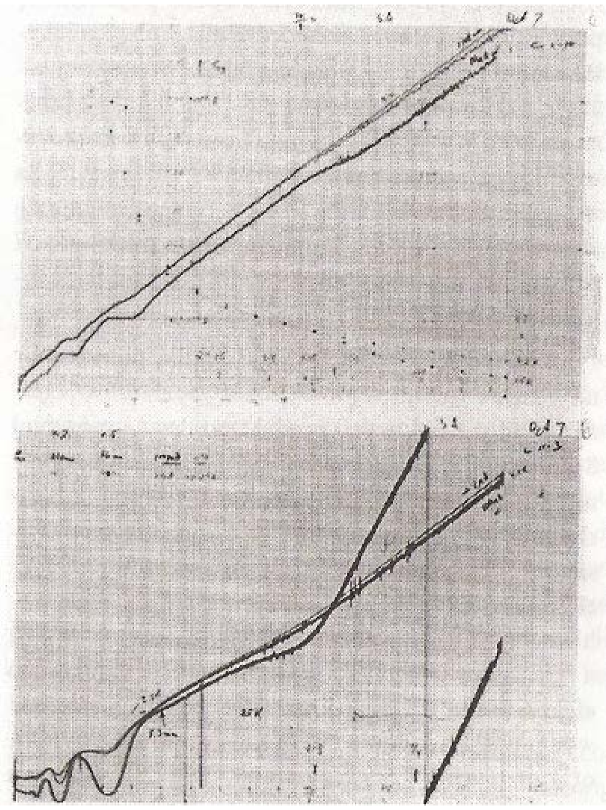
Kwantowy ułamkowy efekt Halla
FQHE

Nagroda nobla w 1998

1981 - D. Tsui i H.L. Stormer
badanie stanu z jednym nie w pełni obsadzonym poziomem Landau'a
(i=1 dla b. dużych pól B)

odkrycie „kolejnego schodka" dla B odpowiadającego i=1/3 ..?..
dla B >> $B_{(i=1)}$

dla takich pól ρ_{xy} powinno zależeć od B klasycznie – liniowo



nie do wytłumaczenia na gruncie przybliżenia jednoelektronowego

oddziaływanie między elektronami – efekty „kolektywne” – korelacja elektronowa

„nowy schodek” dla B 3x większego od tego $B_{(i=1)}$

$$\rho_{xy} = \frac{B}{en}$$

sugeruje q=1/3 e ....

<u>Zarys teorii</u>

1. mezoskopowy metal 2D bez oddziaływania e-e, bez pola B, elektrony swobodne (fale płaskie, rozmycie prawdopodobieństwa)

2. mezoskopowy metal 2D oddziaływanie e-e, bez pola B
 - <u>korelacja elektronowa</u> istotna – „ciecz kwantowa”

3. strumień pola B przez powierzchnię płytki (S=LW)

$$\Phi = BS$$

ale $S=N/n_B$, (N – liczba stanów na poziomie Landau’a)
a $n_B = eB/h$,
zatem $\Phi = N\,(h/e) = N\,\Phi_0$, $\Phi_0 = h/e$ - kwant strumienia

4. kwant strumienia można klasycznie rozumieć jako elementarny „wir” – rozmiar wiru to powierzchnia zajmowana przez kwant strumienia (**uwaga: zależy od** B)

w „morzu” elektronów w 2D, w centrum wiru ładunek = 0, na brzegu wiru – wartość wraca do „średniej” dla „morza”

same „wiry” dla pola B – prawdopodobieństwo lokalizacji – rozmyte podobnie jak dla gazu 2DEG

5. korelowanie położeń elektronów i wirów może być energetycznie korzystne:

- umieszczenie wiru na elektronie – separuje go „idealnie” od pozostałych elektronów – zapewnia zasadę Pauliego dla elektronów, znacznie ekranuje elektron od pozostałych – redukuje oddziaływanie kulombowskie

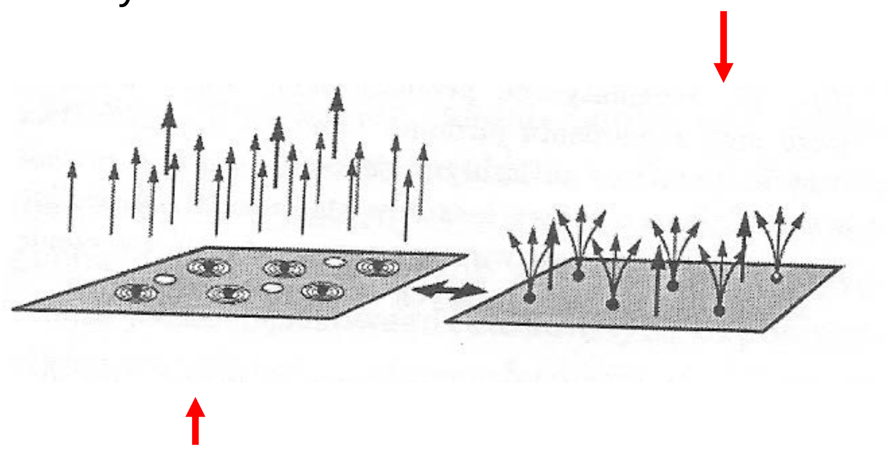
- jeśli wszystkie elektrony „ubrane” w wiry – „nowe cząstki” (kwazicząstek) - to – gaz prawie nieoddziałujących kwazicząstek

- na zapełnionym poziomie Landau’a – każdy elektron stowarzyszony z jednym wirem – zapewnienie zakazu Pauliego dla e i częściowe ekranowanie;
  zewnętrzne B całkowicie „wbudowane” w elektrony – kwazicząstki – w pozornym polu = 0

6. cząstki złożone:
- elektron + nieparzysta liczba wirów = bozon
- elektron + parzysta liczba wirów – „złożony fermion”

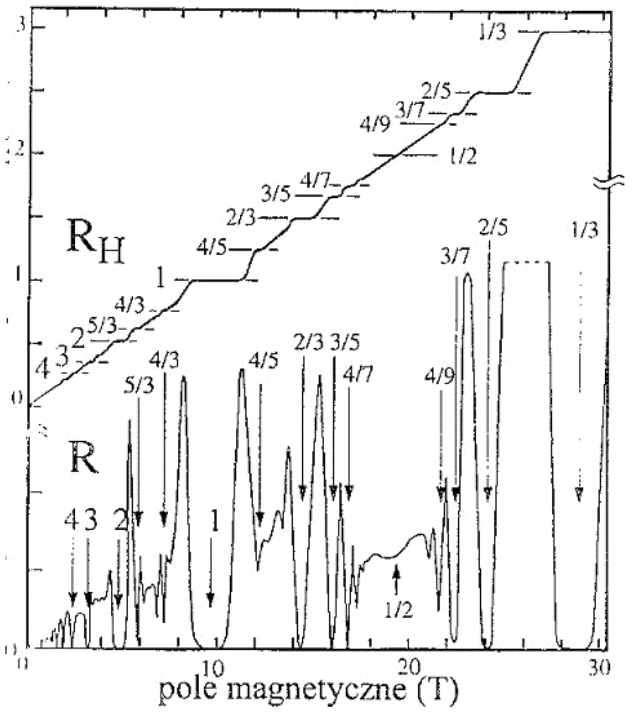
- całkowity czynnik wypełnienia i – kondensat bozonów („ubranych” elektronów)

taka sama sytuacja gdy i =1/3 - 3 wiry na każdy elektron – bozony – kondensat ...



7. gdy $i \neq 1/3$ powstają nowe „niestowarzyszone” wiry – kwazicząski - każda o ładunku 1/3 e (bez dowodu) - mogą nawet przewodzić prąd elektryczny !

8. dla $\boldsymbol{i}$ =1/2 - nietypowy schodek Halla...
dwa wiry na jeden elektron – złożone fermiony – nie ma „typowego” kondensatu;



9. model wirów, bozonów i złożonych fermionów wyjaśnia prawie wszystkie (za wyj. $\boldsymbol{i}$ =5/2) połówkowe schodki

10. pełna teoria R.B. Laughlin
hamiltonian:

$$H = \sum_{j}^{N} \left\{ \frac{1}{2m} \left[\frac{\hbar}{i} \nabla_j - \frac{e}{c} \mathbf{A}(\vec{r}_j) \right]^2 + V_{jon}(\vec{r}_j) \right\} + \sum_{j<k}^{N} g(\vec{r}_j - \vec{r}_j)$$

A – potencjał wektorowy pola B,
A(<u>**r**</u>) = B/2 (x<u>**y**</u>-y<u>**x**</u>)

funkcja np. dla $\boldsymbol{i}$ =(1/m) = 1/3

$$\Psi_m(z_1,\ldots,z_N) = \prod_{j<k}^{N} (z_j - z_k)^m \times \exp\left[-\frac{1}{4l^2} \sum_{j}^{N} |z_j|^2 \right]$$

z = x + iy , l^2=h*/eB