



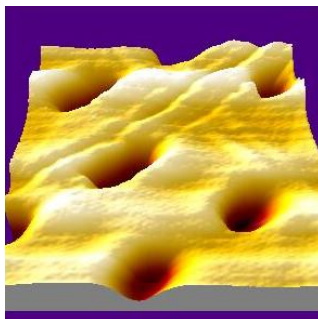
Sild, mis ühendab teadust tänapäeva füüsikas
ja ettevõtlust nanotehnoloogias

Kvantfüüsika

*Tillukeste asjade füüsika, millel on hiiglaslikud
rakendusvõimalused*

2. osa

Kvantomadused ja tehnoloogia



X õppemoodul: Aatomjõumikroskoopia (AFM)

TÕLKIJAJA:

 SCIENTIX
www.scientix.eu



Quantum Spin-Offi rahastab Euroopa Liit LLP Comeniuse programmi kaudu.
(540059-LLP-1-2013-1-BE-COMENIUS-CMP)

Ernst Meyer

Kontakt: ernst.meyer@unibas.ch

See teave kajastab ainult teksti autori seisukohti ning Euroopa Komisjon ei
ole vastutav selle informatsiooni kasutamise eest



Lifelong
Learning
Programme

Sisukord

X ÕPPEMOODUL: AATOMJÕUMIKROSKOOPIA (AFM)	5
1 Üldist	5
2 AFMi tööpõhimõte	5
3 Lahendused	8
4 X õppemooduli mõisted	8

Autorile viitamine - mitteäriline eesmärk - jagamine samadel tingimustel 4.0 rahvusvaheline (CC BY-NC-SA 4.0)

Kasutamine alljärgnevatel tingimustel:

- Autorile viitamine – peate lisama [kohase viite autorile](#) ja teabe litsentsi kohta ning [välja tooma tehtud võimalikud muudatused](#). Võite seda teha mõistlikul viisil, kuid mitte selliselt, mis annab mõista, et litsentsiandja tõstab teid või teie kasutuse kuidagi esile.
- Mitteäriline eesmärk – te ei tohi kasutada materjali [ärilisel eesmärgil](#).

Võite teha alljärgnevat:

- Jagada – võite materjali kopeerida ning igas vormingus ja iga meediumi kaudu levitada.
- Kohandada – võite materjali segada, muuta ja täiendada.

Litsentsiandja ei saa teile neid õigusi keelata, kui järgite litsentsi tingimusi.

Sellele tööle peate viitama järgmiselt:

Meyer E. (2015). Quantum SpinOffi õppemoodulid. Füüsikateaduskond, Baseli Ülikool, Šveits.



Sissejuhatus 2. osasse: Kvantomadused ja tehnoloogia

Õppemoodulite 2. osas uurime kvantfüüsika rakendamist tehnoloogias. Kasutame esimeses viies õppemoodulis omandatud teadmisi, mõistmaks paljudes tehnoloogilistes uuendustes kasutatavate materjalide kvantomadusi.

Ka 2. osa moodulites käsitleme kõrvuti klassikalise füüsika ja kvantfüüsika mõisteid, et näha, kuidas toimus areng klassikalisest füüsikast kvantfüüsika ja sellega kaasaskäivate tehnoloogiliste edusammudeni. Nagu 1. osas, on ka 2. osa õppemoodulite lõpus toodud harjutuse vormis kokkuvõtte peamistest klassikalise füüsika ja kvantfüüsika mõistetest.

Järgnevalt tutvustame iga õppemooduli sisu, et enne õppemoodulitega töö alustamist anda õpitavast parem ülevaade ja saada selgust, kust alustame ja kuhu välja tahame jõuda.

VI õppemoodul: Fotoefektist digitaalse pildini

Digikaamera tööpõhimõtet uurides saame teada, et digitaalne pilt on võimalik tänu sellisele nähtusele nagu fotoefekt. Kõigepealt käsitleme fotoefekti klassikalise füüsika abil ning seejärel pöördume kvantfüüsika poole. Uurime ka mõningaid tehnoloogilisi rakendusi, mille toimimine põhineb fotoefektil.

VII õppemoodul: Pooljuhid

Selles õppemoodulis alustame elektronide energiatasemetest aatomis ja uurime, mis juhtub, kui palju aatomeid kokku panna. Avastame, et elementide omadused perioodilisustabelis on tingitud nii nende kvantomadustest kui elektrijuhtivusest. Seejärel tutvume tehnoloogiliste rakendustega, mis on tekkinud tänu materjalide vastavate omaduste mõistmisele.

VIII õppemoodul: Tunneleerumine ja STM

VIII õppemoodul tutvustab tunneleerumist ehk tunneliefekti – veel üht kvantfüüsika nähtust. Näeme, et mikroskoopilised kehad ja valgus suudavad läbida energiabarjääri hoolimata sellest, et neil ei jätku selleks piisavalt energiat. Siiski saavad nad seda teha tänu oma dualistlikule (lainelisele-osakeselisele) loomusele. Avastame ka, et tunneliefektil on mitmeid huvitavaid ja kasulikke rakendusi, nagu näiteks väikmälu ja skaneeriv tunnel-elektronmikroskoopia.

IX õppemoodul: Spinn ja selle rakendused

Ainel on palju defineerimata omadusi, mis kehadel lihtsalt on – näiteks mass. Me ei tea tegelikult, mis mass on, aga me teame, kuidas see end ilmutab. See aitab meil tutvustada üht aine kvantomadust – spinni. Klassikalises füüsikas spinnile vastet ei leidu. Saame aga uurida, kuidas spinniga kehad käituvad, et seda paremini mõista ja kasutada tehnoloogilistes rakendustes, nagu näiteks magnetresonantstomograafias (MRT, ingl k *MRI*) ja spintroonikas.

X õppemoodul: Aatomjõumikroskoopia (AFM)

Selles õppemoodulis jätkatakse VIII õppemooduli teemat ja tutvustatakse veel üht tunneliefekti rakendust – aatomjõumikroskoopiat (AFM).

XI õppemoodul: Kvantmehaanikast nanoosakeste ja nende rakendusteni

See õppemoodul viib meid nanoosakeste ja nende omaduste maailma. Nanoosakesed on kvantmehaanilised süsteemid, mis koosnevad paljudest aatomitest või molekulidest – nad erinevad seniõpitud lihtsatest kvantmehaanilistest süsteemidest. Paljusid nanoosakeste

omadusi saab kasutada nanotehnoloogilistes rakendustes ja nad on praegu väga tugevalt teaduse huviorbiidis.

XII õppemoodul: Mikrobioloogiline kütuselement

Selle õppemooduli teemas kohtub kvantmehaanika bioloogia ja keemiaga. Tutvume selle teemaga lähemalt, uurides mikrobioloogilise kütuselemendi tööpõhimõtet.

X õppemoodul: Aatomjõumikroskoopia (AFM)

VIII õppemoodulis tutvustasime skaneerivat tunnel-elektronmikroskoopi ja selle tööpõhimõtet. Skaneeriva tunnel-elektronmikroskoobi (STM) edasiarendus on aatomjõumikroskoop, lühidalt AFM. Siinne õppematerjal aitab mõista, mis on AFMi eelised STMi ees.

Viited publikatsioonidele kudede (näiteks rinnakoe) AFM-iga uurimise teemal on toodud õpetajate juhendis. See meetod on avanud uusi võimalusi haiguste, näiteks vähi, mõistmiseks ja diagnoosimiseks. See teema võiks olla eriliselt huvipakkuv tüdrukutele, sest naised näivad enam hindavat uusi tehnoloogiaid, mis toovad ühiskonnale kasu, näiteks tervishoiusektoris.

1 Üldist

Enamiku igapäevakasutuses olevate materjalide elektrijuhtivus on pigem halb. Nende pind on isoleeritud, sest nad on kaetud oksiidide või orgaanilise kattega.

Ülesanne 1:

Kasutades mõõteriista (nt digitaalset multimeetrit või võrreldavat voolu- ja voltmeetrit), proovi mõõta pindade, sh laud, kuldsõrmus või muu kuldehe, laudade-toolide metallkarkass, takistust. Suurenda survet mõõtesondiga või tee metallpinnale väikesed kriiped. Kas märkad erinevust? Kuidas on takistus seotud elektrijuhtivusega?

Tunnelvool¹, mida on vaja STMi toiminguks, peab voolama läbi katseeseme. See on võimalik ainult siis, kui katseesemetel on piisavalt kõrge elektrijuhtivus või madal takistus.

2 AFMi tööpõhimõte

Voolu asemel mõõdab aatomjõumikroskoop (AFM) jõudusid. Lõpuks kasutatakse lehtvedru² koos teravikuga, mis skaneerib pindu kindla kontaktsurvega.

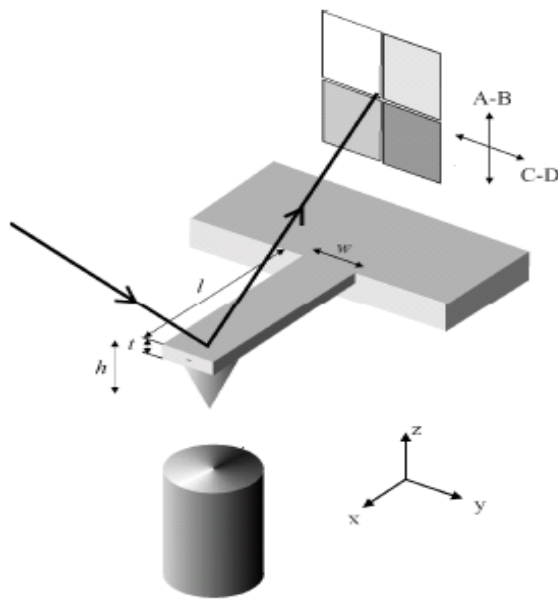
Ülesanne 2:

Püüa hinnata jõudude suurust üksikaatomite vahel.

Vihje: molekulide keemilise sideme energia on vahemikus 10^{-19} J. Tüüpiline osiste skaala suurus on vahemikus 10^{-10} m.

¹ Tunnelvool: vastavalt kvantmehaanika arvutustele voolab tunnelvool läbi isolaatorikihi, kui isolaatori paksus jääb nanomeetri vahemikku.

² Lehtvedru: õhuke riba (5–10 mikromeetrit paks), mis on u 100 mikromeetrit pikk ja kinnitatud ühele küljele.



Joonis1: AFMi tööpõhimõte

Nagu on näidatud joonisel 1, tuuakse lehtvedru ehk konsool katseesemele lähemale. Nagu ka STMiga, mõõdetakse signaali, kui lehtvedru on pinna vahetus läheduses. Vastastikmõjujõudude toimel toimub lehtvedru kõrvalekaldumine. Seejärel mõõdetakse lehtvedru kõrvalekallet laserkiiremõõdikuga. Lõpuks peegeldatakse laserkiirt lehtvedrust. Peegeldatud laserkiir püütakse kinni 4-kvadrantise detektoriga (neli lähedalasuvat fotodiodi³). Diferentsiaalsignaali mõõtmisel⁴ on võimalik määrata kindlaks konsooli hälve.

Ülesanne 3:

Ehita paber- või metallteravikuga lehtvedru mudel. Vaata, kuidas plaat kaardub, kui teravik läheneb pinna ristjoonele. Mis juhtub siis, kui teravikku liigutatakse pinnaga paralleelselt?

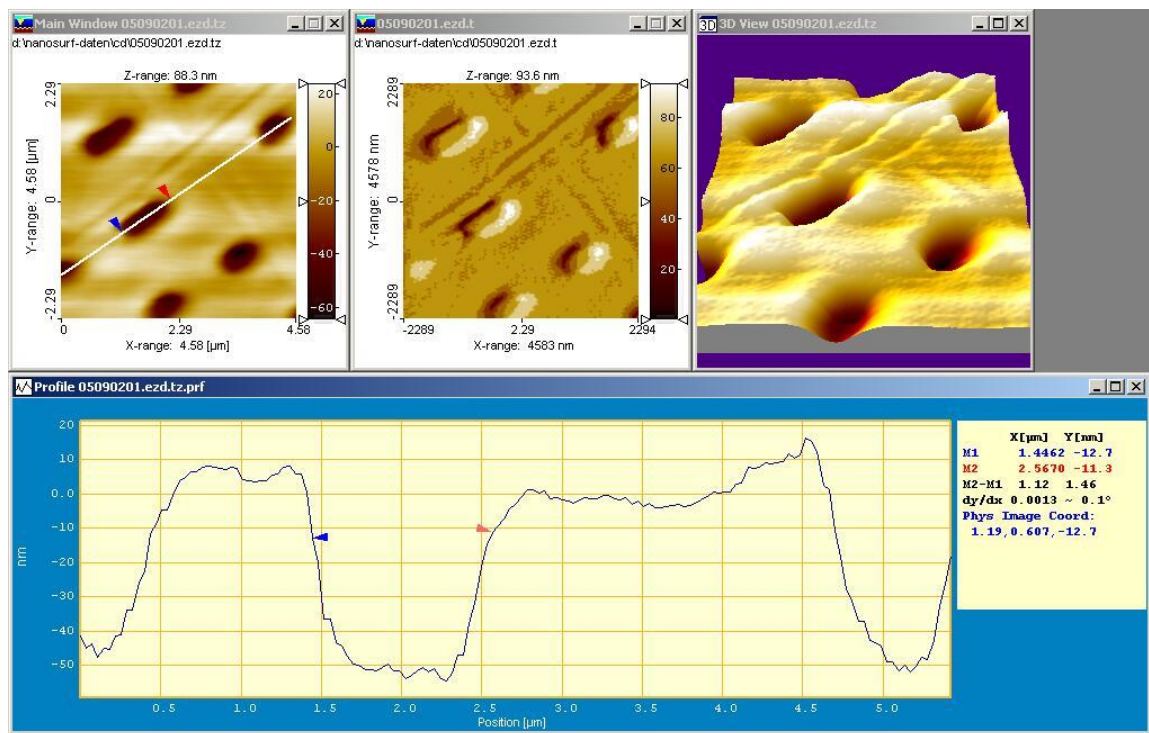
Ülesanne 4:

Ülesandes 2 hindasid sa aatomitevahelisi jõude. Kui suure vedru konstandi k sa lehtvedru jaoks N/m-is valiksid, kui teaksid, et laseri hälve võib siiski mõõta hälbeid vahemikus 1 nanomeeter (10^{-9} m)?

Aatomjõumikroskoop on kõige edukam liige skaneerivate teravikmikroskoopide peres. Rakendusnäite jaoks vaata AFM-pilti laserplaadist (CD).

³ Fotodiodid on valgustundlikud elektronkomponendid. Need tehakse tavaliselt silikoonist koos dopeeritud pinnakihi, mis eraldab laenguid.

⁴ Diferentsiaalsignaali genereerimiseks lahutatakse signaalid lähestikku olevatest fotodiodidest. Standardjõu mõõtmiseks tehakse kindlaks ülemiste ja alumiste fotodiodide erinevus.



Joonis 2: CD-plaadi mõõtmised AFMi abil. 3-mõõtmelise pildi saab ligikaudu 10 minutiga.⁵

Ülesanne 5:

Proovi määrata kindlaks bittide pikkus, laius või sügavus (augud) joonisel 2.

⁵ Teine levinud meetod CD- ja DVD-plaatide aukude mõõtmiseks põhineb laserkiirre difraktsioonil nende plaatide pinnal.

3 Lahendused

1:

Digitaalse multimeetriga saab vaadelda takistusi mõne oomi vahemikus kõrge elektrijuhtivusega esemetes. Enamikul pindadel (puit, plast) on liiga suur takistus, mis ei ole mõõdetav. Oksüdeeritud pindades (teras, alumiinium) saab oksiidikatet vähendada, kriipides pinda, mis võimaldab vaadelda väiksemaid takistusi kilo-oomides või oomides.

2:

Energia ja tüüpilise sideme pikkuse seos võimaldab väga hästi hinnata aatomitevahelisi jõude:

$$F = dE/dx = 10^{-19} \text{ J} / 10^{-10} \text{ m} = 10^{-9} \text{ N} = 1 \text{ nN}$$

Näiteks jõud söögisoolas (NaCl) Na ja Cl aatomite vahel ulatub ühe nanonjuutonini. Teistel sidemetüüpidel on väiksemad jõud. Vesinikusilla sidemete jaoks on jõud vahemikus $10^{-12} \text{ N} = 1 \text{ pN}$.

3:

Plaat kaardub, kui see läheneb pinnale. Kui plaati liigutatakse pinnaga paralleelselt, saab vaadelda ka plaadi väändejõudu, mis tekib hõõrdejõu tulemusel.

4:

Kui 10^{-9} jõud $N = 1 \text{ nN}$ mõõdetakse ja hälvet 10^{-9} m saab mõõta, siis peaks vedrukonstandi valima nii: $k = F/x = 1 \text{ N/m}$ või väiksemate väärtustega. Tavaliselt kasutatakse vedru konstante $k = 0,05-1 \text{ N/m}$ statistikas. Dünaamilises operatsioonis (võnkuv lehtvedru) võib kasutada ka suuremat vedru konstanti $k = 10-30 \text{ N/m}$, sest tundlikkust parandatakse resonantsi suurendamisega.

5:

Biti esiletõstetud pikkus on 1 mikromeeter ja laius umbes 0,5 mikromeetrit. Sügavuse saab kindlaks määrata profiili kaudu ja see on 50–70 nm.

4 X õppemooduli mõisted

Selles õppemoodulis ei ole täiesti uusi mõisteid. Enamik mõisteid on tuttavad juba VIII õppemoodulist.