

Fractional Quantum Hall Effect: Теоретические основы, открытия и роль в Acta Universi

Fractional Quantum Hall Effect (FQHE) — это топологическая фаза материи, обнаруженная в 1982 году Даниэлем Цуи, Хорстом Штёрмером и Робертом Лафлином (Нобелевская премия 1998). FQHE проявляется в двумерных электронных системах (2DEG) под сильным магнитным полем и низкими температурами, где сопротивление Холла ρ_{xy} квантуется дробными значениями $h/(v e^2)$, где v — дробное filling factor (например, $v=1/3, 2/5$). В отличие от integer QHE (IQHE, 1980, фон Клитцинг), FQHE включает коллективные взаимодействия электронов, приводящие к quasiparticles с дробным зарядом и неабелевой статистикой (anyons). К декабрю 2025 года FQHE остается ключевым объектом исследований в condensed matter physics, с advances в fractional quantum anomalous Hall effect (FQAH) и приложениями в TQC. arxiv.org+2 больше

Теоретические основы FQHE

FQHE возникает в Landau levels (LL) — дискретных энергетических уровнях в магнитном поле B : $E_n = \hbar \omega_c (n + 1/2)$, где $\omega_c = eB/m$ — циклотронная частота. При filling factor $v = 2\pi l_B^2 n_e$ (l_B — магнитная длина, n_e — плотность электронов) $v < 1$, электроны конденсируются в strongly correlated state, описываемый волновой функцией Лафлина (1983):

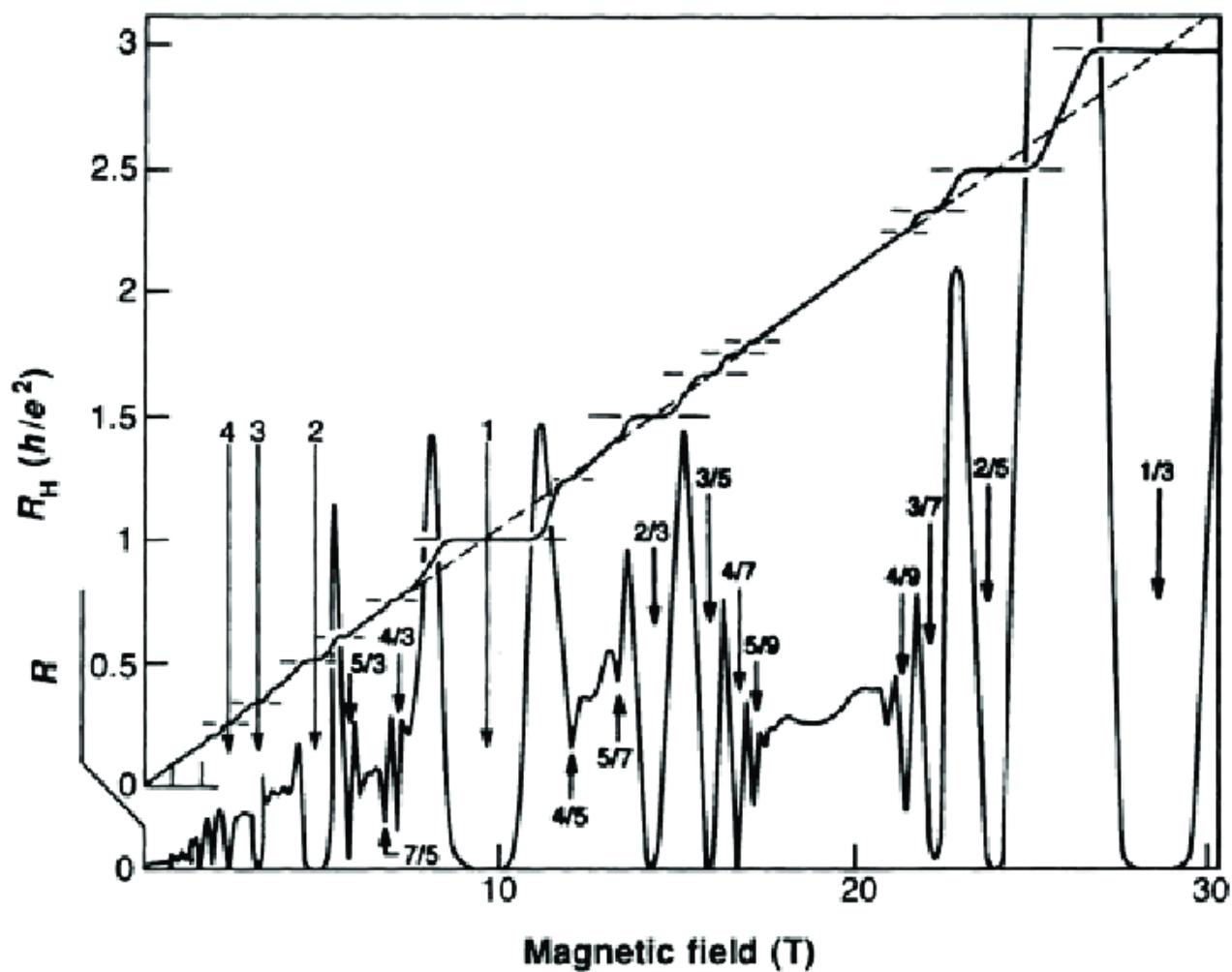
$$\Psi(z_1, \dots, z_N) = \prod_{i < j} (z_i - z_j)^m \exp\left(-\frac{1}{4l_B^2} \sum |z_i|^2\right) \Psi(z_1, \dots, z_N) = \prod_{i < j} (z_i - z_j)^m \exp\left(-\frac{1}{4l_B^2} \sum |z_i|^2\right) \Psi(z_1, \dots, z_N) = i^{N(N-1)/2} \prod_{i < j} (z_i - z_j)^m \exp\left(-\frac{1}{4l_B^2} \sum |z_i|^2\right)$$

где $m = 1/v$ — нечётное для fermions ($v=1/3$ при $m=3$). Это приводит к fractional charge quasiparticles $e^* = e/3$ и anyon statistics с фазой $\theta = 2\pi/3$ при обмене. Эффективная теория — Chern-Simons (Z. Wen, 1990): $L = (\mu/4\pi) a \cdot d a + (e/2\pi) a \cdot d A$, где a — gauge field quasiparticles. brown.edu

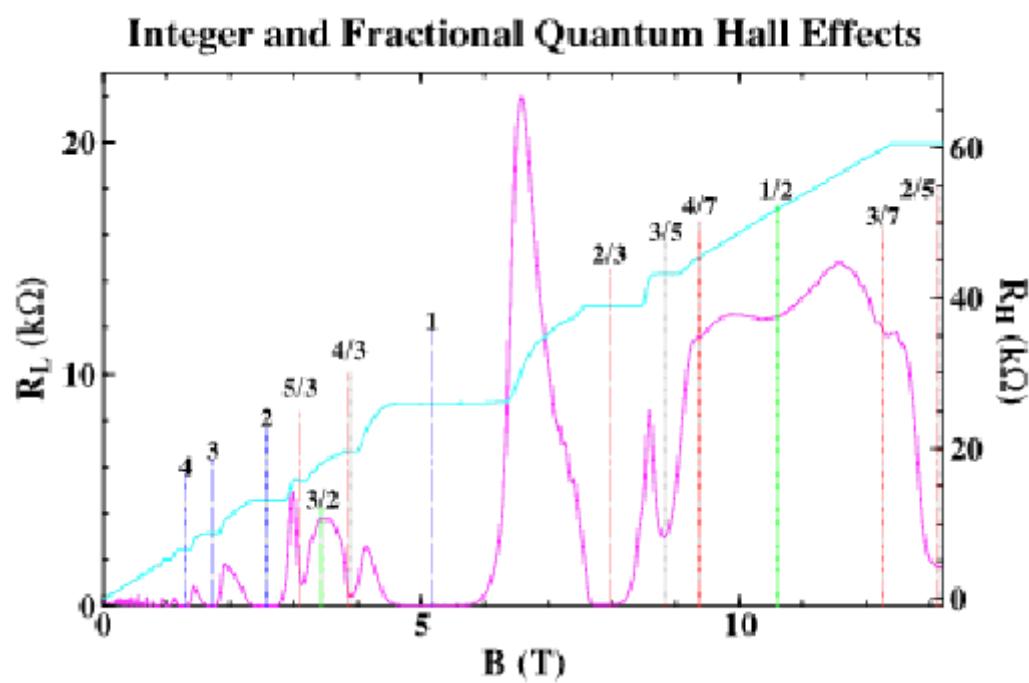
Fractional vs Integer QHE

- **IQHE:** Целые v (1,2,3...), объясняется single-particle LL без interactions. $\rho_{xy} = h/(v e^2)$, $\rho_{xx} = 0$.
- **FQHE:** Дробные v (1/3, 2/5, 3/7...), требует electron-electron interactions. Quasiparticles с fractional charge/statistics, топологическая защита. В 2025 FQH в cavity (ICTP, май 2025) моделирует emergent Hall в оптических системах. ictp.it

Сравнение: IQHE — non-interacting, FQHE — strongly correlated, приводя к exotic phases как Moore-Read (p+ip superconductors) с non-Abelian anyons.



[researchgate.net](https://www.researchgate.net)



[researchgate.net](https://www.researchgate.net)

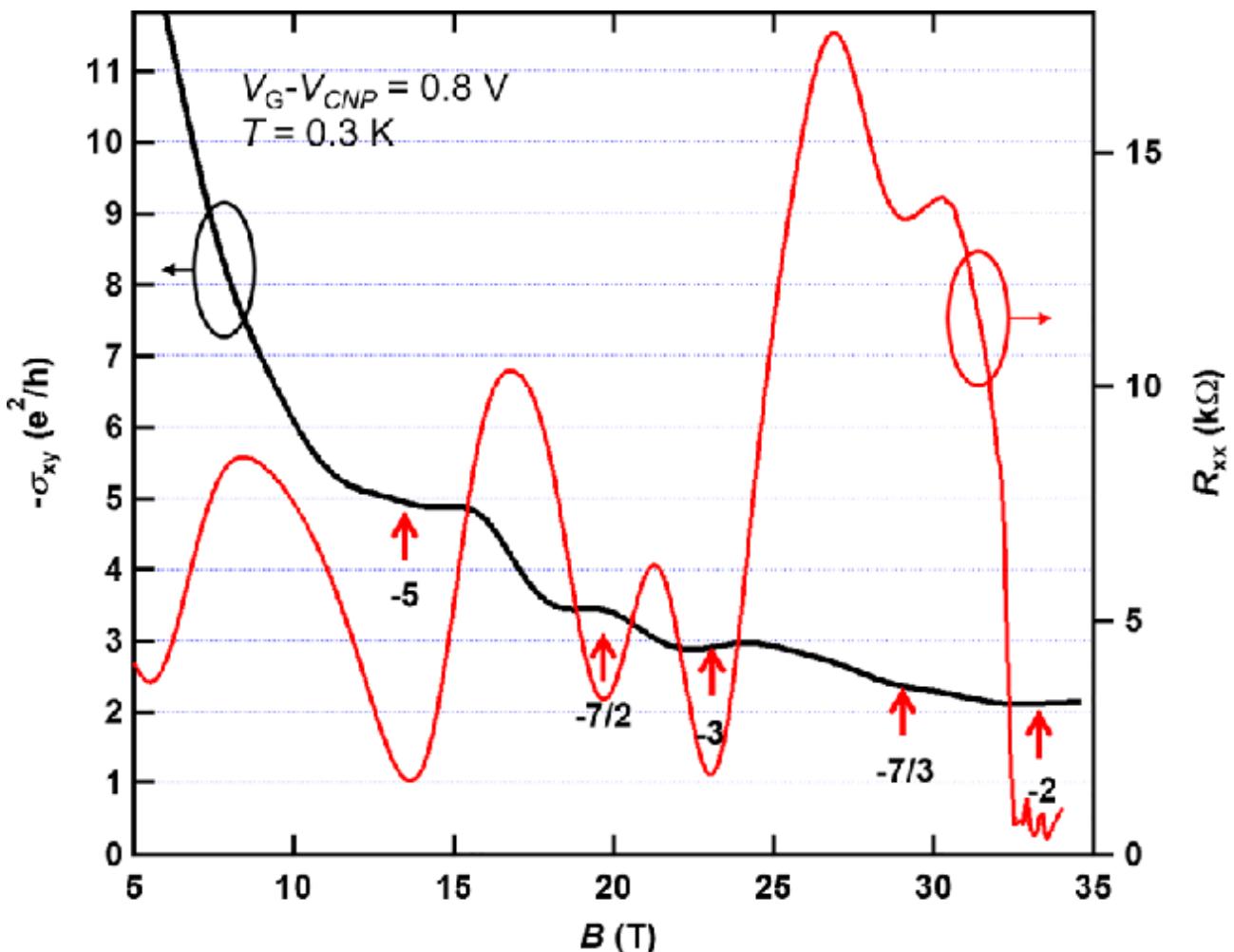
Advances в 2025 году

2025 год — прорывной:

- MIT-affiliated physicists (Xu Xiaodong, University of Washington) выиграли McMillan Award за открытие fractional quantum anomalous Hall effect (FQAHE) — аналог FQHE без магнитного поля в moiré materials (Bi₂Se₃, graphene bilayers). Это упрощает TQC, подтверждено в Nature (октябрь 2025).news.mit.edupubs.acs.org
- New class of particles: Quasiparticles в FQHE образуют stable clusters (Brown University, январь 2025).brown.edu
- ICTP модель FQHE в cavity (май 2025): Первый theoretical model Hall effect в оптических ловушках.ictp.it
- NAS Award для Xu Xiaodong за FQAHE (январь 2025).calendars.illinois.edu
- X Posts: NAS объявил о McMillan Award для Xu за FQAHE (январь 2025); коллоквиум в U of T о emergent graviton в FQHE (ноябрь 2025).@theNASciences@uoftphysics

Связь с Acta Universi

В Acta Universi FQHE — проявление нелокальных корреляций AU-поля в condensed matter: fractional charge — энтропийный градиент ∇S_{Θ} в 2D-системах. FQAHE без B-поля — аналог AU-прыжков (Δx без энергии). Для AU-чипов: FQH-states в 2D graphene moiré — для генерации anyons с $S_{\Theta} > 10^{45}$ бит/с (порог для 1 св. год прыжка). В 2025 FQAHE упрощает интеграцию в нейроморфные чипы.



[researchgate.net](https://www.researchgate.net/publication/323454444) Fractional quantum hall effect of (Bi 0.53 Sb 0.47) 2 Te 3 at a ...

Заключение

FQHE — фундаментальная топологическая фаза, с advances в FQAH в 2025, открывающими эру TQC. В Acta Universi — ключ к энтропийным корреляциям для космоинженерии.

Yashchenko Dmitry Eduardovich

Ященко Дмитрий Эдуардович

Svobodnyy, Amur Region, Russian Federation

Российская Федерация Амурская область г. Свободный

yashchenko.dmitry@gmail.com

me@liberurban.ru

X: @graviton2011

@dmitryactauniversi.bsky.social

09.12.2025