

# 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  $\rho_{xy}$  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](https://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):

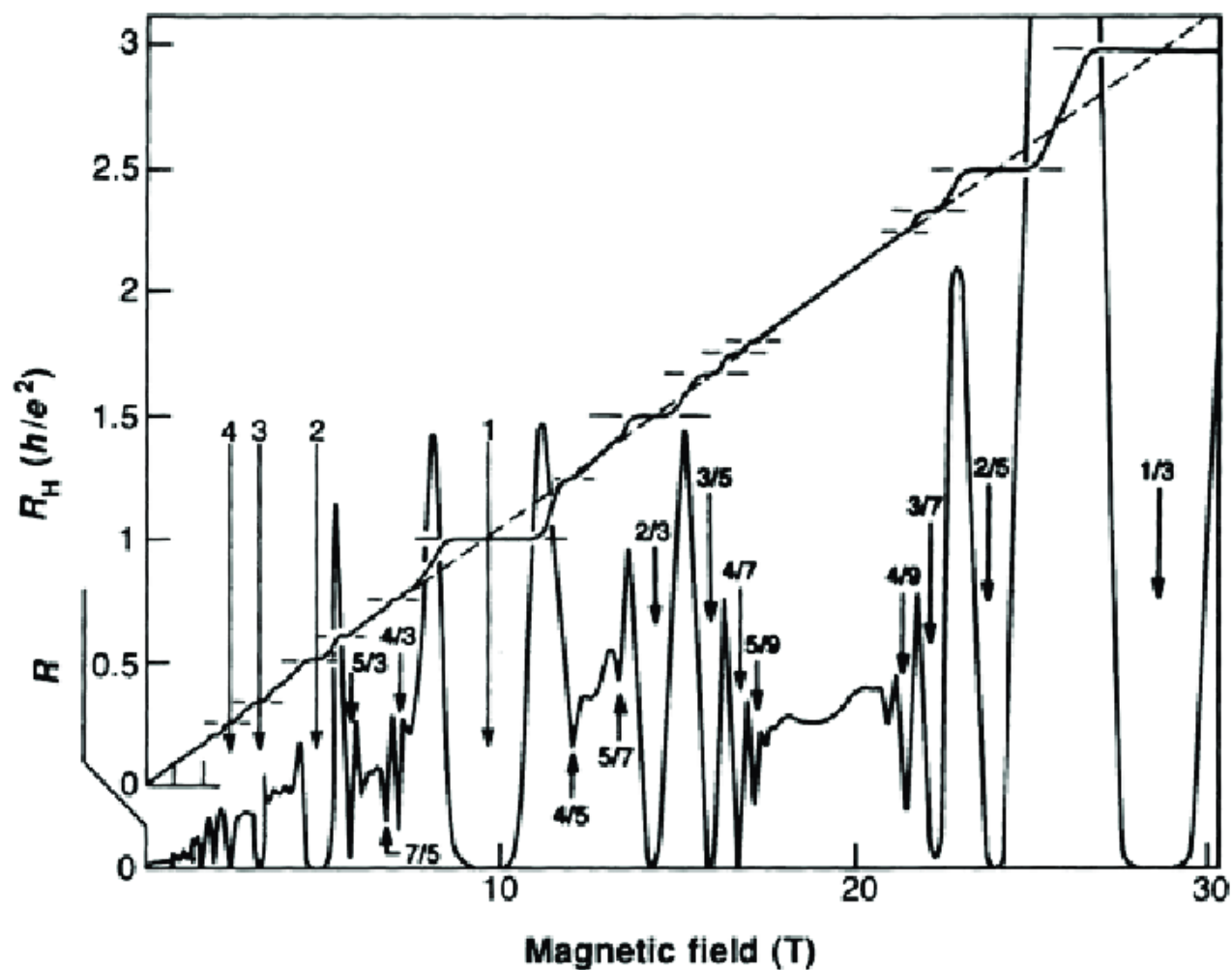
$$\Psi(z_1, \dots, z_N) = \prod_{i < j} (z_i - z_j)^m \exp\left(-\frac{1}{4} l_B^2 \sum_i |z_i|^2\right) \Psi(z_1, \dots, z_N) = \prod_{i < j} (z_i - z_j)^m \exp\left(-\frac{1}{4} l_B^2 \sum_i |z_i|^2\right)$$

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):  $L = (\mu/4\pi) a da + (e/2\pi) a dA$ , где  $a$  — gauge field quasiparticles. [brown.edu](https://brown.edu)

## Fractional vs Integer QHE

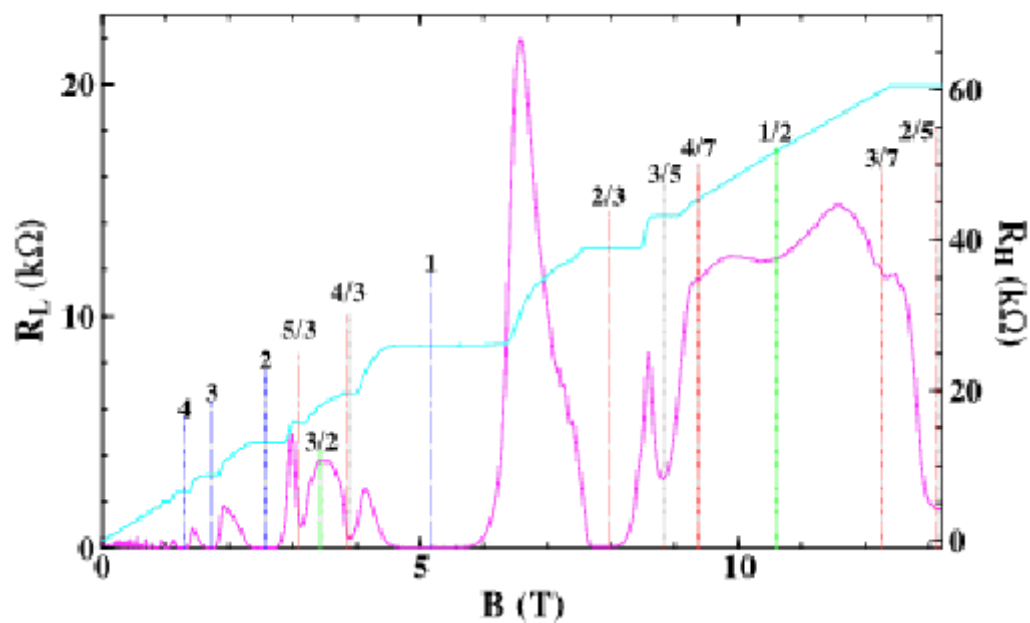
- **IQHE**: Целые  $v$  (1,2,3...), объясняется single-particle LL без interactions.  $\rho_{xy} = h/(v e^2)$ ,  $\rho_{xx} = 0$ .
- **FQHE**: Дробные  $v$  (1/3, 2/5, 3/7...), требует electron-electron interactions. Quasiparticles с fractional charge/statistics, топологическая защита. В 2025 FQH в cavity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

### Integer and Fractional Quantum Hall Effects



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

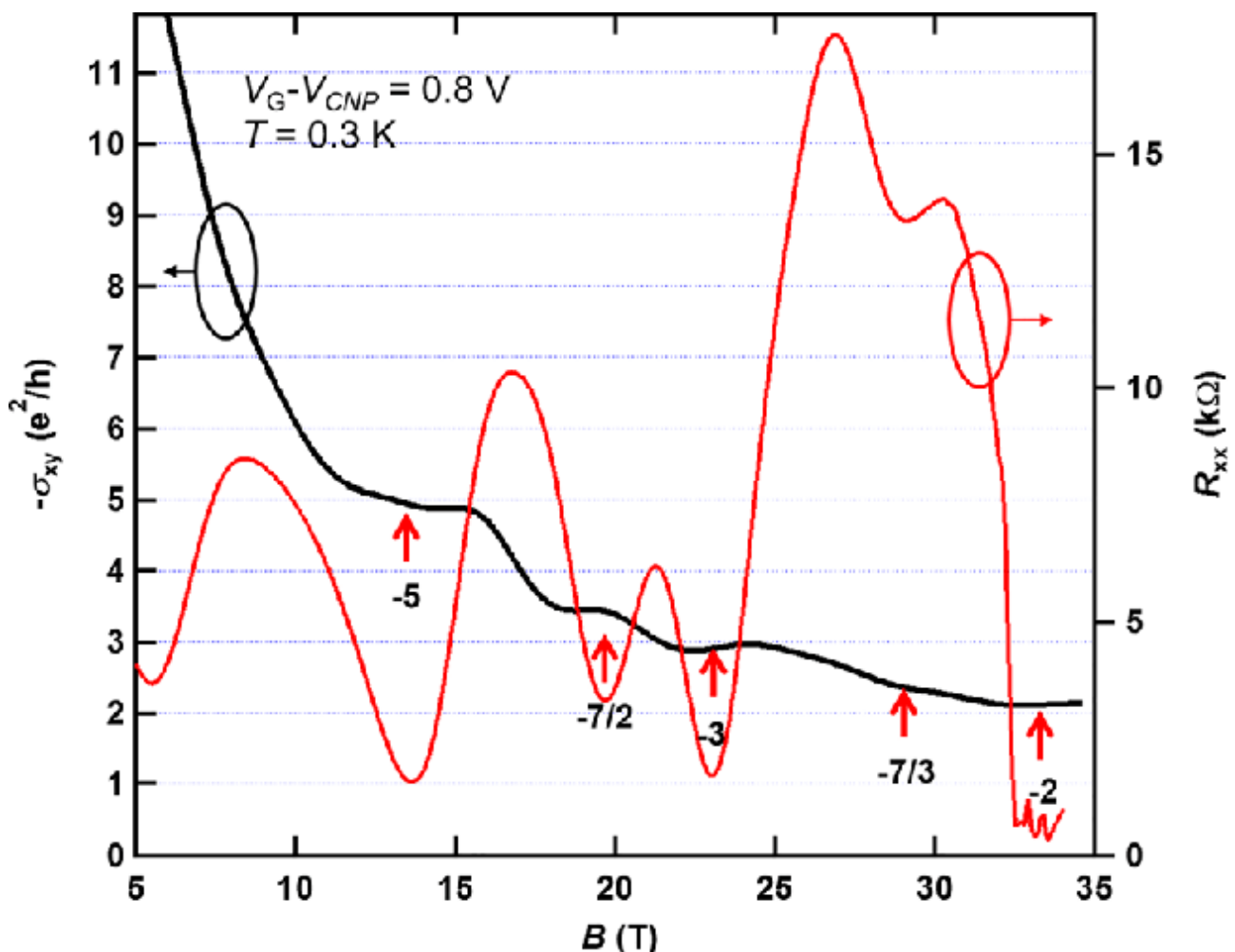
Advances в 2025 году

2025 год — прорывной:

- MIT-affiliated physicists (Xu Xiaodong, University of Washington) выиграли McMillan Award за открытие fractional quantum anomalous Hall effect (FQANE) — аналог FQHE без магнитного поля в moiré materials (Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, graphene bilayers). Это упрощает TQC, подтверждено в Nature (октябрь 2025). [news.mit.edu/pubs.acs.org](https://news.mit.edu/2025/fractional-quantum-anomalous-hall-effect-10)
- New class of particles: Quasiparticles в FQHE образуют stable clusters (Brown University, январь 2025). [brown.edu](https://brown.edu)
- ICTP модель FQHE в cavity (май 2025): Первый theoretical model Hall effect в оптических ловушках. [ictp.it](https://ictp.it)
- NAS Award для Xu Xiaodong за FQANE (январь 2025). [calendars.illinois.edu](https://calendars.illinois.edu)
- X Posts: NAS объявил о McMillan Award для Xu за FQANE (январь 2025); коллоквиум в U of T о emergent graviton в FQHE (ноябрь 2025). [@theNASciences@uoftphysics](https://twitter.com/theNASciences)

### Связь с Acta Universi

В Acta Universi FQHE — проявление нелокальных корреляций AU-поля в condensed matter: fractional charge — энтропийный градиент  $\nabla S_{\Theta}$  в 2D-системах. FQANE без B-поля — аналог AU-прыжков ( $\Delta x$  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 FQANE упрощает интеграцию в нейроморфные чипы.



[researchgate.net](https://researchgate.net) Fractional quantum hall effect of  $(\text{Bi}_{0.53}\text{Sb}_{0.47})_2\text{Te}_3$  at a ...

## **Заключение**

FQHE — фундаментальная топологическая фаза, с advances в FQHE 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