

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM  
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR  
FIZIKA DOKTORI ISKOLA  
ANYAGTUDOMÁNY ÉS SZILÁRDTESTFIZIKA DOKTORI PROGRAM

---

# Transzportfolyamatok kétdimenziós nanostruktúrákban

---

TÉZISFÜZET

**Vigh Máté**

okleveles fizikus



témavezető:

**Cserti József, PhD**

egyetemi tanár

az MTA doktora

iskolavezető:

**Tél Tamás, PhD**

egyetemi tanár

az MTA doktora

programvezető:

**Groma István, PhD**

egyetemi tanár

az MTA doktora

2017

# Transzportfolyamatok kétdimenziós nanostruktúrákban

Doktori disszertációmban három, egymással lazán összefüggő problémát vizsgáltam elméleti módszerekkel, melyekben a kétdimenziós rendszerek vezetési tulajdonságainak tanulmányozása a közös nevező. A dolgozatban ismertetett, *saját* kutatási eredményeim négy tézispontban foglalhatók össze, melyeket itt az érintett három téma köré csoportosítom. A tézispontok után feltüntetett, szögletes zárójelben álló hivatkozások a témákban megjelent publikációimra utalnak.

## Divergens egyenáramú vezetőképesség 1-es pszeudospinű, kétdimenziós nanorendszerekben

A disszertáció első fejezetében olyan kristályokkal foglalkoztam, melyek elektronjainak effektív matematikai modellje az 1-es pszeudospinű, kétdimenziós, tömeg nélküli Dirac–Weyl-egyenlet; ilyen például a dobókockarács vagy más néven  $\mathcal{T}_3$ -rács. Ezen rendszerek sávszerkezete három, egymást a töltésemlegességi pontban érintő sávból áll, melyek közül kettő a grafénnál megszokott lineáris diszperziójú (Dirac-kúpok), a harmadik pedig egy azonosan nulla energiájú, diszperziómentes „lapos” sáv. Az első fejezetben azt vizsgáltam, hogyan függ a rendszer állapotsűrűsége és vezetőképessége a rövid hatótávolságú szennyezők erősségétől. Ehhez a témához a következő tézispont kapcsolódik:

1. A kétdimenziós dobókockarács (más néven  $\mathcal{T}_3$ -rács) esetére a szoros kötésű közelítésben és a kernel-polinomok módszerén alapuló numerikus számításokkal megmutattam, hogy rövid hatótávolságú rendezetlenség jelenlétében a tiszta rendszer állapotsűrűségében a diszperziómentes, „lapos” sávnak megfelelő éles csúcs a szennyezés erősségével arányosan kiszélesedik, a csúcs magassága pedig azzal fordított arányban csökken. A Kubo-formula numerikus kiértékelésével megmutattam, hogy az egyenáramú vezetőképesség a töltésemlegességi pontban a rendezetlenség csökkentésével logaritmikusan növekszik. A numerikus számítások egyezése a folytonos közelítésben diagramtechnikával kapható eredményekkel igen jó, és a végesméret-effektusok redukálásával (növekvő méretű rács használatával) javítható. [T1]

# Kerr- és Faraday-forgatás vizsgálata transzfermátrix módszerrel réteges nanoszerkezetekben

A dolgozat második fejezetében atomi vastagságú vezetőrétegekből és dielektrikumokból álló, réteges szerkezetek optikai tulajdonságait vizsgáltam, különös tekintettel a minták ellipszometriai viselkedésére. Ehhez a fejezethez az alábbi két tézispont tartozik:

**2.** A Maxwell-egyenletekből kiindulva, a transzfermátrixok felhasználásával kidolgoztam egy szisztematikus, moduláris eljárást atomi vastagságú vezetőrétegekből és dielektrikumokból álló multirétegek Kerr- és Faraday-forgatásának kiszámítására tetszőleges beesési szögű és polarizációjú beeső nyaláb esetén. A módszer hatékonyan használható olyan ellipszometriai kísérletek tervezésére, melyben az atomi vastagságú vezetőréteg Hall-vezetőképességének mérése a cél. [T2]

**3.** A kétrétegű grafén effektív négysávos modelljében kapható vezetőképesség-tenzor ismeretében javaslatot tettem olyan, különböző geometriájú kísérleti elrendezésekre, melyekben a Kerr-szög mérésével a kétrétegű grafén anomális kvantum-Hall-állapota azonosítható. Megmutattam, hogy a szubsztrát vastagságának megfelelő megválasztásával a Kerr-forgatás mértéke jelentősen növelhető. [T2]

# Landau-szintek vizsgálata szilicén kvantumpöttyökben és antipöttyökben

Az utolsó fejezetben kör alakú szilicén kvantumpöttyök (korongok) és antipöttyök (lyukak) Landau-állapotait vizsgáltam az anyag síkjára merőleges mágneses térben. Eredményeimet a következő tézispont foglalja össze:

**4.** A folytonos közelítésben analitikus formulákat vezettem le homogén mágneses térbe helyezett, a térre merőleges síkú, kör alakú szilicén kvantumpöttyök és antipöttyök sajátállapotaira, melyek numerikus megoldásával a Landau-szintek meghatározhatók. Megmutattam, hogy a szilicénben jelentős spin-pálya kölcsönhatás miatt a kvantumpötty/antipötty peremére lokalizált, spin és völgy szerint polarizált, védett élállapotok alakulnak ki, melyek energiája a tömbi rendszer tiltott sávjában helyezkedik el. Megállapítottam, hogy ezek az élállapotok a spin- és völgyindexük szerint meghatározott körüljárási irányban folyó áramot képviselnek. [T3]

## A tézispontokhoz kapcsolódó publikációk:

- [T1] M. Vigh, L. Oroszlány, S. Vajna, P. San-José, G. Dávid, J. Cserti, B. Dóra: *Diverging dc conductivity due to a flat band in a disordered system of pseudospin-1 Dirac-Weyl fermions*, Phys. Rev. B **88**, 161413(R) (2013)
- [T2] G. Széchenyi, M. Vigh, A. Kormányos, J. Cserti: *Transfer matrix approach for the Kerr and Faraday rotation in layered nanostructures*, Journal of Physics: Cond. Mat., Vol. **28**, No. 37 (2016)
- [T3] P. Rakyta, M. Vigh, A. Csordás, J. Cserti: *Protected edge states in silicene antidots and dots in magnetic field*, Phys. Rev. B **91**, 125412 (2015)

## A témához nem kapcsolódó könyvek:

- [K1] Gnädig P., Honyek Gy., Vigh M.: *333+ Furfangos Feladat Fizikából*, (bővített, második kiadás) TypoTeX (2017)
- [K2] P. Gnädig, G. Honyek, M. Vigh: *200 More Puzzling Physics Problems*, Cambridge University Press (2016)
- [K3] Gnädig P., Honyek Gy., Vigh M.: *333 Furfangos Feladat Fizikából*, TypoTeX (2014)

## Egyéb, a témához nem kapcsolódó, idegen nyelvű publikációk:

- [E1] M. Vigh, P. Gnädig, G. Honyek: *Funny motions of billiard balls*, A. Király, T. Tél (szerk.): *Teaching Physics Innovatively: New Learning Environments and Methods in Physics Education*, 305–310 (2016)
- [E2] H. J. Kwee, O. Gunawan, Y. Surya, M. Vigh: *The final round of the first World Physics Olympiad held in Lombok, West Nusa Tenggara, Indonesia: a sample of problems and solutions and student results*, Eur. J. of Phys. **34**, 4 (2013)