

بسمه تعالی

عنوان درس: ترابرد کوانتومی (Quantum Transport)

تعداد واحد: ۳ نوع واحد: تخصصی - اختیاری

استاد درس: علی خادمی مقطع تحصیلی: مشترک کارشناسی - کارشناسی ارشد

دروس پیش نیاز: مکانیک کوانتومی ۱ و ۲ (فیزیک حالت جامد ۱ پیش نیاز این درس نیست، اما آشنایی

کلی با نظریه نوارها و مفاهیم نظیر نوار رسانش، نوار ظرفیت و تراز فرمی برای فهم درس ضروری است).

## اهداف کلی درس:

ترابرد کوانتومی پدیده‌هایی را توصیف می‌کند که برای شناخت آن‌ها ضروری است که الکترون‌های رسانا در جامدات را به عنوان ذرات کوانتومی در نظر بگیریم. این درس از یک دیدگاه تجربی بر اندازه‌گیری‌های الکتریکی در دمای پایین تمرکز خواهد داشت. در این درس درباره ادوات کوانتومی در ابعاد پایین مانند ادوات اتمی، نقاط کوانتومی (صفر بعدی)، اتصالات نقطه کوانتومی (یک بعدی)، گازهای الکترونی دو بعدی، فلزات واسطه کلکوژناید دوبعدی، گرافن (دو بعدی)، ترانزیستورهای تک‌الکترونی و روشهای ساخت آن‌ها بحث خواهیم کرد. علاوه بر این، در این درس مباحثی نظیر جایگزینی ضعیف، اثر کوانتومی هال، اثر کوانتومی اسپین هال، نارساناها و ابررساناهای توپولوژیک، پیوندگاه‌های تونلی ابررسانا، اثر جوزفسون و ابررسانایی در مواد دوبعدی به هم پیچیده مطرح خواهد شد.

## سرفصل مطالب:

### ۱- مقدمه

ترابرد کلاسیک و شبه کلاسیک

پارامترهای مهم ترابرد (نظیر مسافت آزاد میانگین، طول موج فرمی، طول همدوسی فاز)

رژیم‌های مختلف ترابرد (پراکنشی و پرتابه ای)

چگالی حالت‌ها

رسانش با رویکرد ضریب عبور، فرمول بندی لاندوار-بوتیکر

## ۲- فصل مشترک بین دو نیمه رسانا یا فلز و نیمه رسانا

خمش باند و پهنه مرزی فلز و نیمه رسانا

سد شاتکی

ساختارهای ناهمگون نیمه رسانا

## ۳- ترابرد در ابعاد مختلف

ترابرد صفر بعدی، تونل زنی تک الکترونی

نقاط کوانتومی، ترانزیستورهای تک الکترونی، انسداد کولنی

**ترابرد در ابعاد اتمی، ادوات الکترونیکی اتمی\***

ترابرد در نقاط کوانتومی دوگانه، انسداد اسپینی

ترابرد یک بعدی پرتابه‌ای، اتصال نقطه‌ای کوانتومی

ترابرد دوبعدی، گاز الکترونی دوبعدی

گرافن و مواد دوبعدی دیگر مانند فلزات واسطه کلکوژناید دوبعدی

## ۴- هندسه و توپولوژی در ترابرد، نارساناها و ابررساناهای توپولوژیک

اثر کوانتومی هال

اثر کوانتومی اسپین هال

**نارساناها و ابررساناهای توپولوژیک**

## ۵- اثر فاز الکترون ها در ترابرد

اثر بوهم-آهارانوف

**جایگزیدگی ضعیف**

اثر اسپین-مدار در مواد کوانتومی

**ضدجایگزیدگی ضعیف**

## ۶- ابرسانایی و ترابرد

ابرسانایی

پیوندگاه‌های تونلی ابرسانا، اثر جوزفسون

ابرسانایی در مواد دوبعدی به هم پیچیده

## ۷- روش‌های ساخت ادوات کوانتومی

لیتوگرافی نوری

لیتوگرافی با پرتو الکترونی

لیتوگرافی با پروب روبشی گرمایی

---

\*سرفصل‌های مهم یا جدید با رنگ قرمز نشان داده شده است.

---

### منابع اصلی:

- 1) Quantum Transport: Introduction to Nanoscience, Y. V. Nazarov and Y. M. Blanter, Cambridge University Press, 2009
- 2) Electronic Transport in Mesoscopic System, S. Datta, Cambridge University Press, 1997

### منابع کمکی:

- 3) Semiconductor Nanostructures: Quantum States and Electronic Transport, Thomas Ihn, Oxford University Press, 2010
- 4) Mesoscopic Physics of Electrons and Photons, E. Akkermans and G. Montambaux, Cambridge University Press, 2007
- 5) Quantum Transport: Atom to Transistor, S. Datta, Cambridge University Press, 2005

- 6) Quantum Transport in Semiconductor Nanostructures, C. W. J. Beenakker and H. van Houten, *Solid State Physics*, 44, 1-228, 1991
- 7) Topological Insulators and Topological Superconductors, Andrei Bernevig, Princeton University Press, 2013
- 8) Band Bending in Semiconductors: Chemical and Physical Consequences at Surfaces and Interfaces, Z. Zhang and J. T. Yates, *Chemical Reviews* 112, 5520–5551, 2012