

Szupravezető dupla kvantumpötty hibridek párhuzamos InAs nanopálcákban

Kürtössy Olivér Csaba

Manapság a kvantumelektronika területén számos kutatás fókuszál az ún. Majorana fermionok kísérleti megvalósítására. Ezek az egzotikus, nem-Ábeli statisztikájú kvázirészecskék topologikusan védettek, így a hagyományos kvantumbit koncepciókkal ellentétben érzéketlenek a külső zajokra. Ezen tulajdonságuk miatt igen ígéretes platformként szolgálnak a jövőbeli kvantumszámítógépek hibamentes operációjához.

A Majorana fermionok megjelenését egy olyan egydimenziós láncban jósolják, amely kvantumpöttyök (más néven mesterséges atomok) és szupravezetők sorából áll. Egy ilyen lánc alapvető építőeleme egy szupravezetőhöz kapcsolt két kvantumpötty, amelyek multiplikálásával előállítható egy hosszabb lánc a jövőben. Ebben a redukált rendszerben tanulmányozhatóvá válnak a kvantumpöttyök szupravezetőn keresztüli kölcsönhatása, azok hibridizációs folyamatai, amelyek biztosítják a láncon belüli hosszútávú kölcsönhatás fenntartását. A tézisben ezen folyamatokat vizsgálom meg kísérletileg különböző határesetekben és térképezem fel hatásukat.

A szupravezető-dupla kvantumpötty hibrideket egy nem rég elérhetővé vált anyagban, vékony szupravezető réteggel összekötött párhuzamos InAs nanopálcákban hoztam létre. Ezeknek a félvezető pálcáknak és a geometriának az előnye, hogy a kvantumpöttyök közötti távolság minimálisra csökkenthető, így maximalizálva azok között a kölcsönhatást. Minde mellett az epitaxiális szupravezető réteg a korábbiakhoz lépesten lényegesen jobb minőségű határfelületet képez a félvezetővel, ezzel erősítve a pálcákban indukált szupravezetést. A pálcákat nanoáramkörökbe integrálva vizsgáltam a szupravezető hibrid viselkedését ultra alacsony hőmérsékleten.

A kvantumpöttyök szupravezetőhöz való gyenge csatolásakor erős Cooper pár szétválasztást tapasztaltam. A kvantumpöttyökön átfolyó áramok közötti pozitív korrelációk mérésével kimutattam, hogy a pöttyök közötti erős Coulomb tasztítás ellenére a dupla nanopálcákon alapú párfelhasító áramkörökben nagyobb hatásfokú párszétválasztás érhető el, mint a korábbi, irodalomban használt szimpla nanopálcán alapuló Cooper pár feltörőkben. A kísérletek és az eredmények részleteit a tézis 3. fejezete foglalja össze.

Az erős csatolású határesetben a kvantumpöttyökben kialakuló ún. Andrejev kötött állapotok interakcióját vizsgáltam. A két kvantumpöttyben lakó kötött állapotokat ugyanazon szupravezetővel való kölcsönhatásból származtak, így csatolódni tudtak egymáshoz és egy Andrejev molekulát képeztek. A rendszer gerjesztési spektrumának vizsgálatával azonosítottam a molekula spektrális sajátosságait, amelyet egyszerű numerikus szimulációk is reprodukáltak. Ennek a "2 atomos" Andrejev molekulának a realizációját a tézis 4. fejezete tárgyalja részletesen.

A tézis 5. fejezetében a szupravezető-dupla kvantumpötty hibridet egy olyan határesetben vizsgálom, amelyben a szupravezető elektródát egy véges méretű, szintén kvantumpöttyként viselkedő szupravezető sziget helyettesíti. Ilyenkor a kvantumpöttyök a sziget elektronjain keresztül egy olyan mesterséges, 3 atomos molekulát alakítanak ki, amelynek centrális atomján szupravezető korrelációk uralkodnak. A szupravezető sziget elektronszámfüggő spektrumának szisztematikus vizsgálatával kimutattam ennek a különleges állapotnak a megjelenését, amely egy 3 atomos Andrejev molekulának feleltethető meg.