

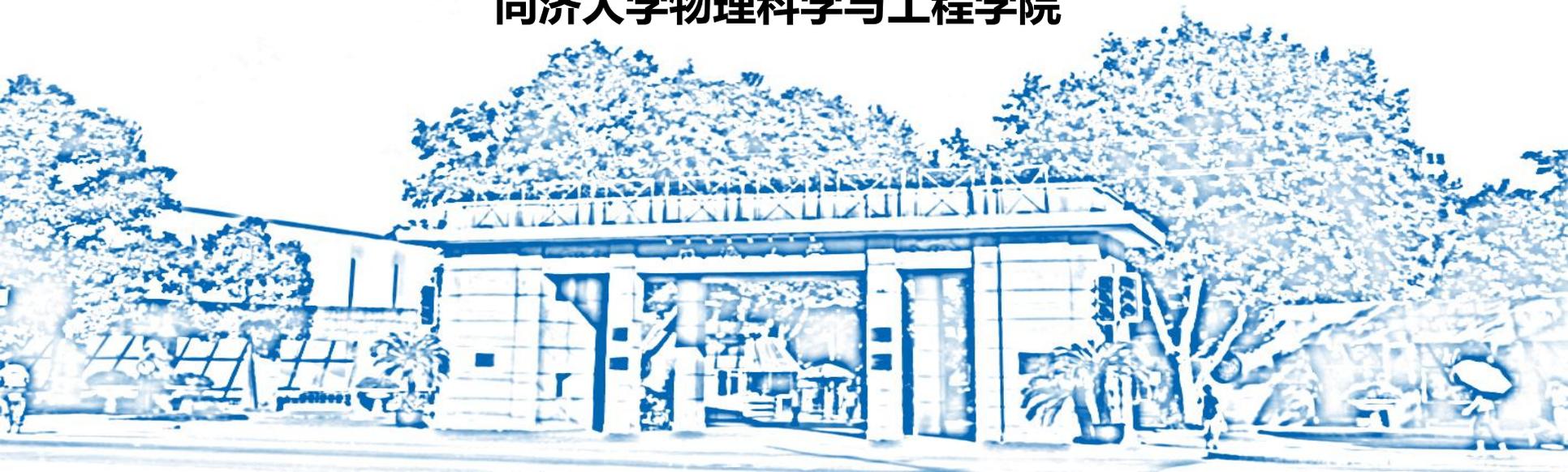
TONGJI
UNIVERSITY

电动力学

Electrodynamics

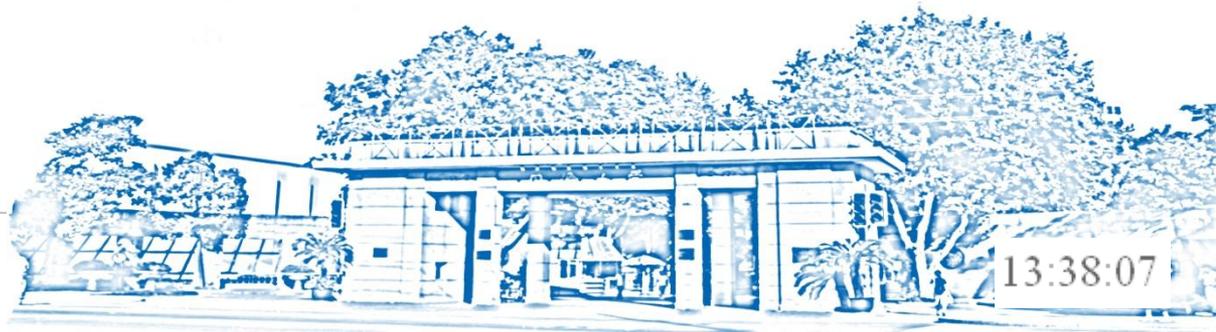
谢双媛

同济大学物理科学与工程学院



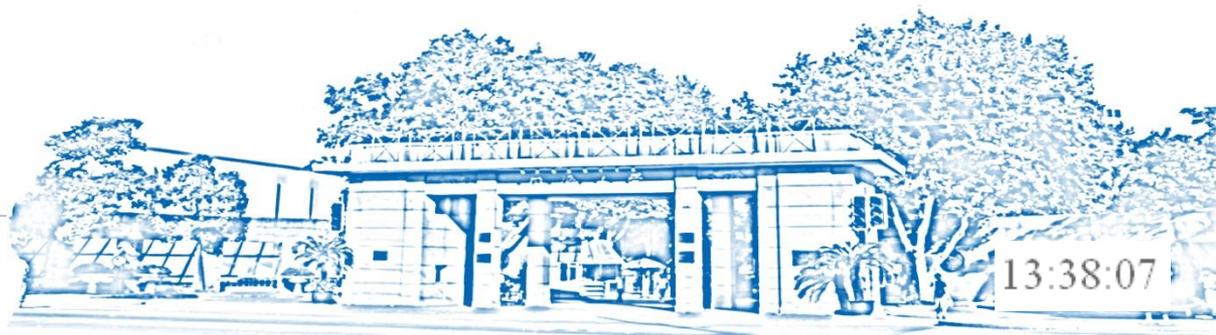
第三章 静磁场

- §1 矢势及其微分方程
- §2 磁标势
- §3 磁多极矩
- §4 阿哈罗诺夫—玻姆效应
- §5 超导体的电磁性质



第三章 静磁场

- §1 矢势及其微分方程
- §2 磁标势
- §3 磁多极矩
- §4 阿哈罗诺夫—玻姆效应
- §5 超导体的电磁性质





§4 阿哈罗诺夫—玻姆(Aharonov-Bohm)效应

内容概要

1. A-B 效应实验
2. 矢势的可观察性



麦克斯韦方程组

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

静电场

$$\begin{cases} \nabla \times \vec{E} = 0 \\ \nabla \cdot \vec{D} = \rho \end{cases}$$

$$\begin{cases} \nabla \times \vec{H} = \vec{J} \\ \nabla \cdot \vec{B} = 0 \end{cases}$$

静磁场

$$\vec{E} = -\nabla \varphi$$

电势

$$\vec{B} = \nabla \times \vec{A}$$

矢势

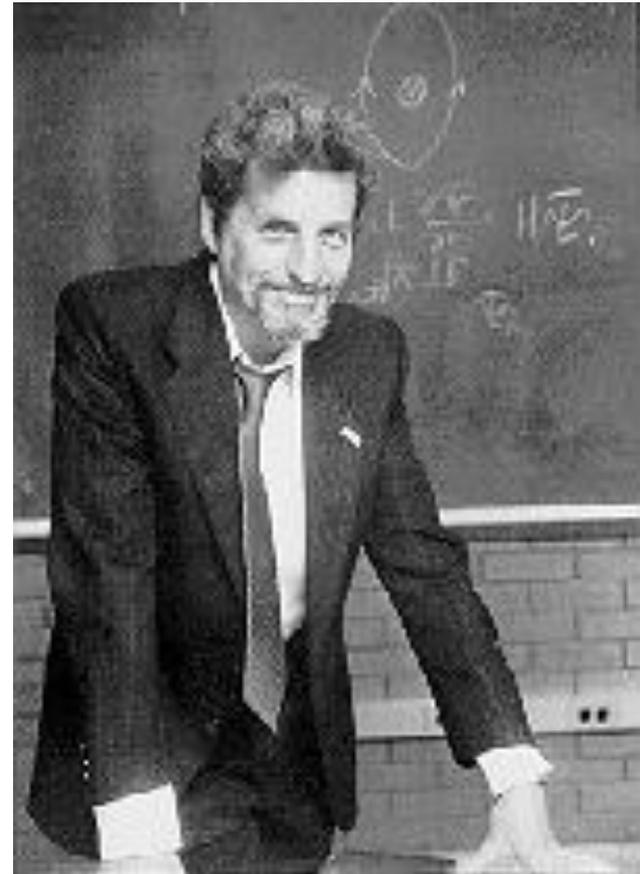
在经典电动力学中，场的基本物理量是E和B！



Y. Aharonov and D. Bohm,
Phys. Rev. 115(1959)485.

R. G. Chambers,
Phys. Rev. Lett. 5(1960)3.

1959年，阿哈罗诺夫—玻姆提出势具有可观测的物理效应
- - **A-B效应。**

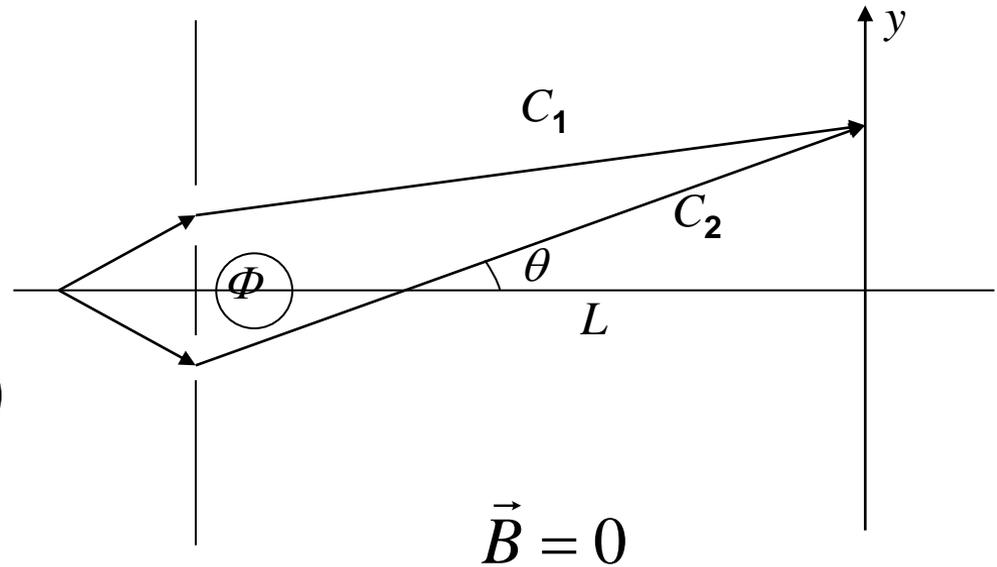


Yakir Aharonov

电子双缝衍射实验

干涉条纹发生移动！

- 局域磁场（长螺线管形成）
- 电子路径无磁场
- 干涉条纹与磁场相关？（局域相互作用原理）

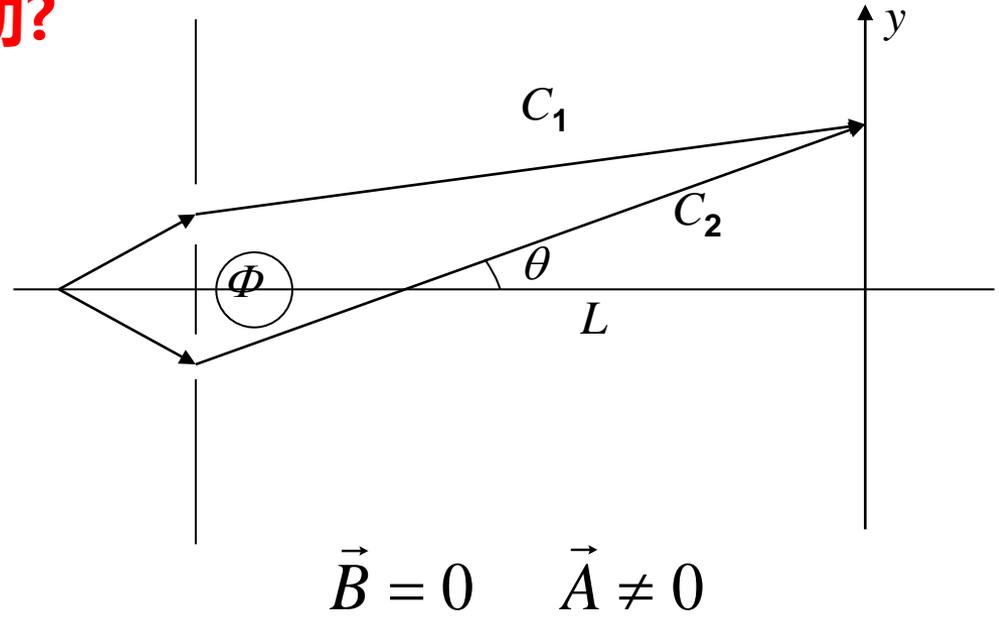


A-B效应的存在说明磁场的物理效应**不能完全**用 B 描述！

是什么引起了干涉条纹的移动?

电子路径上，磁场为零，
但矢势不为零：

$$\oint \vec{A} \cdot d\vec{l} = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \Phi \neq 0$$



矢势的物理意义。

A-B效应表明A具有可观测的物理效应：影响电子波束的相位，使干涉条纹发生移动 - - 一种量子力学效应。

A-B效应量子力学解释!

量子力学中,自由运动的电子态由平面波函数描述,

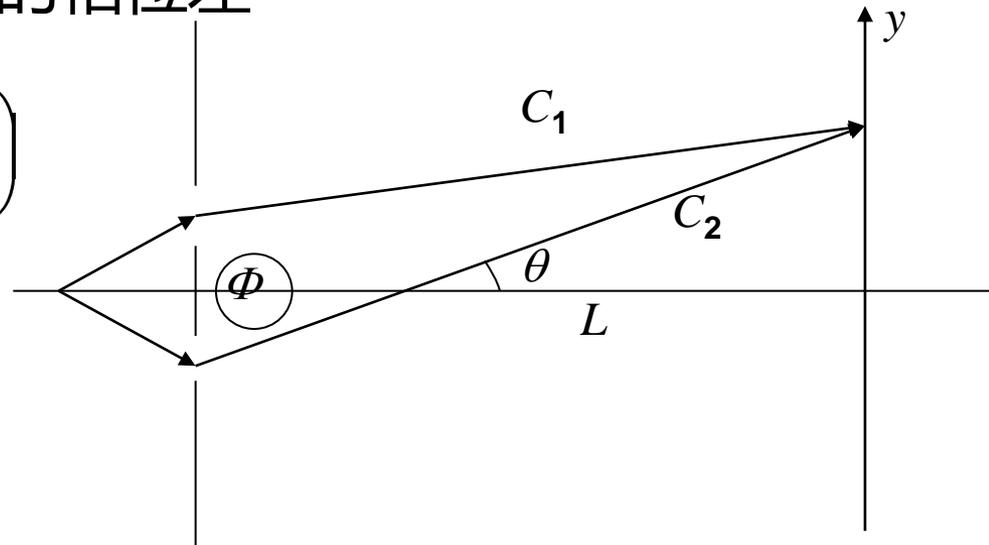
$$\psi(\vec{x}) = \psi_0 e^{i\vec{p}\cdot\vec{x}/\hbar}$$

$$\Delta\phi_0 = \frac{1}{\hbar} \left[\int_{C_2} \vec{p}_2 \cdot d\vec{l} - \int_{C_1} \vec{p}_1 \cdot d\vec{l} \right] = \frac{1}{\hbar} p\Delta l$$

磁场中自由运动电子的**正则动量**： $\vec{P} = \vec{p} - e\vec{A} = m\vec{v} - e\vec{A}$

双缝干涉条纹取决于两束电子的相位差

$$\begin{aligned} \Delta\phi &= \Delta\phi_0 + \frac{e}{\hbar} \left(\int_{C_2} \vec{A} \cdot d\vec{l} - \int_{C_1} \vec{A} \cdot d\vec{l} \right) \\ &= \Delta\phi_0 + \frac{e}{\hbar} \oint_C \vec{A} \cdot d\vec{l} \\ &= \Delta\phi_0 + \frac{e}{\hbar} \Phi \end{aligned}$$



量子物理中，磁场非局域效应必须考虑。相位因子可恰当描述磁场

$$\exp\left(i\frac{e}{\hbar}\oint_C \vec{A} \cdot d\vec{l}\right) = \exp\left(i\frac{e}{\hbar}\int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}\right)$$

麦克斯韦
方程组

$$\begin{aligned}\nabla \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} & \nabla \times \vec{H} &= \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \\ \nabla \cdot \vec{D} &= \rho & \nabla \cdot \vec{B} &= 0\end{aligned}$$

是否存在针对电场和电势的类似于AB效应的某某效应？

阿哈罗诺夫和卡谢(A.Casher)又于1984年根据电与磁的对偶性，提出了**AC效应**的预言。

Topological Quantum Effects for Neutral Particles,

Y. Aharonov, A. Casher, [Phys. Rev. Lett. 53, 319 \(1984\)](#)

AB效应

$$\vec{B}$$

$$\vec{A}$$

电子束

螺线管

电子不受磁场力

AC效应

$$\vec{E}$$

$$\varphi$$

中子束

无限长带正电线

中子不受电场力

