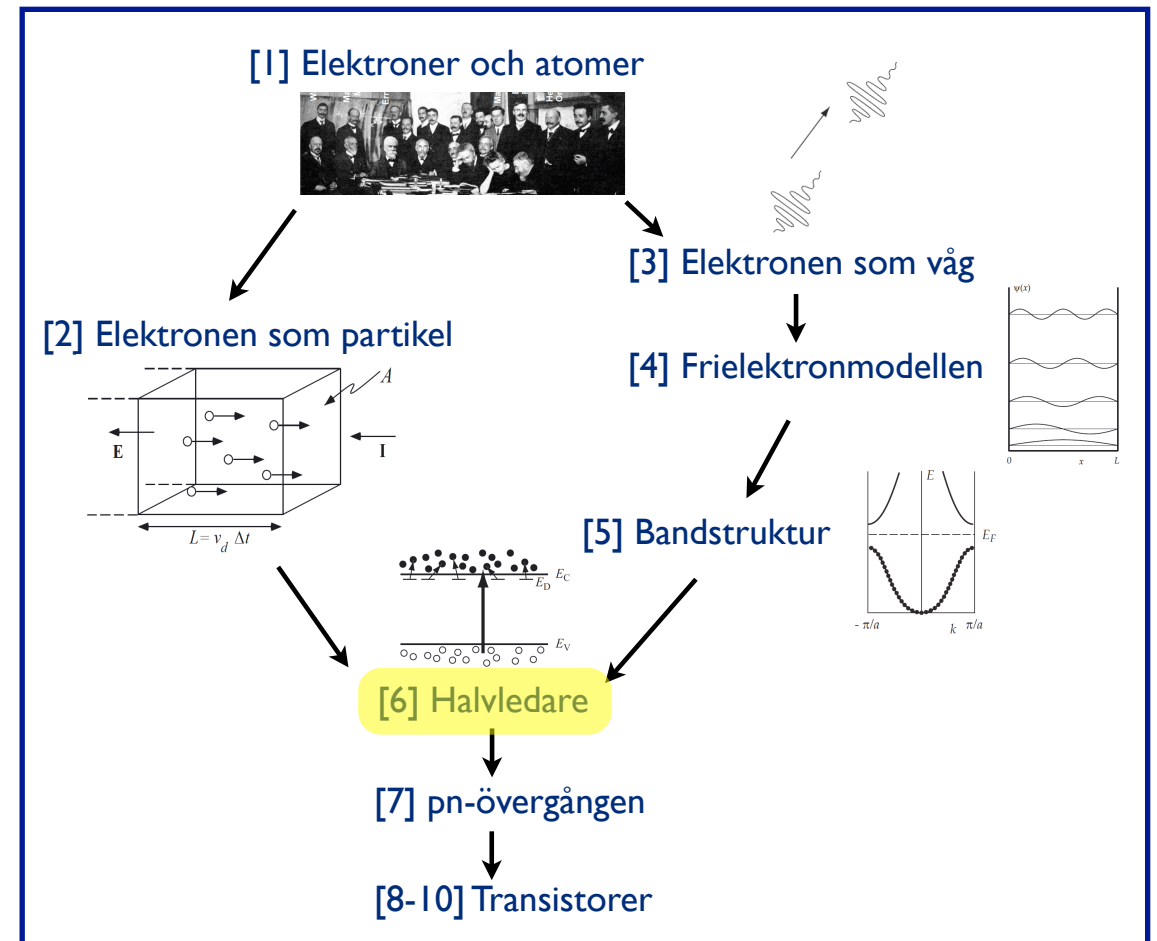
Både elektroner och hål kan leda ström

Halvledare

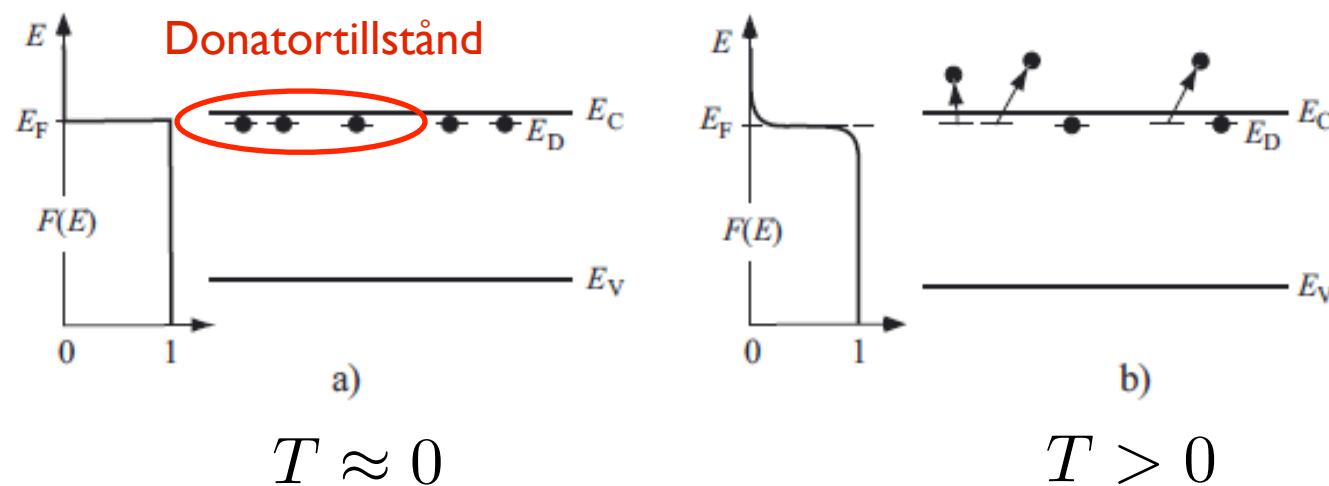
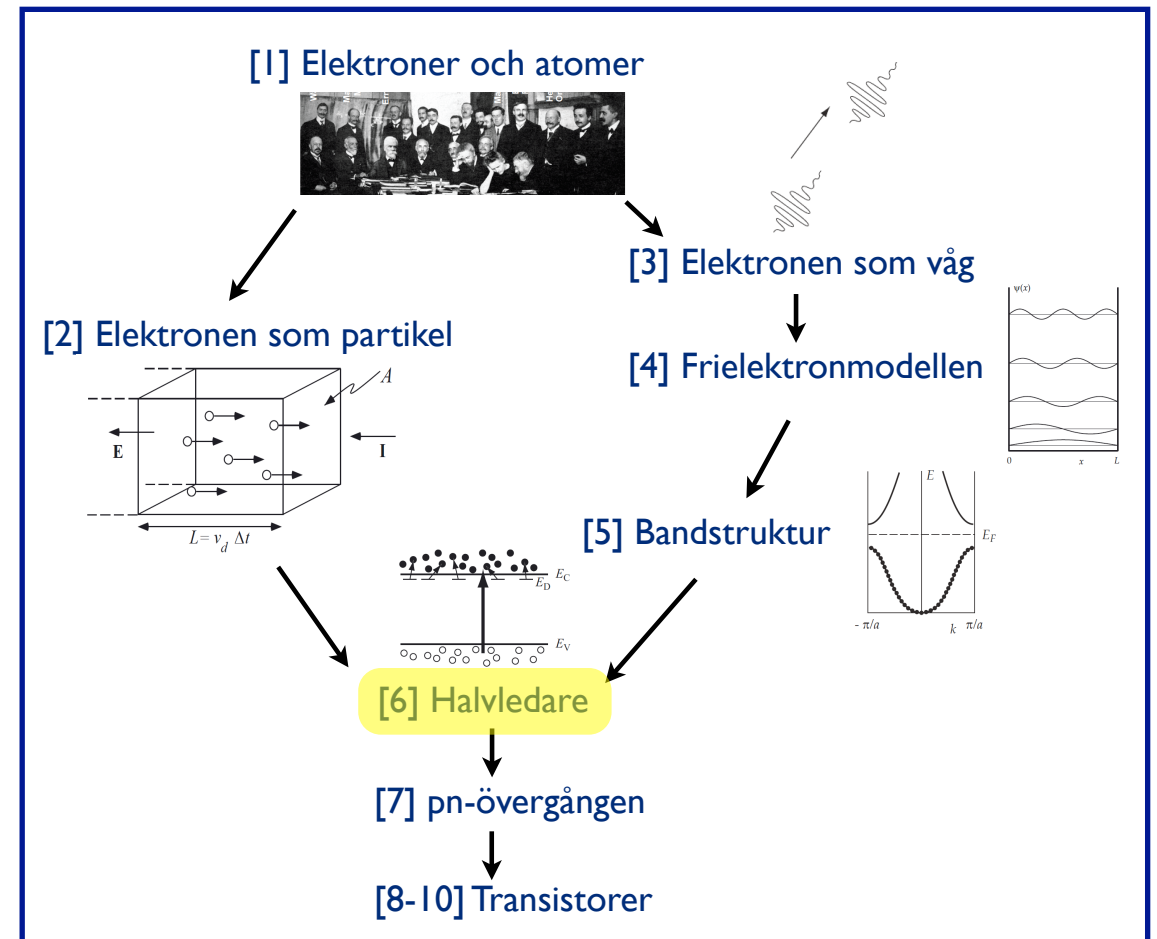
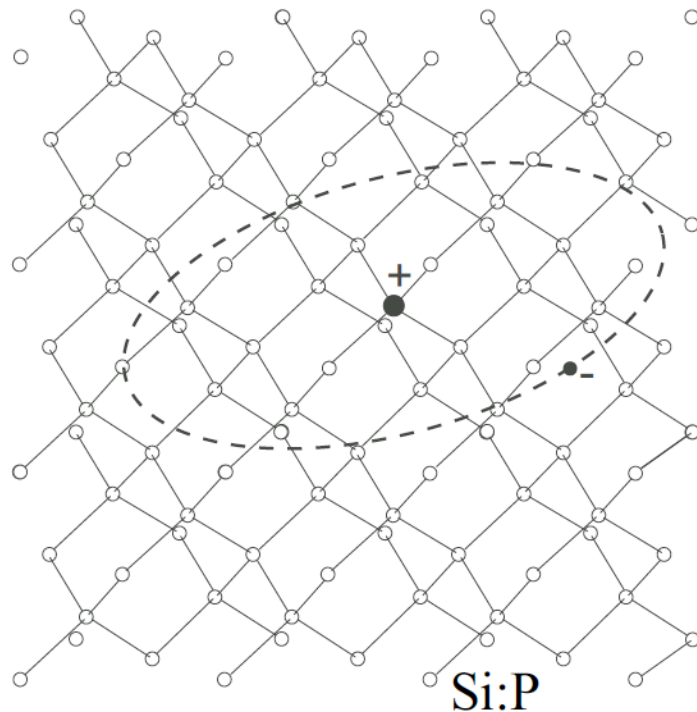


Fotoner med tillräckligt stor energi kan excitera elektroner över bandgapet.

Absorberar / avger ljus under en viss våglängd.



Halvledare

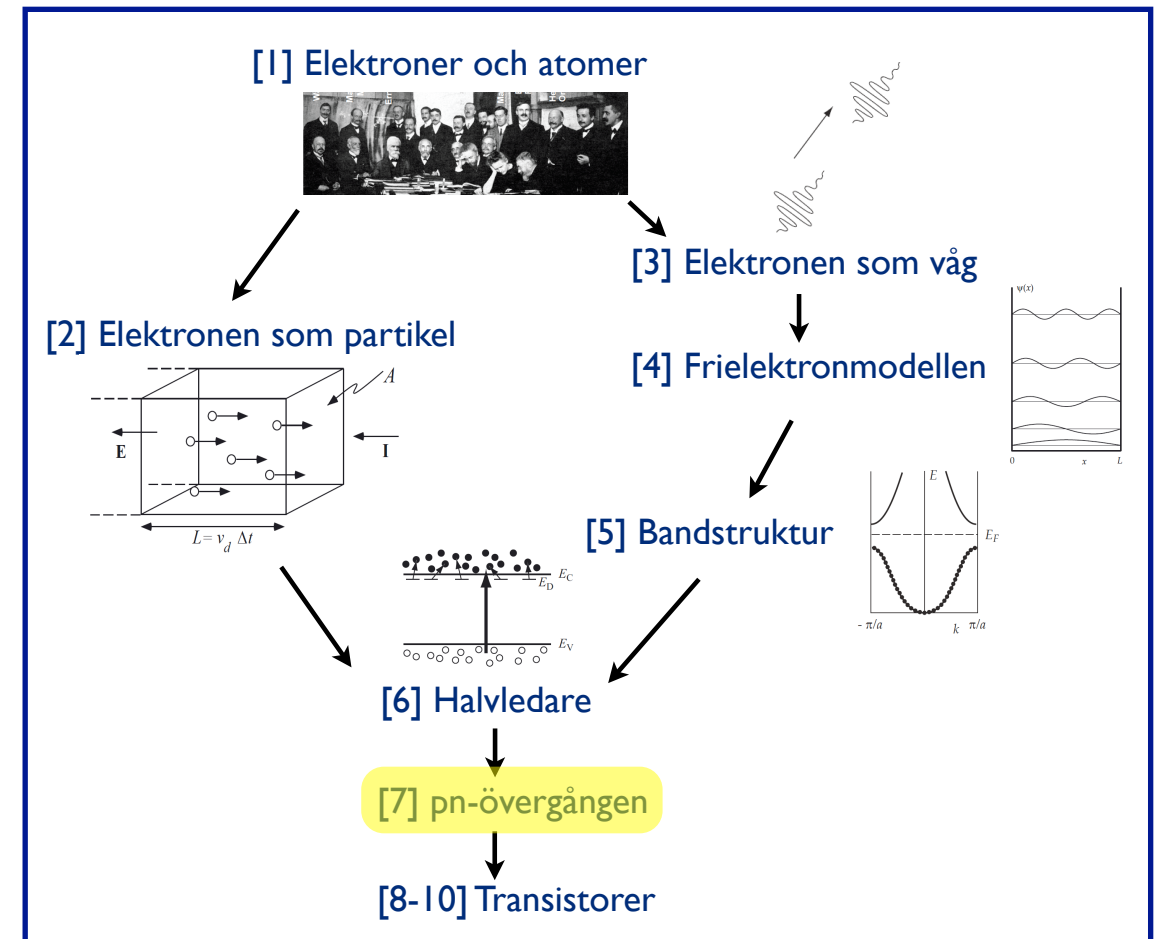
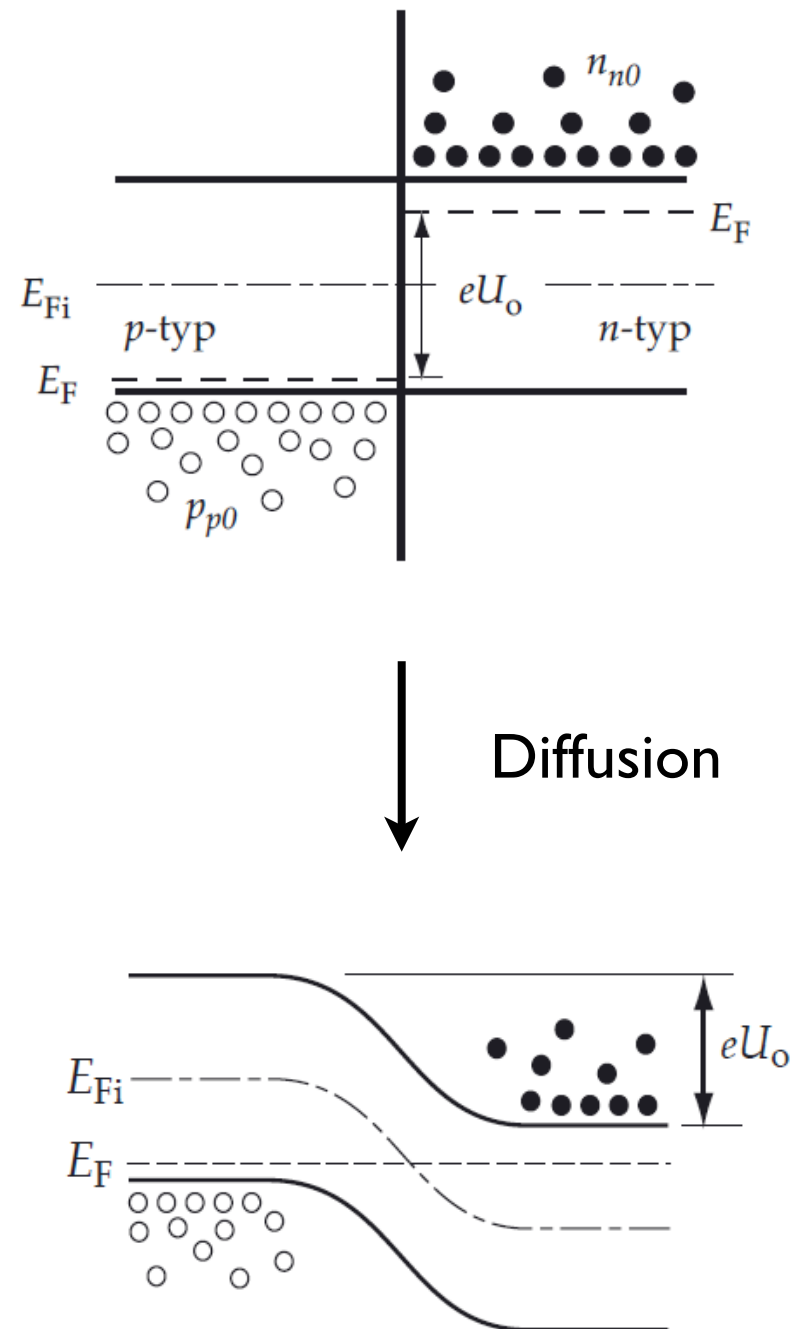


Dopning:

Ersätt ett fåtal atomer i halvledare med atomer som gärna ger ifrån sej eller tar upp elektroner

➡ fler fria laddningsbärare

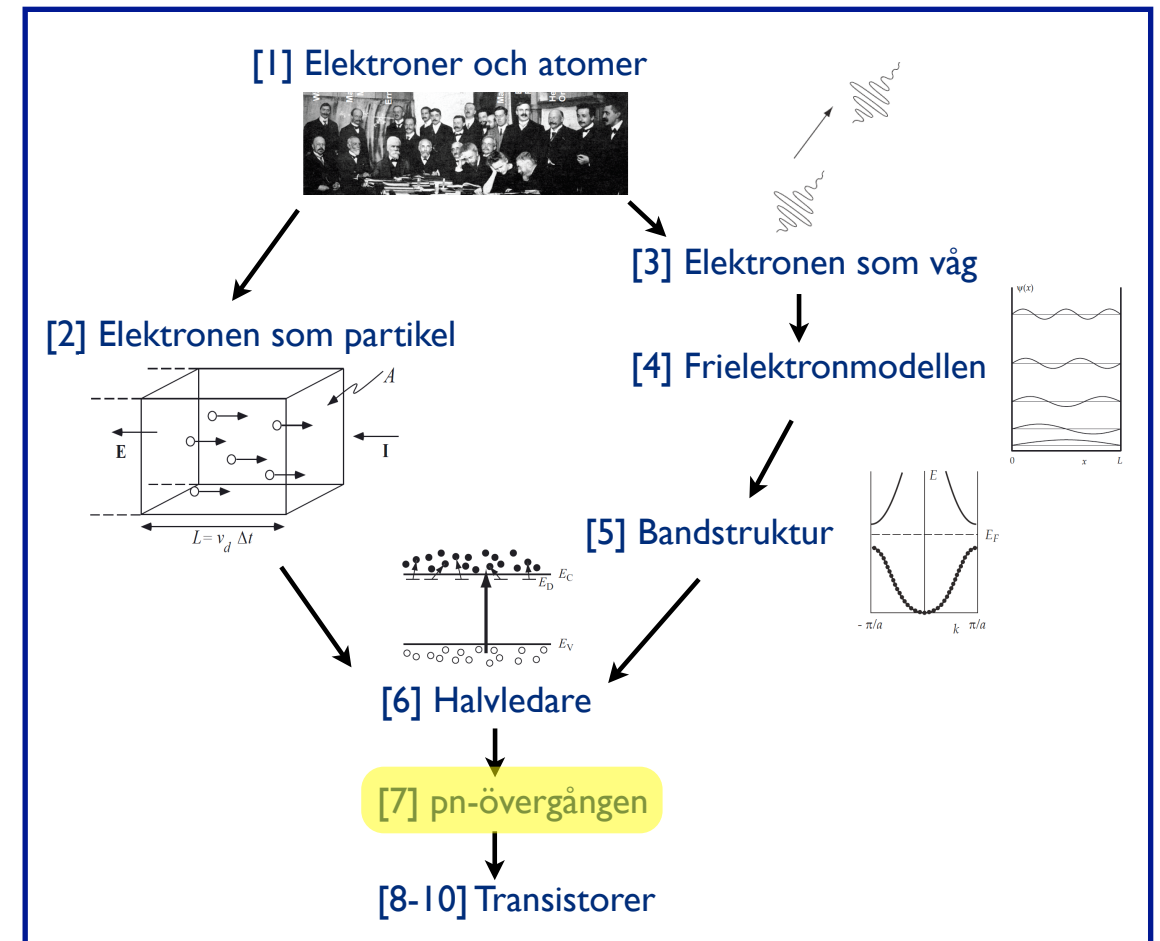
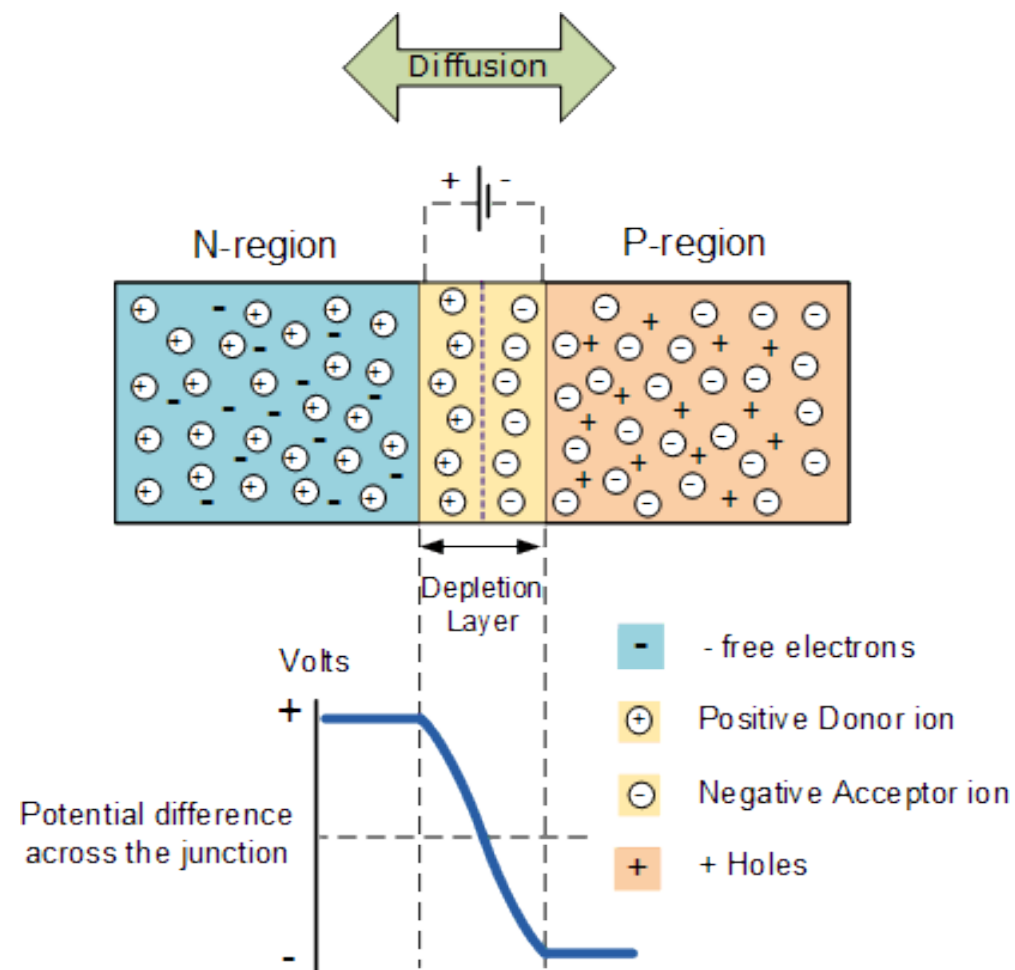
pn-övergången



Diffusion av elektroner och hål lämnar område av positivt respektive negativt laddade dopatomer

➡ elektriskt fält

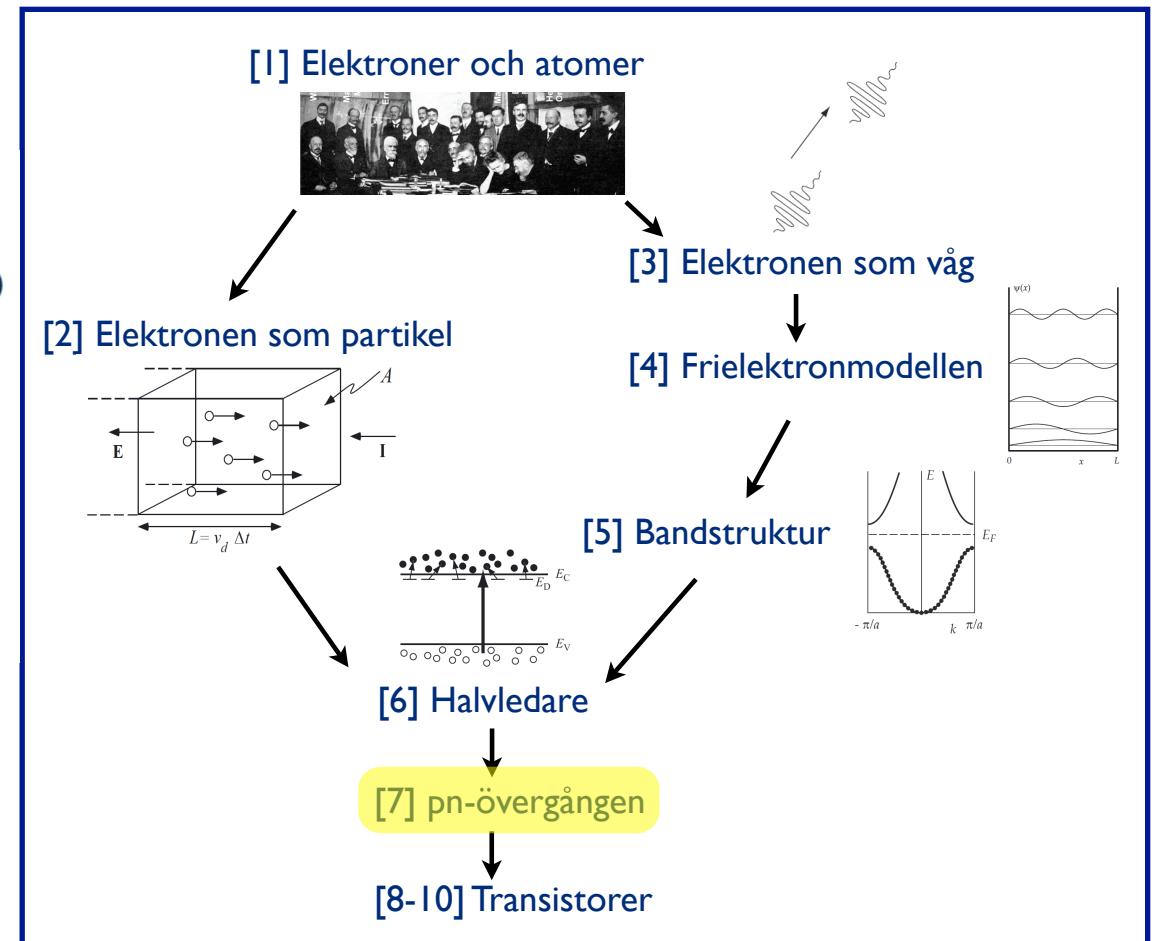
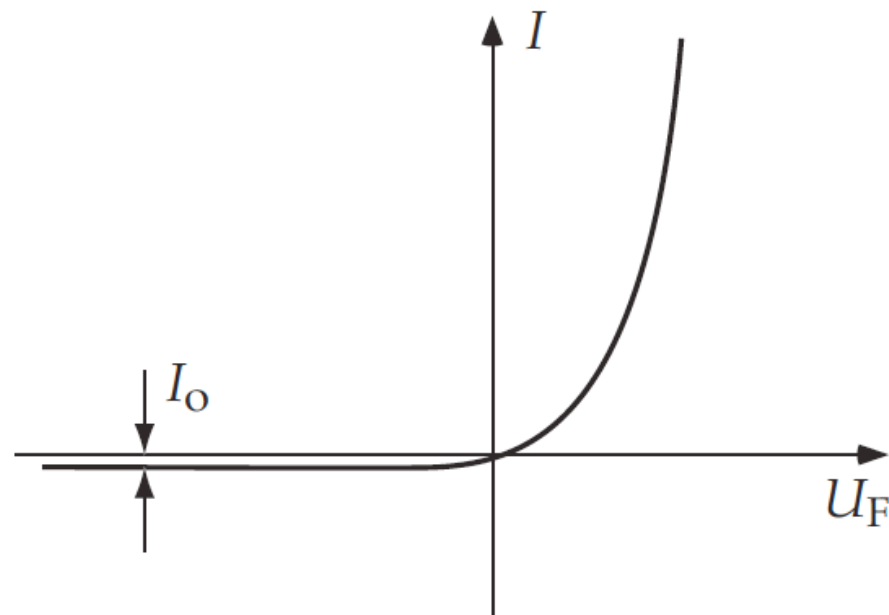
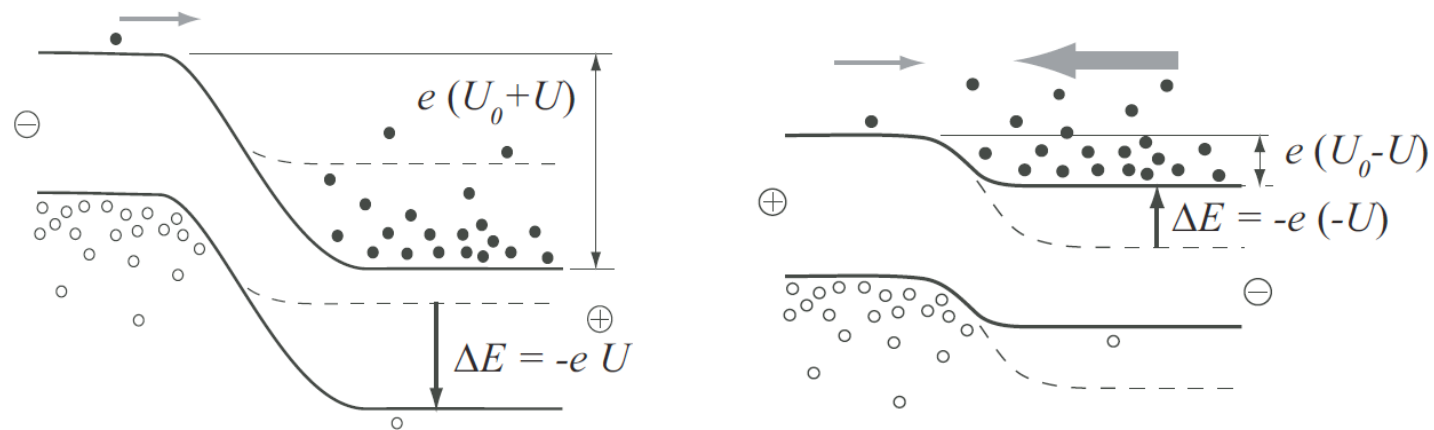
pn-övergången



Diffusion av elektroner och hål lämnar område av positivt respektive negativt laddade dopatomer

➡ elektriskt fält

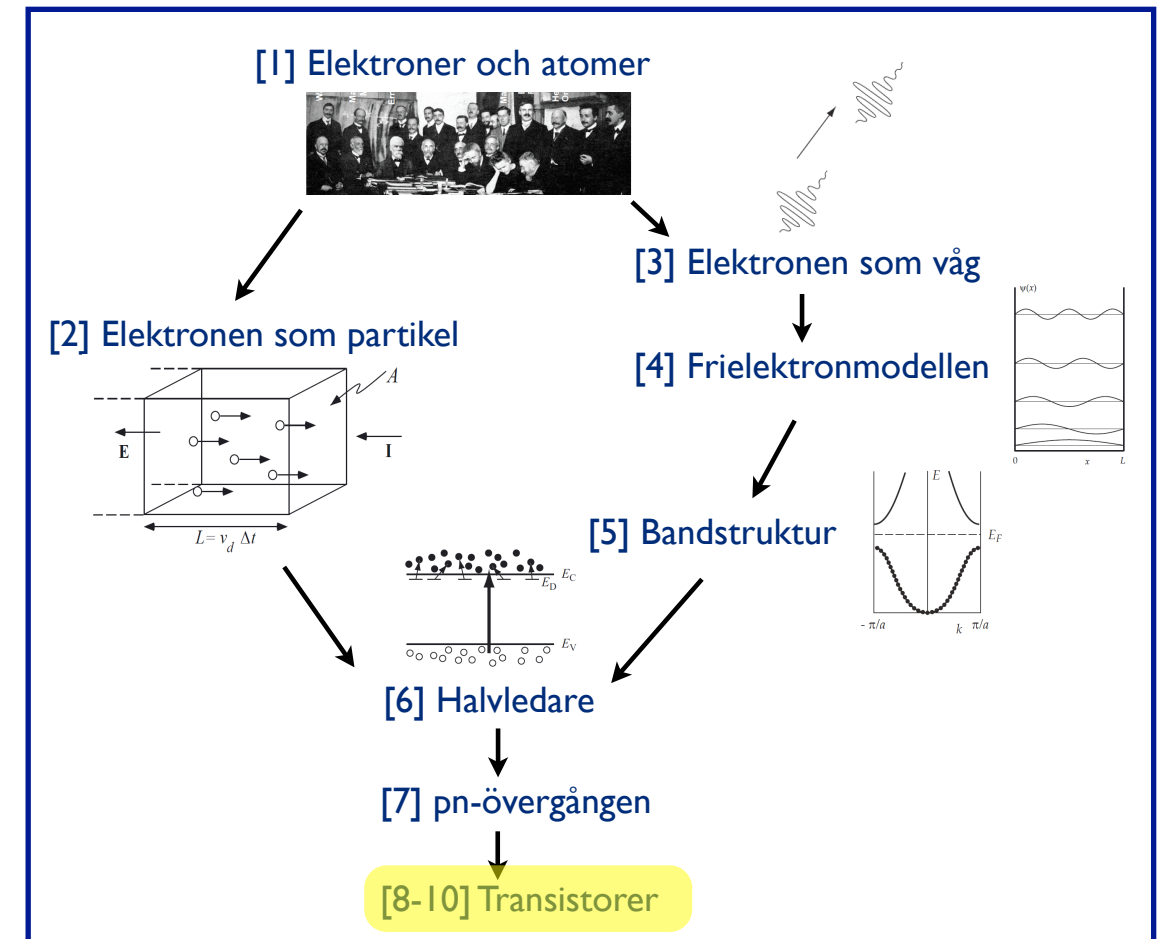
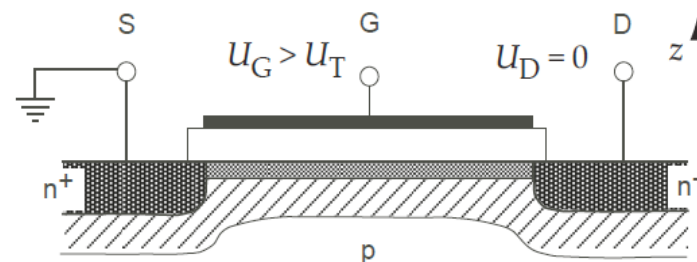
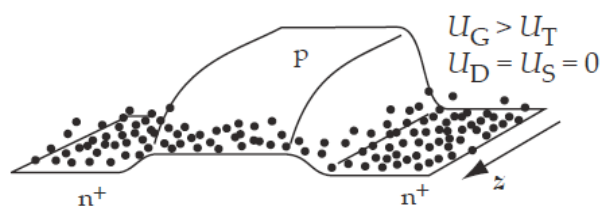
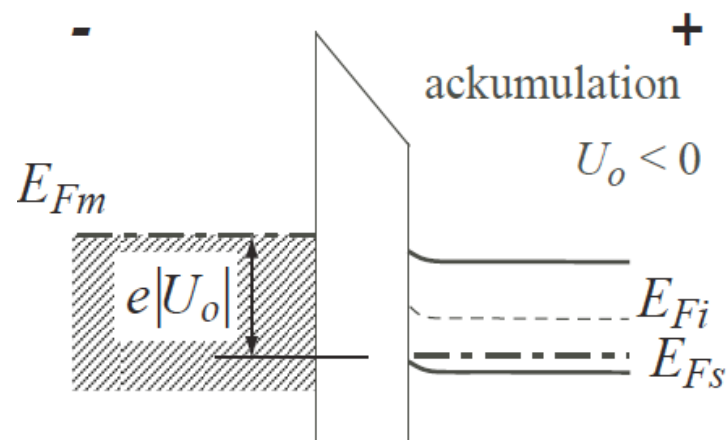
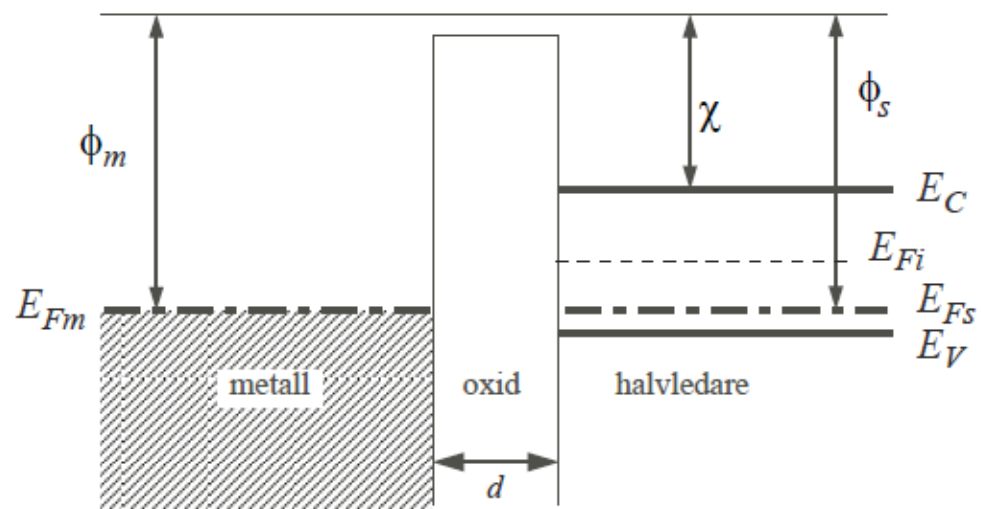
pn-övergången



Positiv/negativ spänning
minskar/ökar potentialskillnaden

➡ asymmetrisk $I(V)$

Transistorer - MOSFET



Metall-oxid-halvledare: kapacitator

Gatespänning kontrollerer laddningsbärare