

EK:

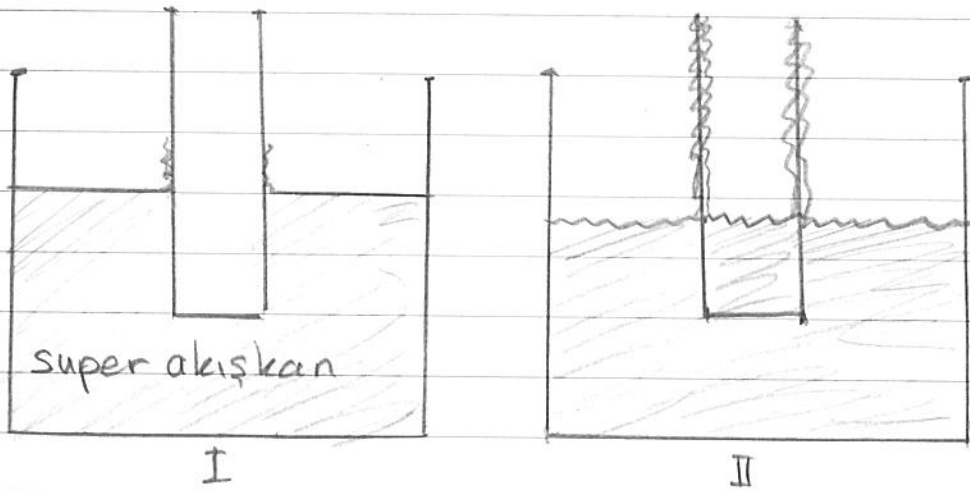
{ C. E. Wieman } Nobel - 2001
{ W. Ketterle }

Bose-Einstein Condensation

Super Akışkanlık

^4He 2,17 °K civarında sıvı hale ulaştığında super akışkan özellik gösterdiği, yani yüzeylerdeki sürtünmesinin (viskozite) sıfıra gittiği gözlenmiştir.

Super akışkan fazında ^4He sıvısının bazı özellikleri aşağıdaki şekillerle açıklanabilir.



Super akışkan sıvı küçük kabın yüzeyine tırmanarak içine girer, I $\rightarrow$ II durumu kendi kendine oluşur.

EK.

P. L. Kapitisa - Nobel - 1978

(He^4 superakışkanlığı)

Superiletkenlik

iletkenlerde elektrik akımı atomlardan kopan serbest elektronlarla gerçekleşir.

Ohm yasasının geçerli olduğu durumlarda akım $I = \frac{V}{R}$ ifadesine göre davranır.

Ancak düşük sıcaklıklarda bazı iletkenler elektrik akımına karşı sıfır direnç gösterir.

Bu durum, bazı iletkenler için, düşük sıcaklıklarda iki elektronun fononlar aracılığı ile çift oluşturarak bozon gibi davranması biçiminde (Cooper çifti) açıklanmıştır.

Bu konudaki ilk teori BCS (Bardeen-Cooper Schrieffer) teorisi olarak bilinir.

Süperiletkenlerin manyetik özellikleri de normal iletkenlerden farklıdır. Küçük boyutlarda güçlü manyetik alanlar elde edilebilir.

İlk süperiletkenlik özelliği 4.2 °K'de cıva metalinde gözlemlenmiştir.
(1913-NOBEL)

Ek:

Süperiletkenlik alanında NOBEL ödülleri

1913 K. Onnes ($\text{Civa} - 4.2^\circ\text{K}$)

1972 J. Bardeen, L. N. Cooper, R. Schrieffer
BCS - teorisi

1987 G. Bednorz, K. A. Müller
Seramik malzemelerde (35°K) süperiletkenlik

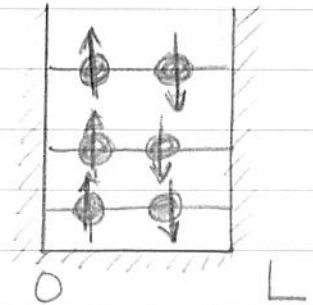
2003 A. A. Abrikosov, V. L. Ginzburg, A. J. Leggett
Superiletkenlik teorisi

UYGULAMA : Fermiyonlar, Pauli İlkesi

Bir boyutlu sonsuz kuyuda toplam enerji

$$E = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2mL^2} n^2$$

$$E_{\text{top}} = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2mL^2} 2 \sum_{n=1}^{N_e/2} n^2$$



$$\approx \frac{\hbar^2 \pi^2}{mL^2} \int_0^{N_e/2} n^2 dn = \frac{\hbar^2 \pi^2}{mL^2} \left(\frac{N_e}{2} \right)^3 \frac{1}{3} = \boxed{\frac{\hbar^2 \pi^2 N_e^3}{24mL^2}}$$

Fermi Energisi: Dolu olan son düzeyin enerjisi

Son düzeyin kuantum numarası: $N_e/2$

$$E_F = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2mL^2} \left(\frac{N_e}{2} \right)^2 = \boxed{\frac{\hbar^2 \pi^2}{8mL^2} N_e^2}$$

İki boyutlu sonsuz kuyuda toplam enerji

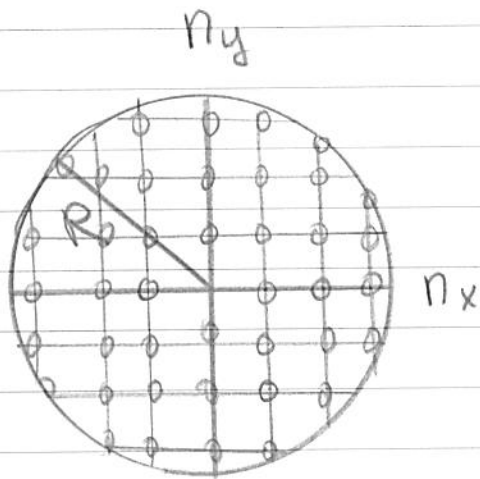
$$E = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2mL^2} (n_x^2 + n_y^2) = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2mL^2} n^2 \quad n^2 = n_x^2 + n_y^2$$

$$E_{\text{top}} = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2mL^2} 2 \left(\frac{1}{4} \right) \int_0^R n^2 d^2 n \quad n^2 \leq R^2$$

$$= \frac{\hbar^2 \pi^2}{4mL^2} \int_0^R n^3 dn d\varphi_n = \boxed{\frac{\hbar^2 \pi^2}{4mL^2} (2\pi) \frac{R^4}{4}}$$

R yarıçaplı dairenin $\frac{1}{4}$ alanında bulunan durum sayısı ve bu durumlara yerleşen elektron sayısı

$$N_e = 2 \left(\frac{1}{4} \right) \pi R^2 \rightarrow R^2 = \frac{2}{\pi} N_e$$



$$R^2 \geq (n_x^2 + n_y^2) \quad n_x > 0, n_y > 0$$

R yarıçaplı dairenin $\frac{1}{4}$ (Pozitif bölge) alanındaki elektron sayısı:

$$N_e = 2 \left(\frac{1}{4} \right) \pi R^2$$

$$E_{\text{top}} = \frac{\hbar^2 \pi^2}{8mL^2} \pi \left(\frac{2}{\pi} Ne \right)^2 = \boxed{\frac{\hbar^2 \pi Ne^2}{2mL^2}}$$

Fermi düzeyi enerjisi:

$$E_F = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2mL^2} R^2 = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2mL^2} \frac{2}{\pi} Ne$$

$$\boxed{E_F = \frac{\hbar^2 \pi}{mL^2} Ne}$$

Üç boyutlu sonsuz kuyuda toplam enerji

$$E = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2mL^2} (n_x^2 + n_y^2 + n_z^2) = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2mL^2} n^2 \quad n^2 = n_x^2 + n_y^2 + n_z^2$$

$$E_{\text{top}} = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2mL^2} 2 \left(\frac{1}{8} \right) \int_0^R n^2 d^3n \quad d^3n = n^2 dn d\Omega$$

$$E_{\text{top}} = \frac{\hbar^2 \pi^3}{10 mL^2} R^5$$

R yarıçaplı kürenin $\frac{1}{8}$ hacmindeki elektron sayısı

$$\boxed{Ne = 2 \left(\frac{4\pi}{3} R^3 \right) \frac{1}{8} \quad R^3 = \frac{3}{\pi} Ne}$$

$$E_{\text{top}} = \frac{\hbar^2 \pi^3}{10 mL^2} \left(\frac{3}{\pi} Ne \right)^{5/3}$$

Fermi düzeyi enerjisi:

$$E_F = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2mL^2} R^2 = \boxed{\frac{\hbar^2 \pi^2}{2mL^2} \left(\frac{3}{\pi} Ne \right)^{2/3}}$$

Bir boyutlu harmonik salınıcı
potansiyeli için elektronlar:

$$E = \left(n + \frac{1}{2}\right) \hbar \omega$$

N_e : elektron sayısı

$$N_e \gg 1$$

$$E \approx n \hbar \omega$$

$$E_{\text{top}} \approx \hbar \omega \int_0^{N_e/2} (2) n \, dn = \hbar \omega \frac{1}{2} \left(\frac{N_e}{2}\right)^2 (2)$$

$$E_{\text{top}} = \frac{1}{4} \hbar \omega N_e^2 \quad 1B$$

Fermi düzeyi enerjisi:

$$E_F = \left(\frac{N_e}{2} + \frac{1}{2}\right) \hbar \omega = \frac{1}{2} (N_e + 1) \hbar \omega \quad 1B$$

BÖLÜM-7

Kuantum Fiziğinde Ölçme Problemi, Schrödinger'in Kedisi, Dolanıklık

Kuantum fiziğinin klasik fizikten farkını oluşturan kavramlardan en önemlisi parçacıkların dalga özelliği göstermesi ve bu özelliğin olasılık yorumu ile açıklanması idi.

Örnek: Feynman'ın iki yarık deneyi

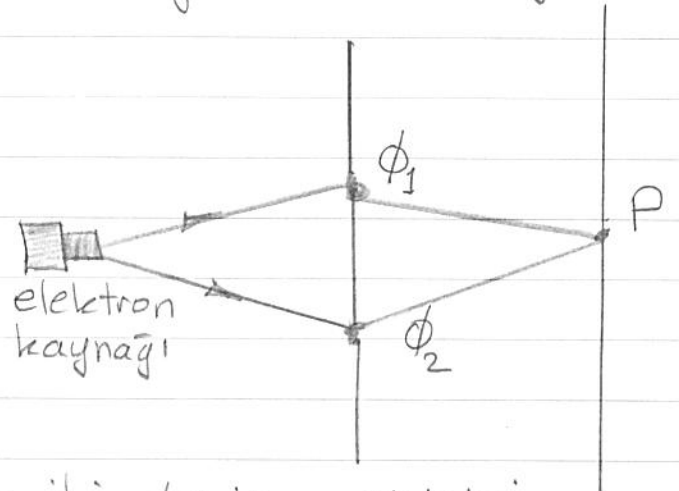
$$\phi = \phi_1 + \phi_2$$

$$|\phi|^2 = |\phi_1 + \phi_2|^2$$

$$= |\phi_1|^2 + |\phi_2|^2$$

$$+ \phi_1^* \phi_2 + \phi_2^* \phi_1$$

son iki terim girişimi oluşturduğundan klasik fizikler farkı gösterir.



Ancak elektronların hangi delikten geçtiğini gösteren bir deney yapılırsa yukardaki girişim terimi kalkar ve klasik fizik düşüncesi ile beklentimizin sonucunu elde ederiz.

$$|\phi|^2 = |\phi_1|^2 + |\phi_2|^2$$

Kuantum fiziğinde bu deney bize iki durumlu bir sistemi temsil eder,

$$\phi = \phi_1 + \phi_2$$

yani parçacığın aynı anda her iki durumda bulunma olasılığı vardır.

Böyle iki durumlu (veya daha fazla) bir sistem üzerinde ölçme yapılmak istendiğinde bu durumlarda sadece birini yakalama şansımız vardır. Diğer durum yok olacaktır. Yani sistemin kuantum durumları bozulup klasik duruma dönüşecektir.

Örnek : $\frac{1}{2}$ spinli bir fermiyonun spin durumu

$$\psi = \psi_1(\uparrow) + \psi_2(\downarrow)$$

İki spin durumlu böyle bir fermiyonun spin durumu ölçülmeye çalışılırsa, sadece spin durumlarından birini belirlemiş oluruz, diğer durum yok olur.

Örnek: Potansiyel kuyusunda parçacık:

Bir potansiyel kuyusuna (veya kutu) hapsedile bir parçacığın herhangi bir t anında bulunabileceği durumlar

$$\psi(r, t) = \sum_j^n C_j(t) \phi_j(r)$$

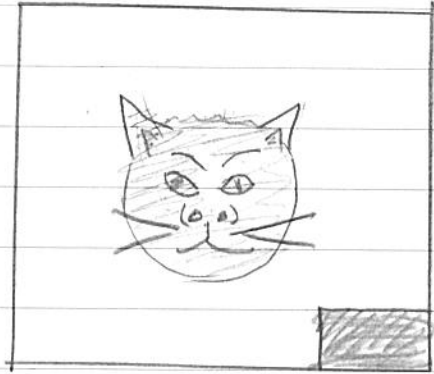
ile verilebileceği daha önce görmüştük

$|C_j(t)|^2 = j$ - durumunda bulunma olasılığı

Bu n-durumlu bir sistemdir. Normal bir ölçme ile bu durumlardan sadece birine ulaşırız ve çok durumlu kuantum sistemi özelliği kaybolur.

Schrödinger'in Kedisi

İki kuantum durumlu sistemdeki ölçme konusunu anlatmak için Schrödinger kapalı bir kutu içine hapsedilen bir kedi için düşünce deneyi önermiştir. Buna göre kutu içinde kedinin yanında radyoaktif bir madde bulunduğu ve herhangi bir anda radyoaktif madde bozunduğunda kedinin zehirlenerek öleceği gözönüne alınmıştır. Kutu açılmadığı sürece kedinin iki durumu söz konusudur.



$$\Psi(\text{Kedi}) = \Psi_1(\text{Canlı}) + \Psi_2(\text{Ölü})$$

Kutu açıldığında iki durumdan sadece bir görülecektir. Ölçme (kutunun açılması) sonunda ikinci durum yok olmuştur.

Ancak başka bir görüşe göre kedinin kuantum durumları kutunun açılmasına bağımlı olmamalıdır!

Dolanıklık (Entanglement)

$\vec{r}_1$ ve $\vec{r}_2$ konumlarında bulunan iki elektronun spinlerini gözönüne alalım. Belirli bir doğrultuya göre spin izdüşümleri ters olacak biçimde hazırlandıklarını düşünelim.

$\uparrow\downarrow$ veya $\downarrow\uparrow$ durumları söz konusudur.
(1 2) (1 2)

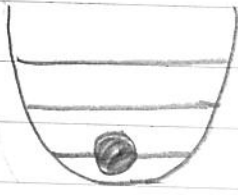
$$\Psi = c_1 \Psi_1(\uparrow\downarrow) + c_2 \Psi_2(\downarrow\uparrow)$$

Bu dalga fonksiyonuna dolanık (entangled) dalga fonksiyonu denir. Burada elektronlar arasında etkileşme olmadığı varsayılmaktadır. Bu durumun başlangıştaki toplam spin açısal momentumu bilinmektedir. Açısal momentumun korunumunu engelleyen bir etkileşme olmadığı sürece herhangi bir anda elektronlardan birinin spin izdüşümü" ölçüldüğünde diğerinin durumu da belirlenmiş olur. Elektronlar birbirinden ne kadar uzakta olursa olsunlar bu sonuç değişmez. Bu sonuca göre elektron spin durumları arasında uzaklıktan bağımsız bir bağlantı (correlation) var demektir. Özel görelilik açısından bakılırsa elektronlar arasında ışıktan daha hızlı bir iletişimden söz edilmektedir ve özel görelilik kuramına aykırıdır. Buna **EPR** (Einstein-Podolski-Rosen) Paradoxu adı verilir.

Kuantum Sistemlerin Ölçümü ve Kontrolü Konusunda son gelişmeler

NOBEL 2012

David Wineland
Colorado



Harmonik potansiyel ile iyon hapsi

Be^+ iyonu Laser ile elektronik uyarılmış durumuna çıkarılıyor.

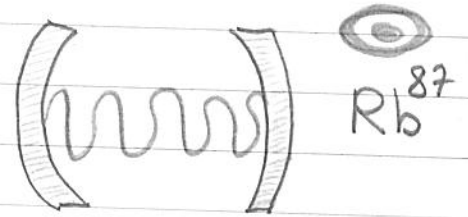
Ayrıca potansiyel içinde harmonik titreşim yapıyor.

İyonun iç kuantum durumları ile titreşim durumları arasında dolanık (entangled) bağlantı kuruluyor.

Kuantum durumu bir sistemden diğerine aktarılarak belirli bir süre kontrol altında tutulabiliyor.

(1 saniyenin altında)

Serge Haroche
Paris



Mikrodalga Kavitesi içine foton haps

$n=50, 51$ düzeylerine uyarılan Rb atomları kavitenin içinden geçirilerek kavite içindeki fotonların ölçüm ve kontrolü yapılıyor.

Kavite içindeki foton ile Rb atomunun uyarılmış durumları arasında dolanık bağlantı kuruluyor.