

Спектроскопія в сильних мангітних полях

Дмитро Каменський
Рабоуд Університет (Наймеген, Нідерланди)

23 Листопада 2017, d.kamenskyi@ru.nl

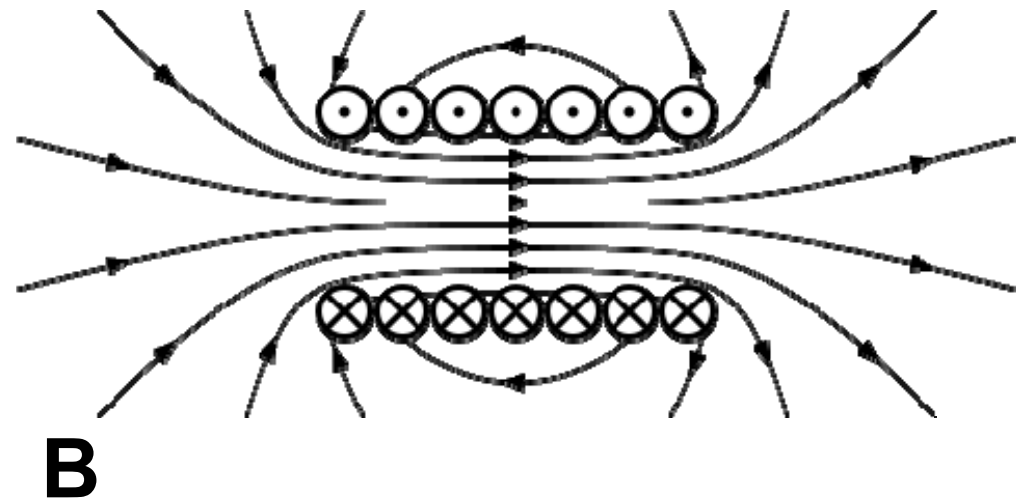
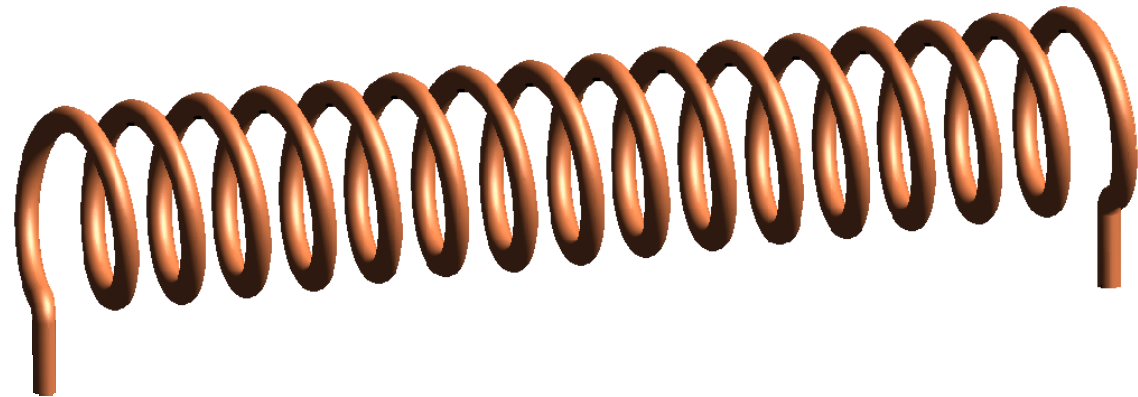
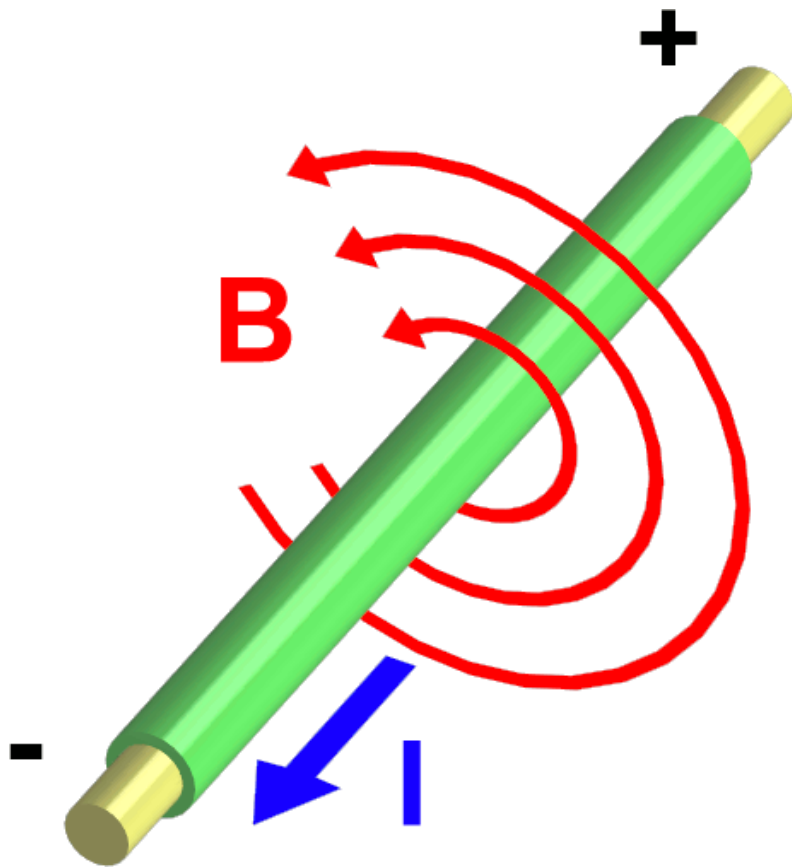


Дослідження в магнітних полях

- Унікальні можливості для дослідження матеріалів (Намагніченність, Еффект Холла, мангітні резонанси,...)
- Зміни фазового стану матеріалів (Фазові переходи метал-ізолятор, руйнація надпровідності)
- Змінювати гравітаційні умови! (можливість «підвішувати» матеріали у магнітному полі)



Що таке магнітне поле?



Напруженність магнітного поля: типові величини

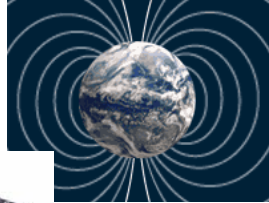
«Найменше» магнітне поле:

імпульси мозку

0.00000001 T



Магнітне поле землі



0.00005 T

Побутові прилади



жорсткий диск

1T



Надпровідні магніти

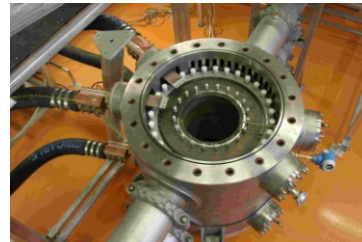


20 T



Спеціалізовані лабораторії (Наймеген, Гренобль, Дрезден):

Біттер та гібридні магніти



30-45 T

Імпульсні магніти (~ 0.001 сек)

50-100T

Найвищі отримані людиною поля (0.000001 s)

~ 1000 T

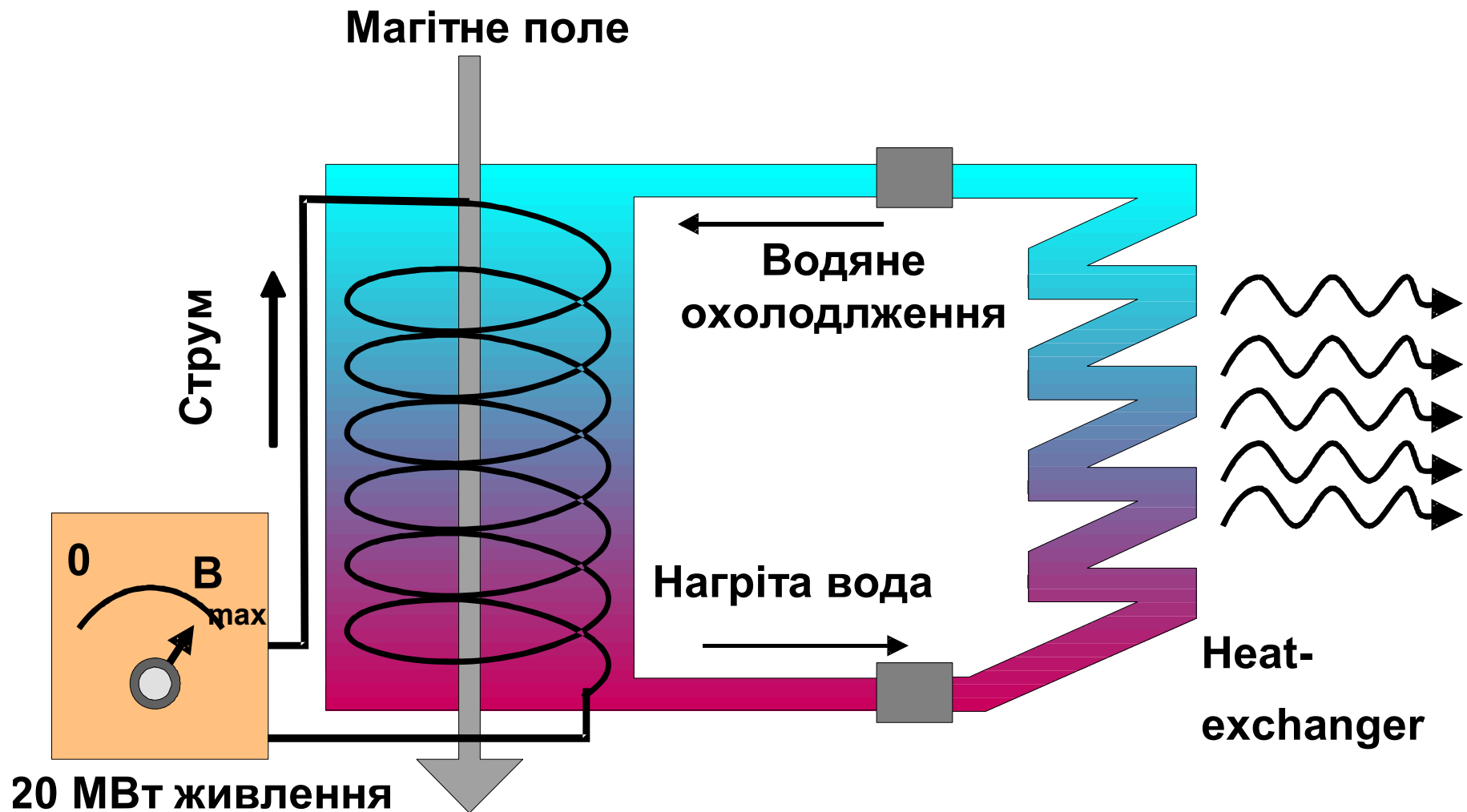


Нейтронні зірки

100000000T



Як отримати сильне магнітне поле?

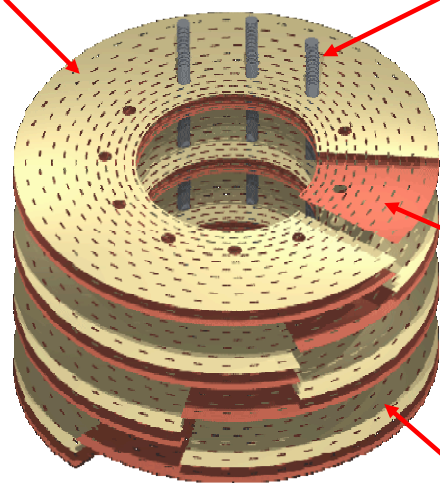


33 Тесла резистивний магніт

дизайн Біттера

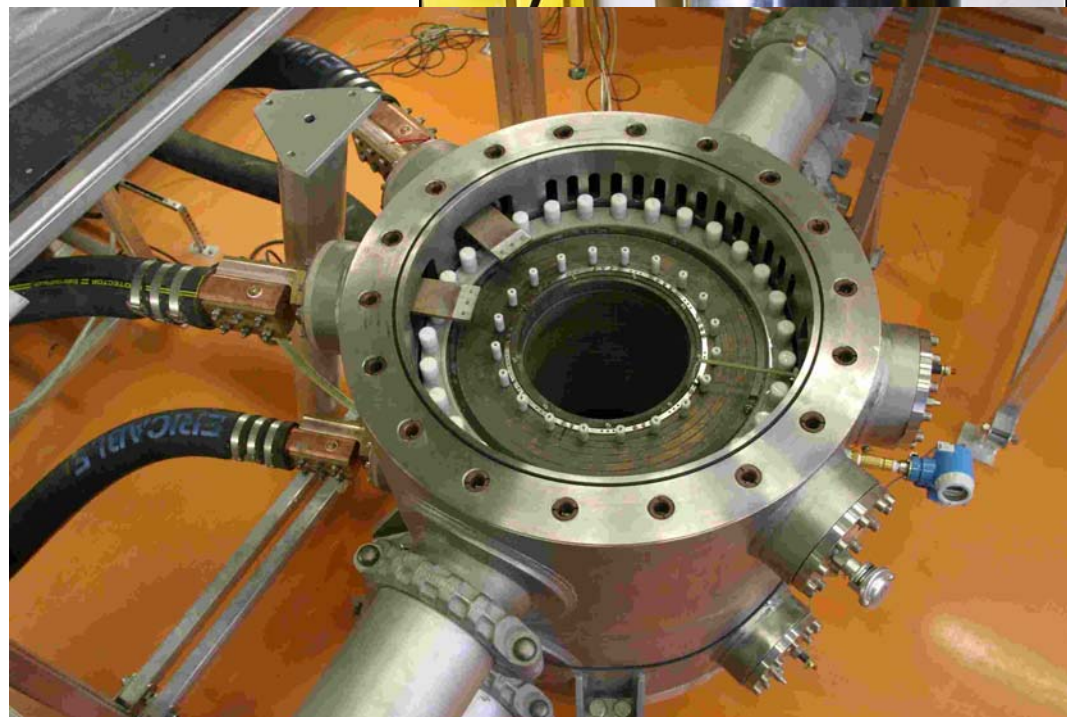
Отвори для
охолодження

Стрижні для
фіксації дисків



Cu диск

Ізоляція




33 Т магніт:

Складається з 3-х катушок

- 36 кА, 18 МВт
- 145 літрів/сек вода

Де можна зробити експерименти у магнітних полях більше 20 Т

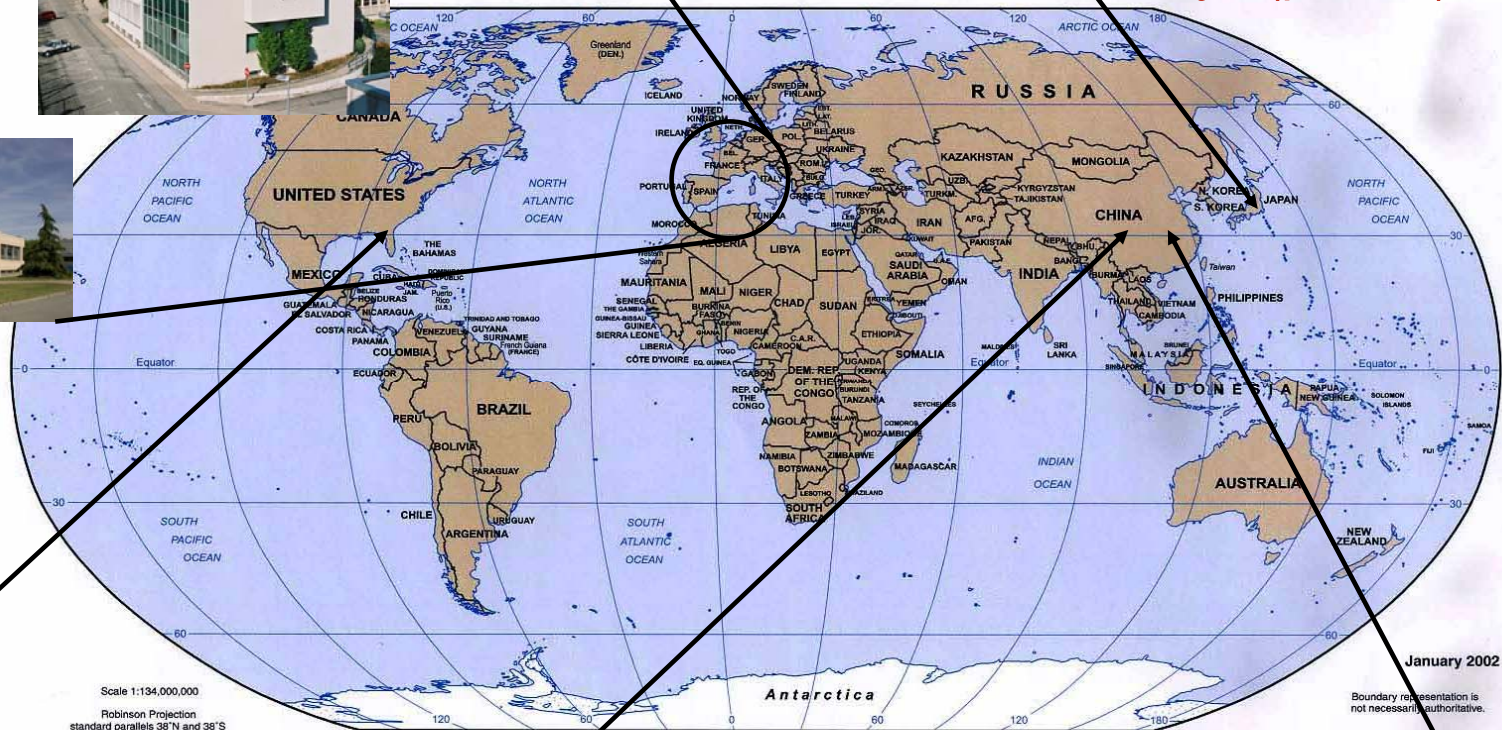
Europe 
Nijmegen (DC)
Grenoble (DC)
Toulouse (pulsed)
Dresden (pulsed)



Japan
Tsukuba (DC)
Tokyo (pulsed)



USA
Tallahassee (DC)
Los Alamos (pulsed)



China
Hefei (DC)
Wuhan (pulsed)



European Magnetic Field Laboratory



European Magnetic Field Laboratory

High field research facilities

Static fields

HFML Nijmegen
LNCMI Grenoble

Pulsed fields

HLD Dresden
LNCMI Toulouse



1. Розробка унікальних технологій

- Наша мета генерувати найбільші можливі поля
- 37.5 Тесла постійного і 90 Тесла імпульсного поля доступні зараз!
- 45 Т постійний магніт у розробці (план 2019)

2. Бути привабливими для науковців з усього світу

- Накопичення і спільне користування унікальним досвідом
- Можливість отримання фінансування від міждержавних установ
- Проведення експериментів можливо для всіх науковців на рівних умовах

3. Наукова програма

- Кожна лабораторія має власну наукову програму орієнтовану на максимально ефективне використання магнітів.

Як матеріали реагують на зовнішнє магнітне поле?

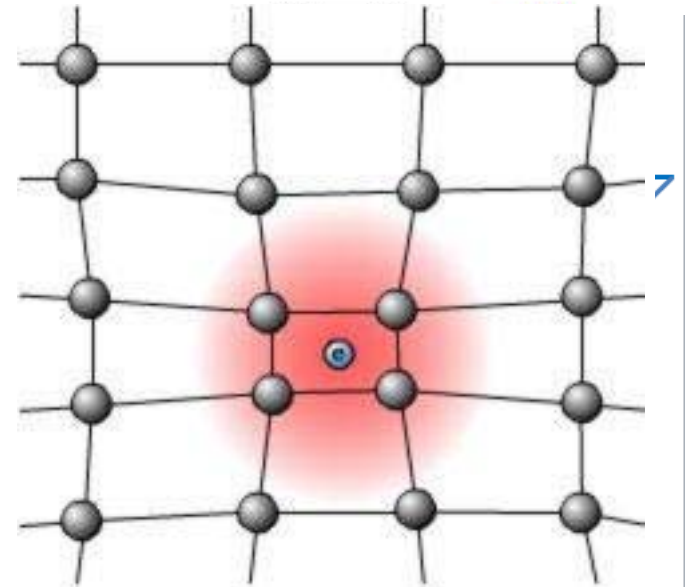


Електричний заряд у магнітному полі

- На електрон у магнітному полі діє сила Лоренца

$$F_L = q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad \omega_c = \frac{v}{r} = \frac{e}{m^*} B$$

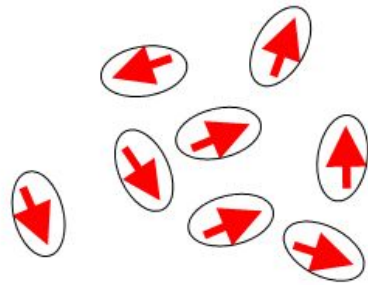
ω_c незалежить від \mathbf{v} та r .



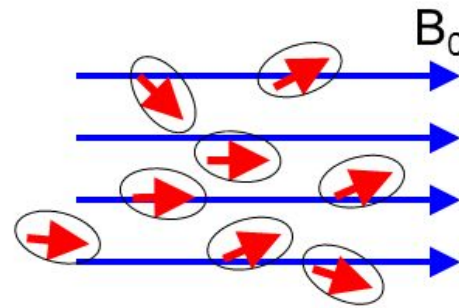
Якщо частота електромагнітного випромінювання $\omega = \omega_c$
спостерігається резонансне поглинання світла

Магнітний момент (спін) у магнітному полі

$B = 0$

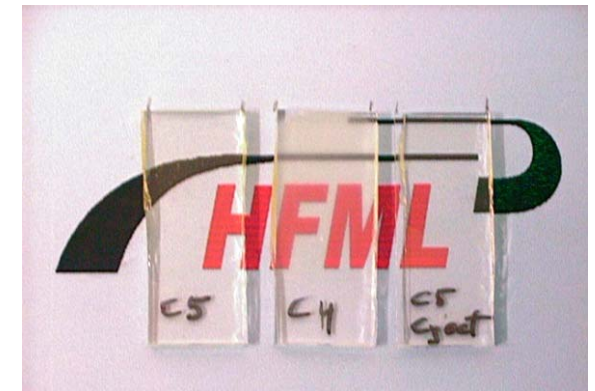
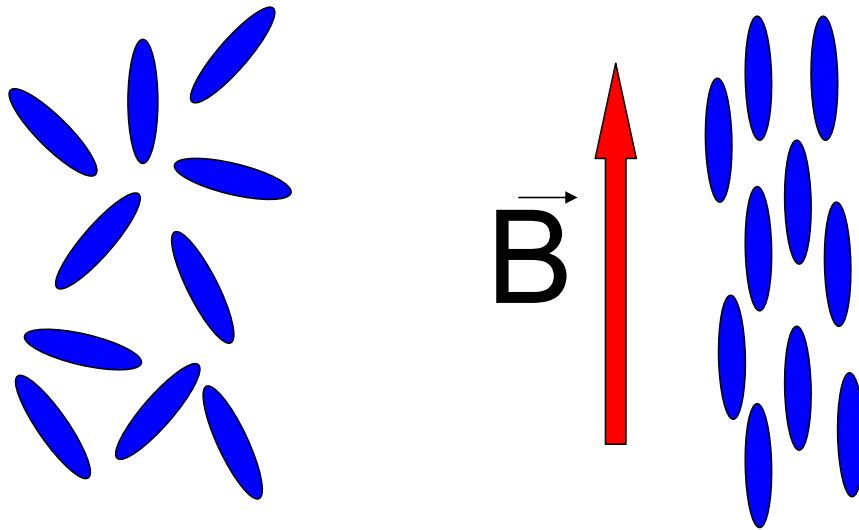


$B = B_0$



Немагнітні матеріали

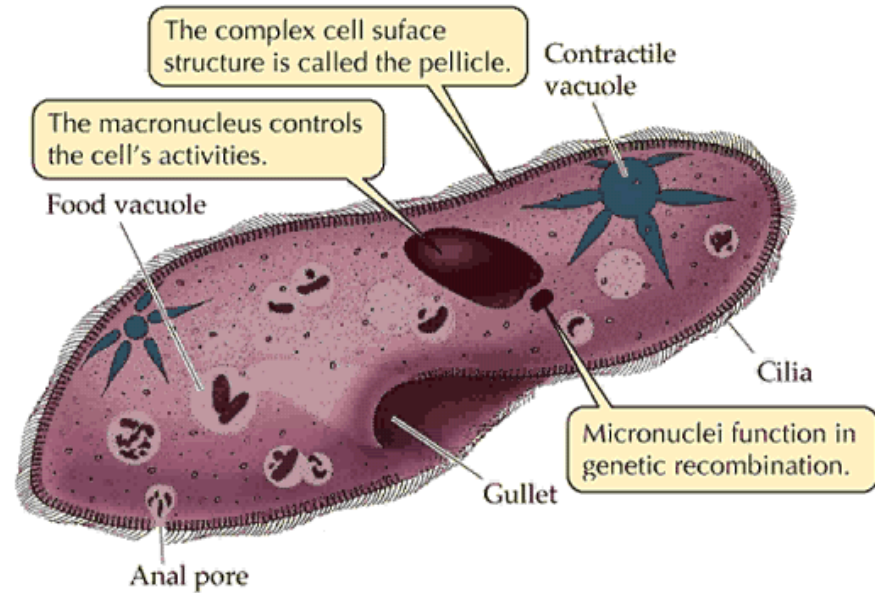
Анізотропні матеріали орієнтуються у полі



Магнітна левітація

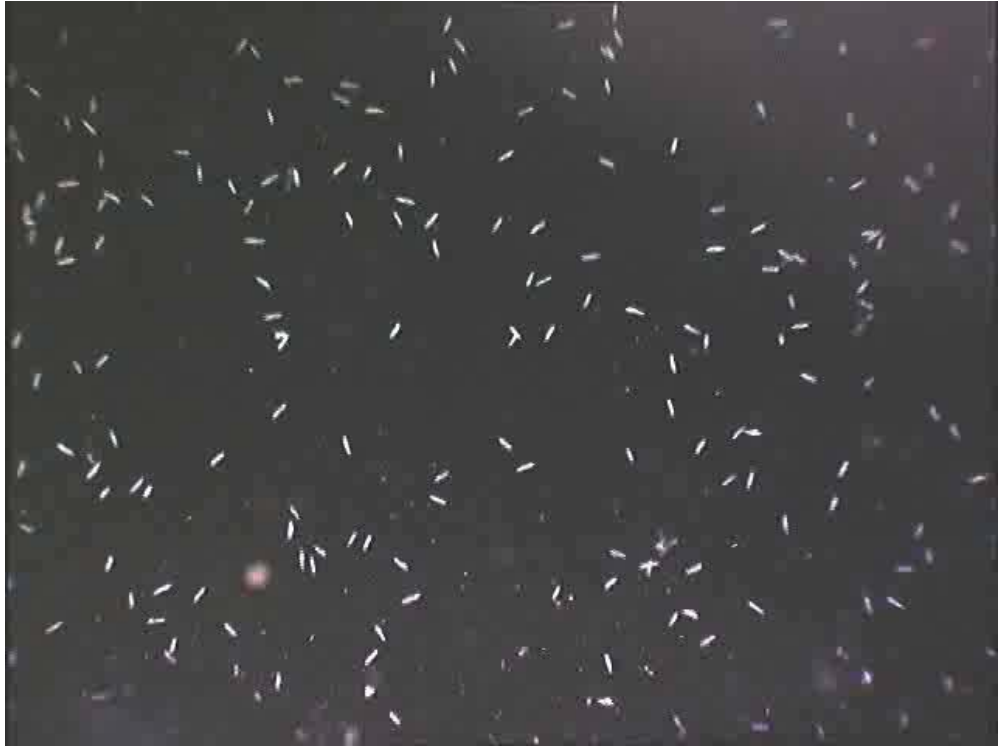


Paramecium Caudatum



Courtesy of Prof. J. Valles, Brown University, USA

Paramecium Caudatum



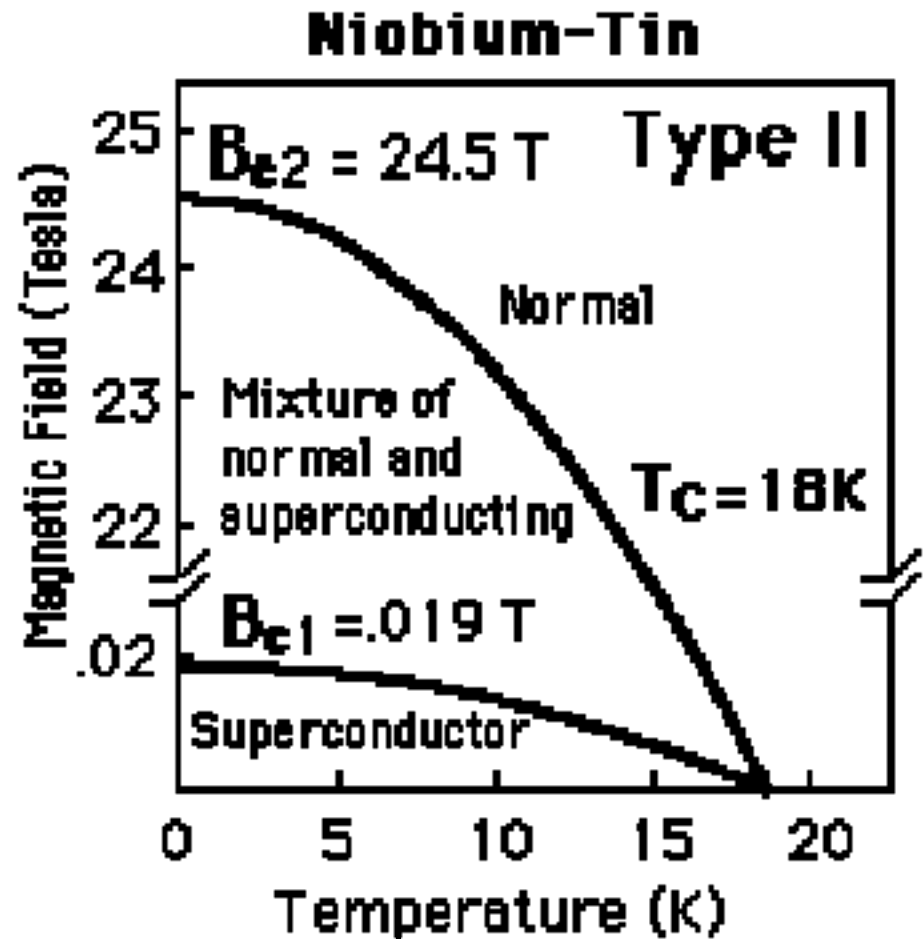
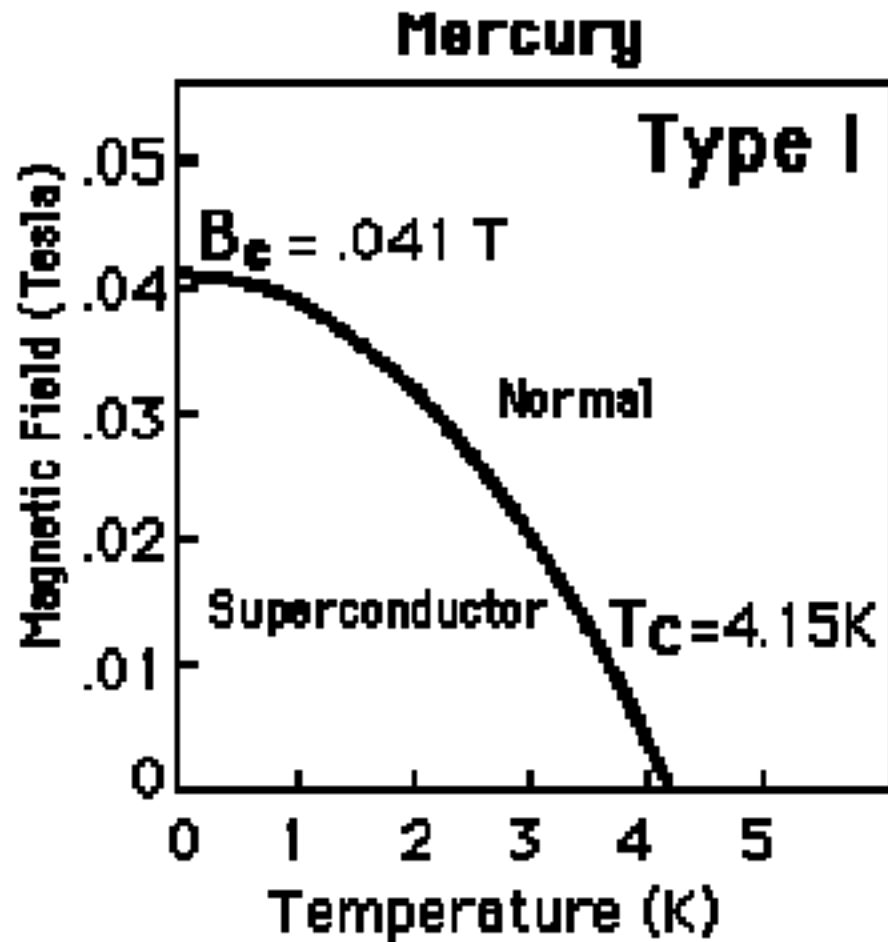
Field: 0 T



Field: 25 T ↑

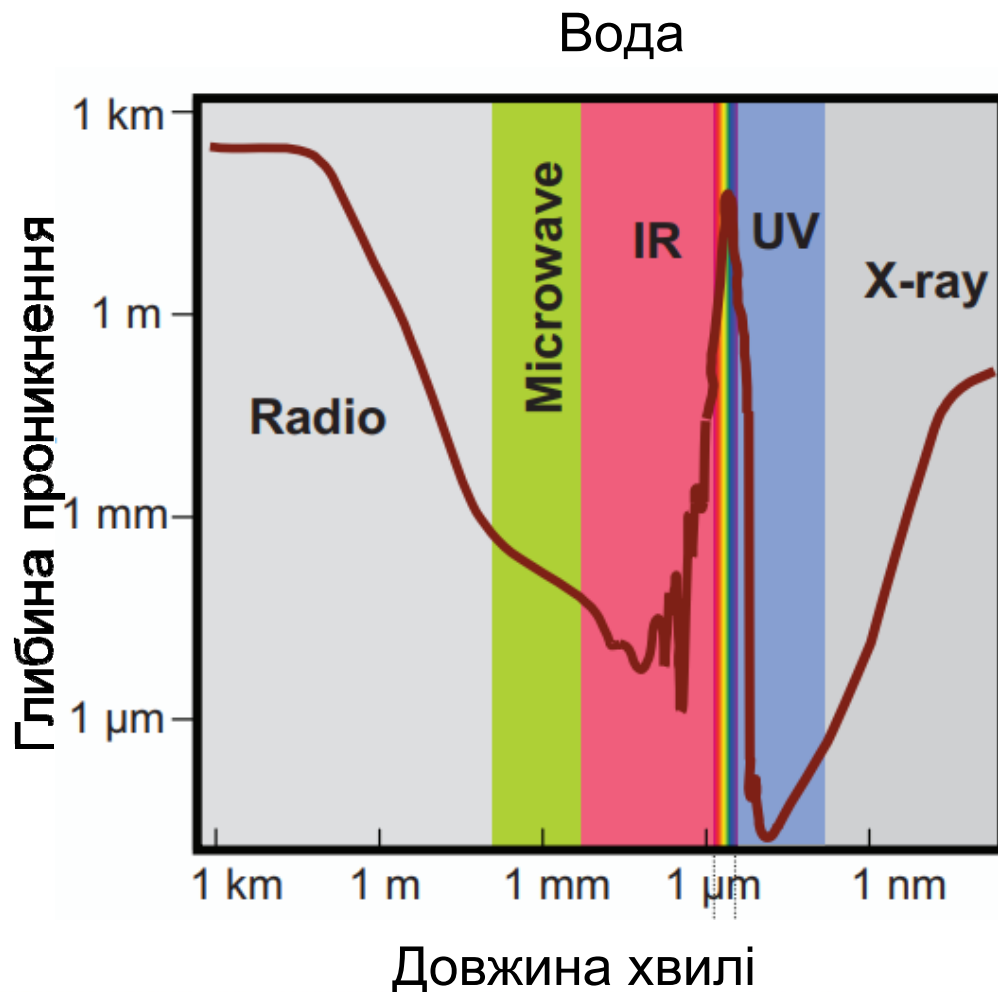
Courtesy of Prof. J. Valles, Brown University, USA

Надпровідники у магнітному полі



Реакція матеріалів на електромагнітне випромінювання

Сильно залежить від частоти випромінювання

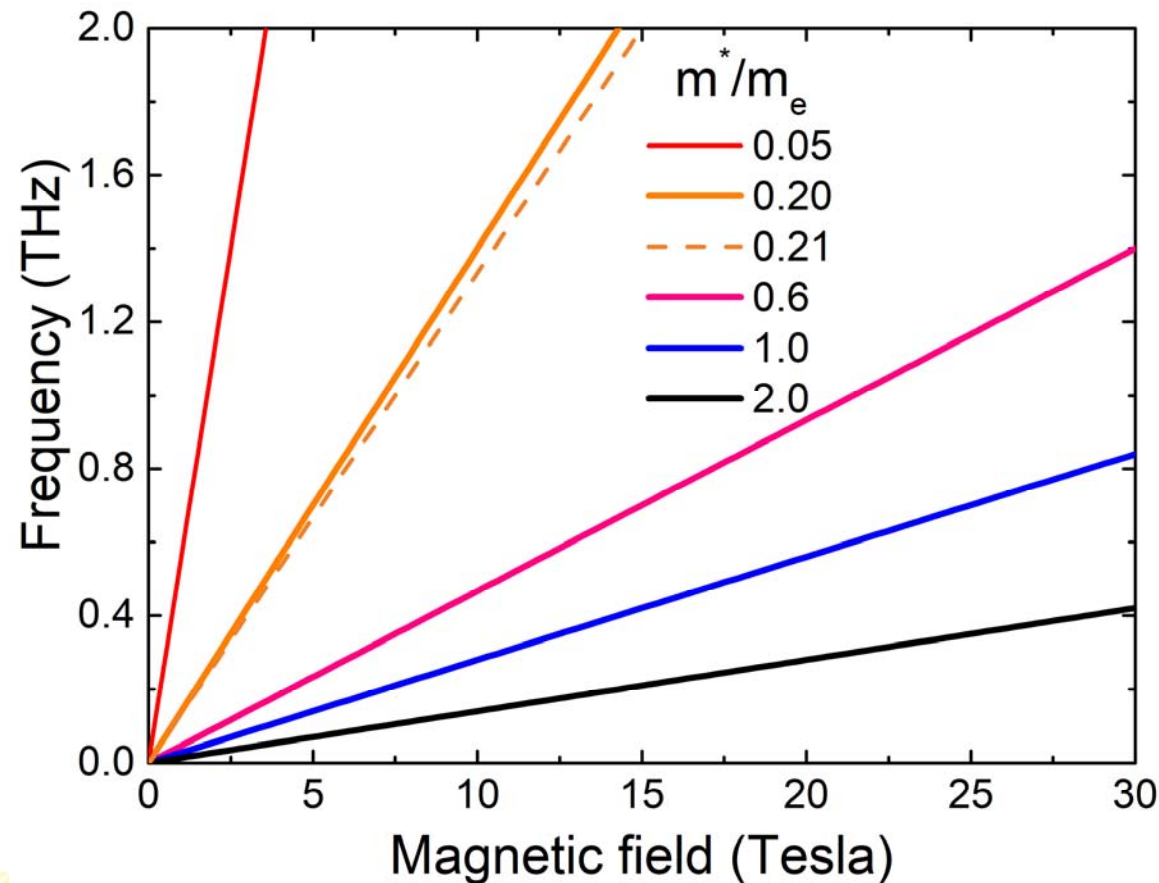


- Раннє життя було захищено протоокеаном від ультрафіолетових променів
- Фотосінтез еволюційно сформувався у видимій області спекту
- Еволюційне формування зору у видимій області.

Енергії магнітних збуджень

ω_c - Про які частоти та поля йде мова?

$$\omega_c = |e| B / m_c^*$$

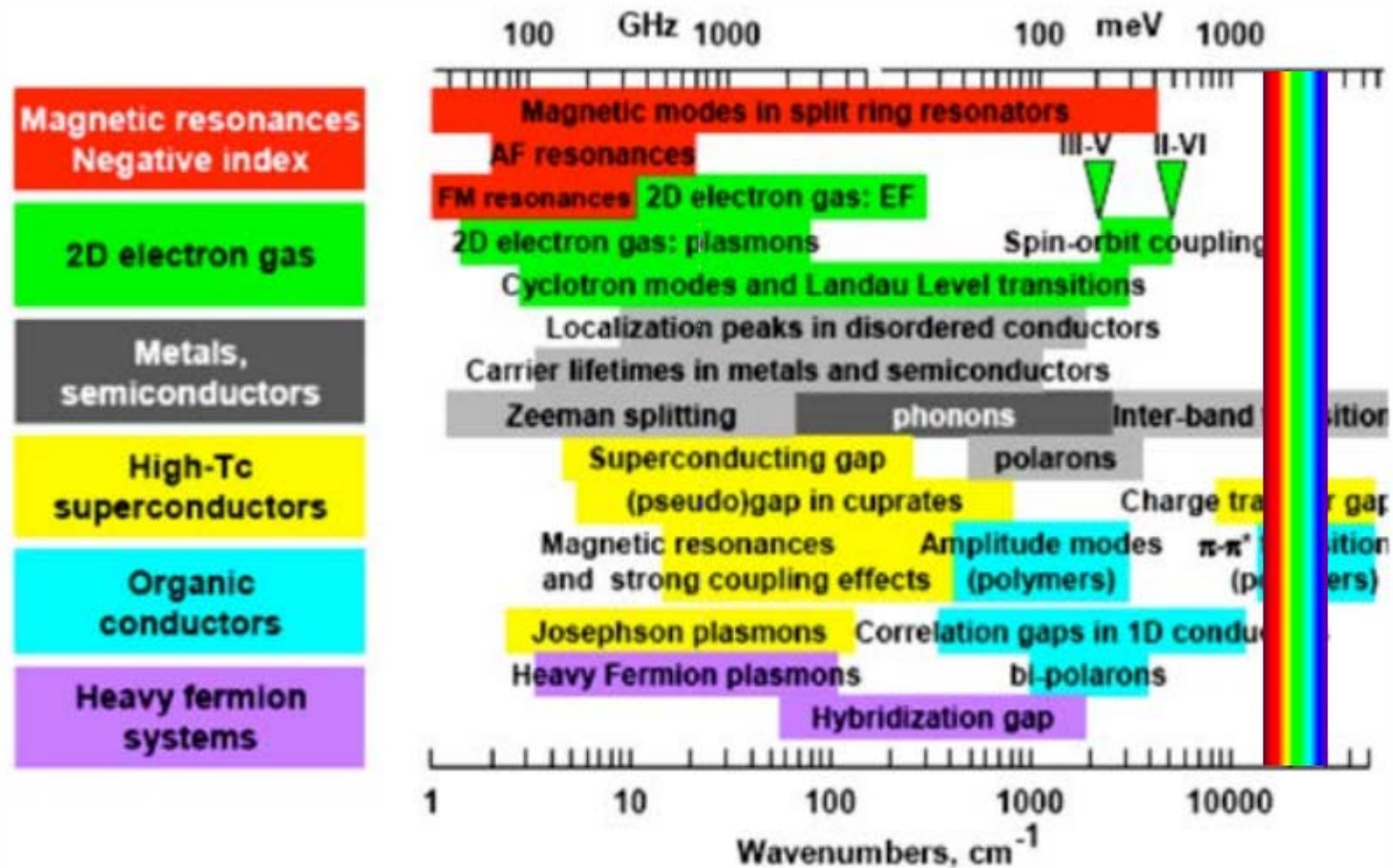


Crystal	Electron	Heavy Hole	Light Hole	Split-off Hole
InSb	0.015	0.39	0.021	0.11
InAs	0.026	0.41	0.025	0.08
InP	0.073	0.4	0.078	0.15
GaSb	0.047	0.3	0.06	0.14
GaAs	0.066	0.5	0.082	0.17
Cu ₂ O	0.99	-	0.58	0.69

$$\omega_c \tau > 1, \\ \tau \approx 10^{-12} \text{ s} \rightarrow \omega_c > 1 \text{ THz}$$

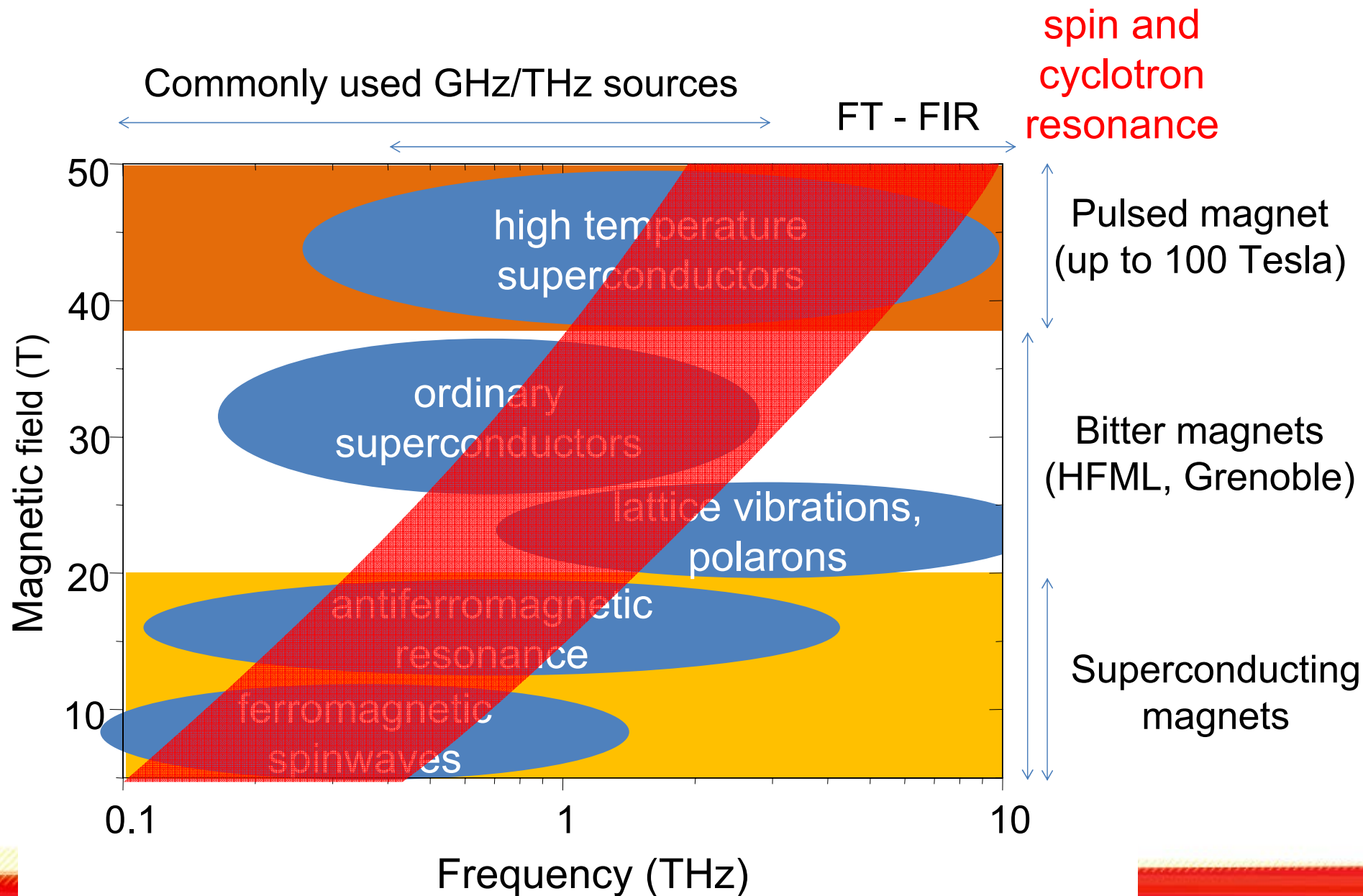


Вивчення структурних, електронних та магнітних збуджень



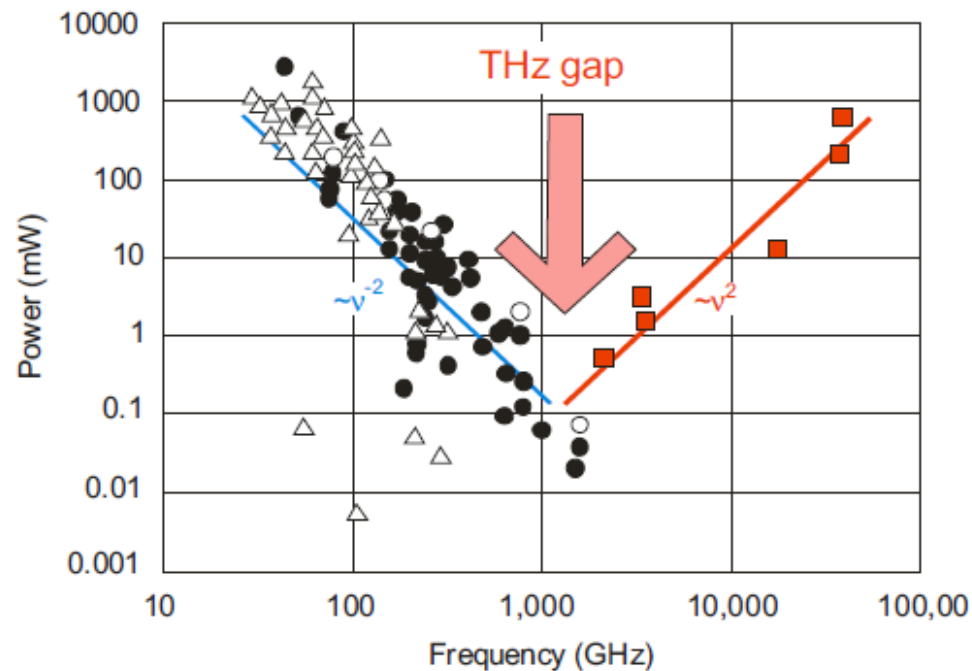
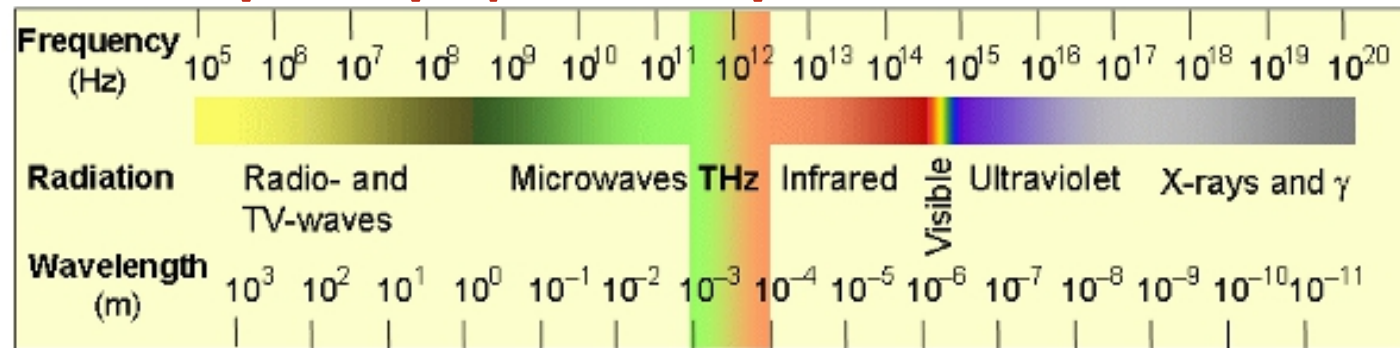
Basov *et al.*, Rev. Mod. Phys., **83**, 471 (2011)

THz-radiation and magnetic fields



Спектр електромагнітного випромінювання

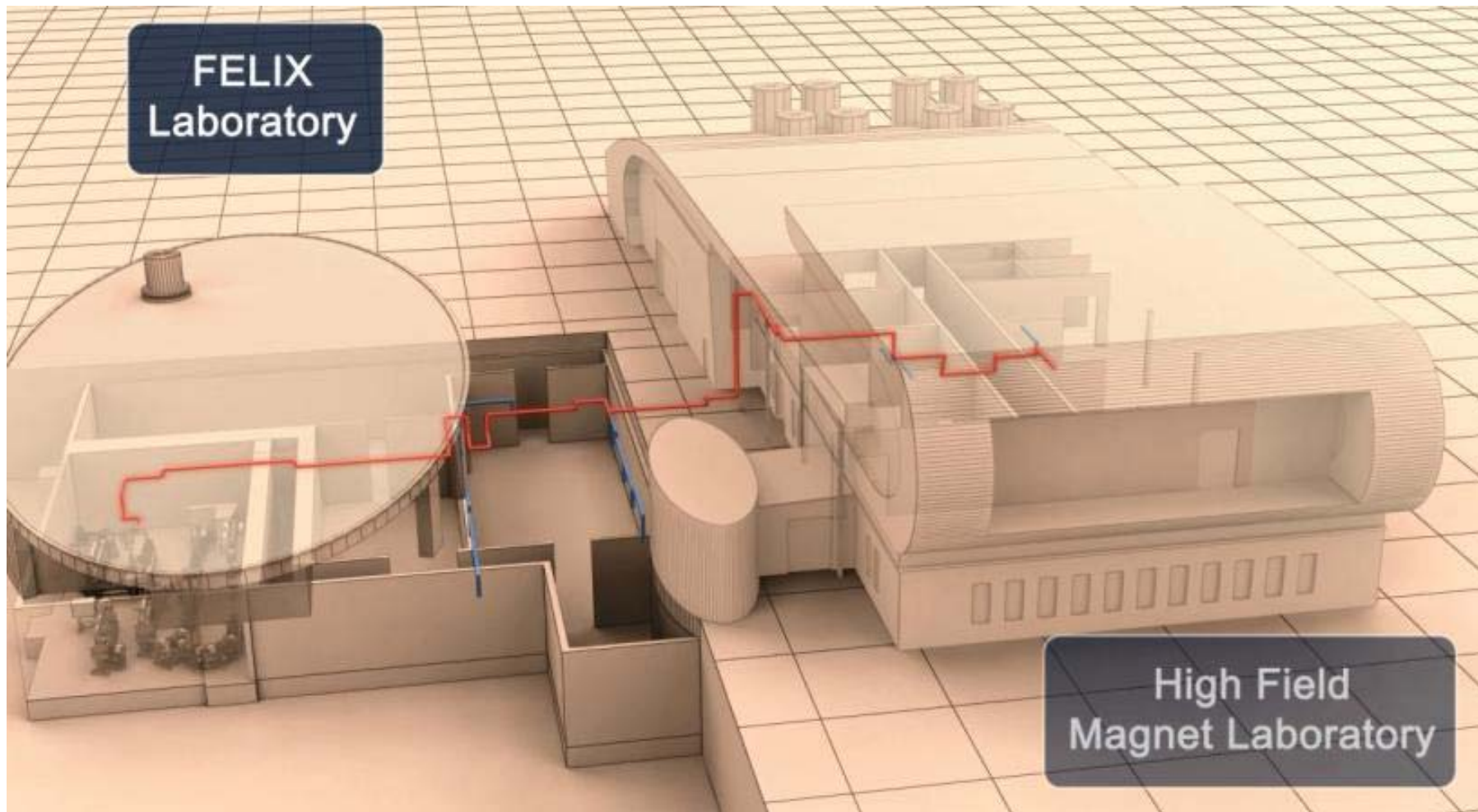
Терагерцовий провал



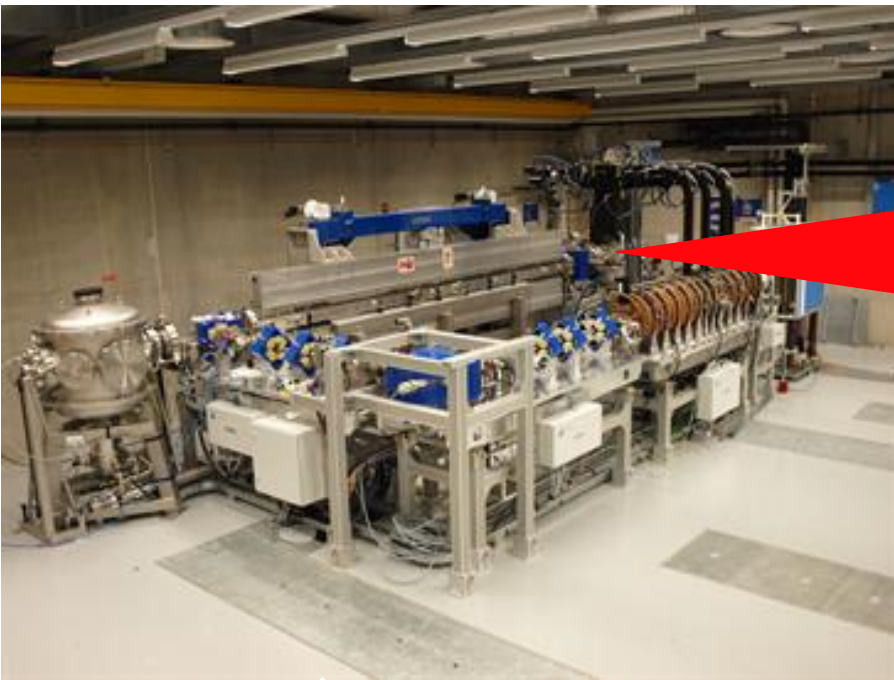
High Field Magnet Laboratory (HFML) Free electron laser facility (FELIX)



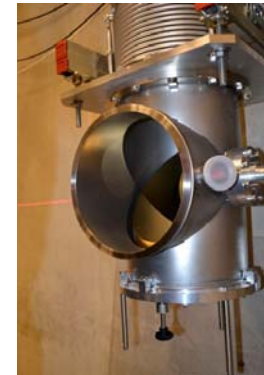
Оптичне поєднання FELIX та HFML



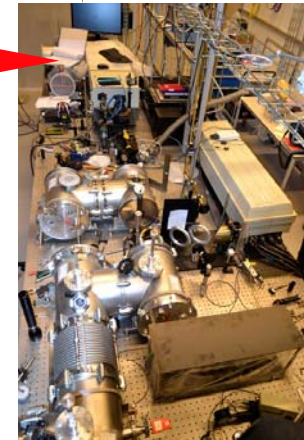
Від FELIX до HFML



30 m

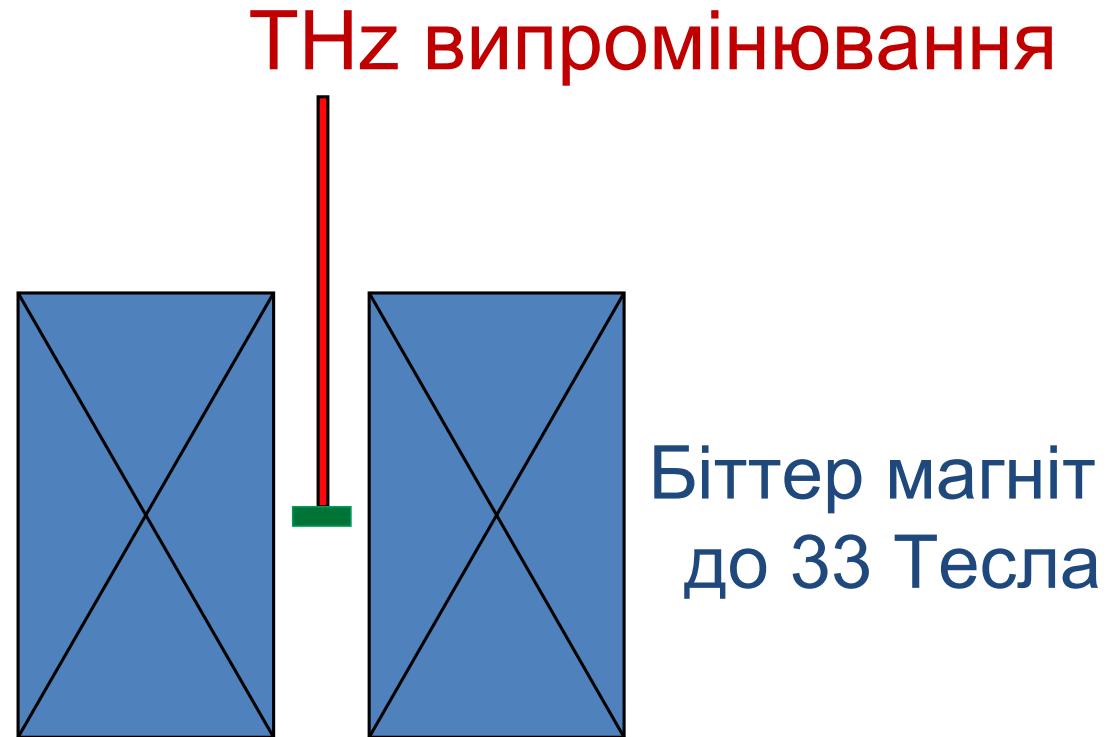


40 m quasi-optical beamline



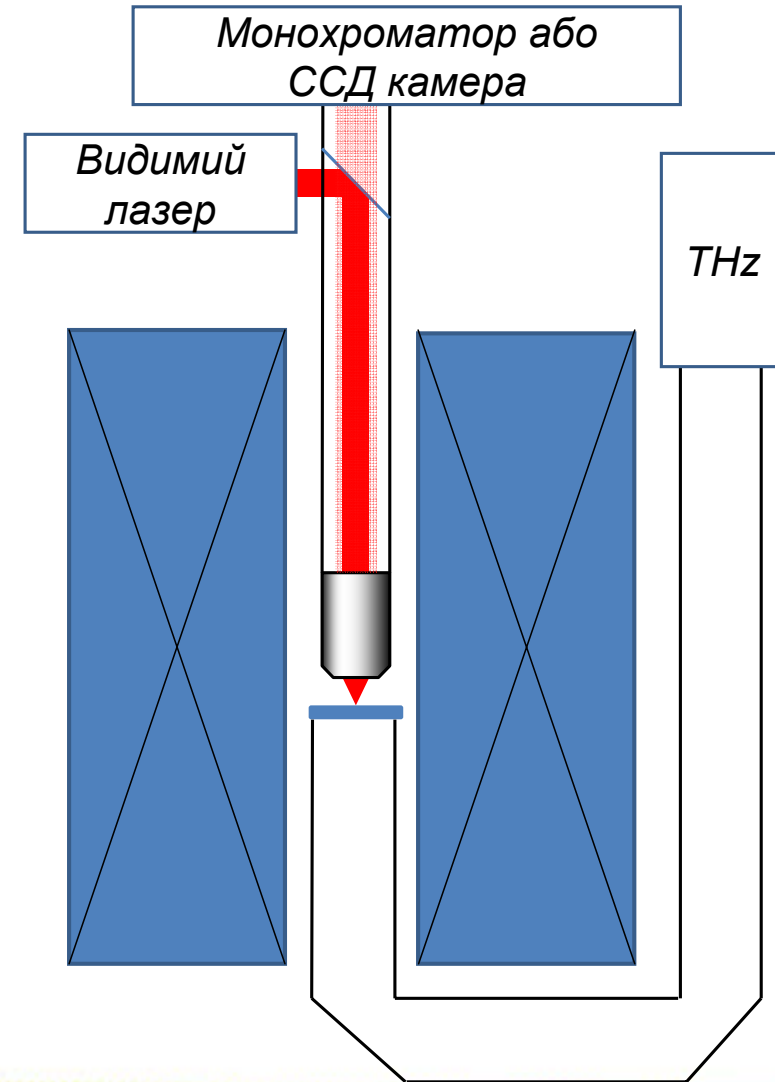
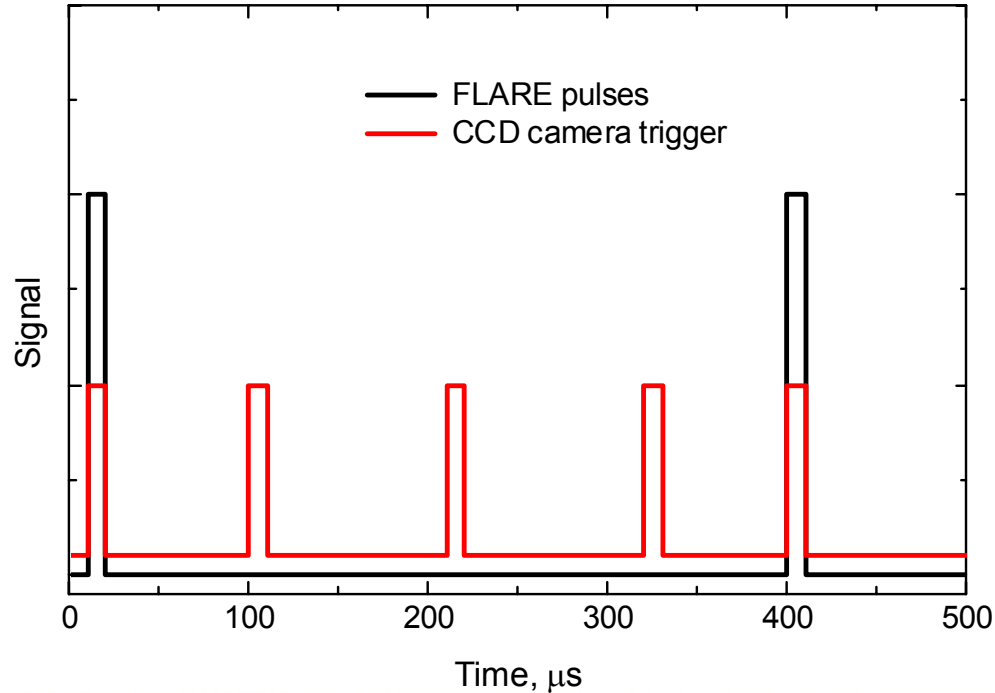
FELIX + HFML = унікальні можливості

- Проходження або відбиття
- Експерименти з накачкою (pump-probe)

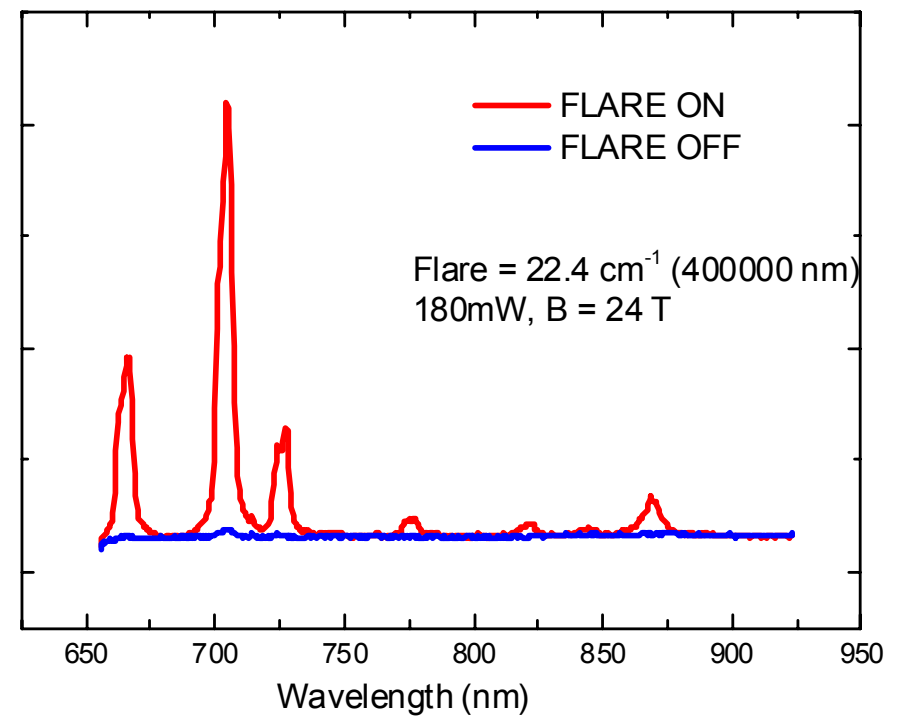
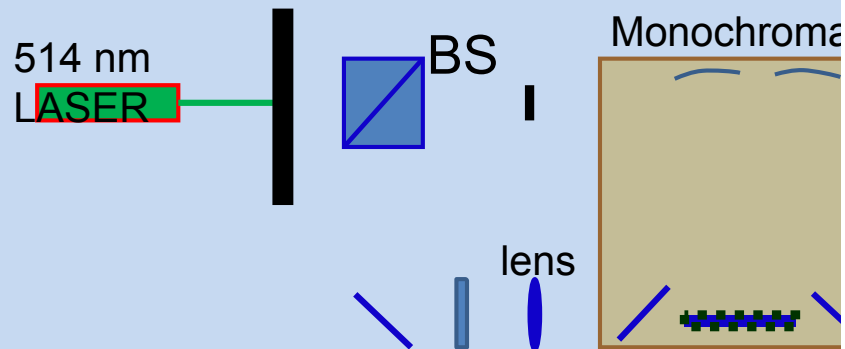
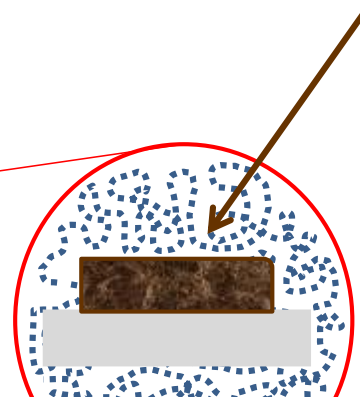
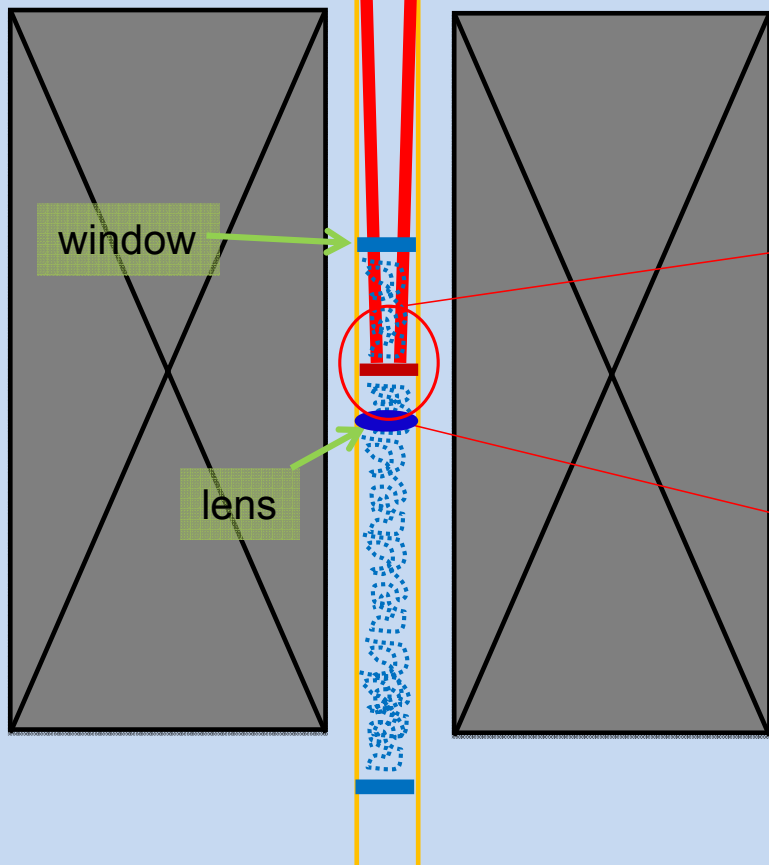


Pump - probe

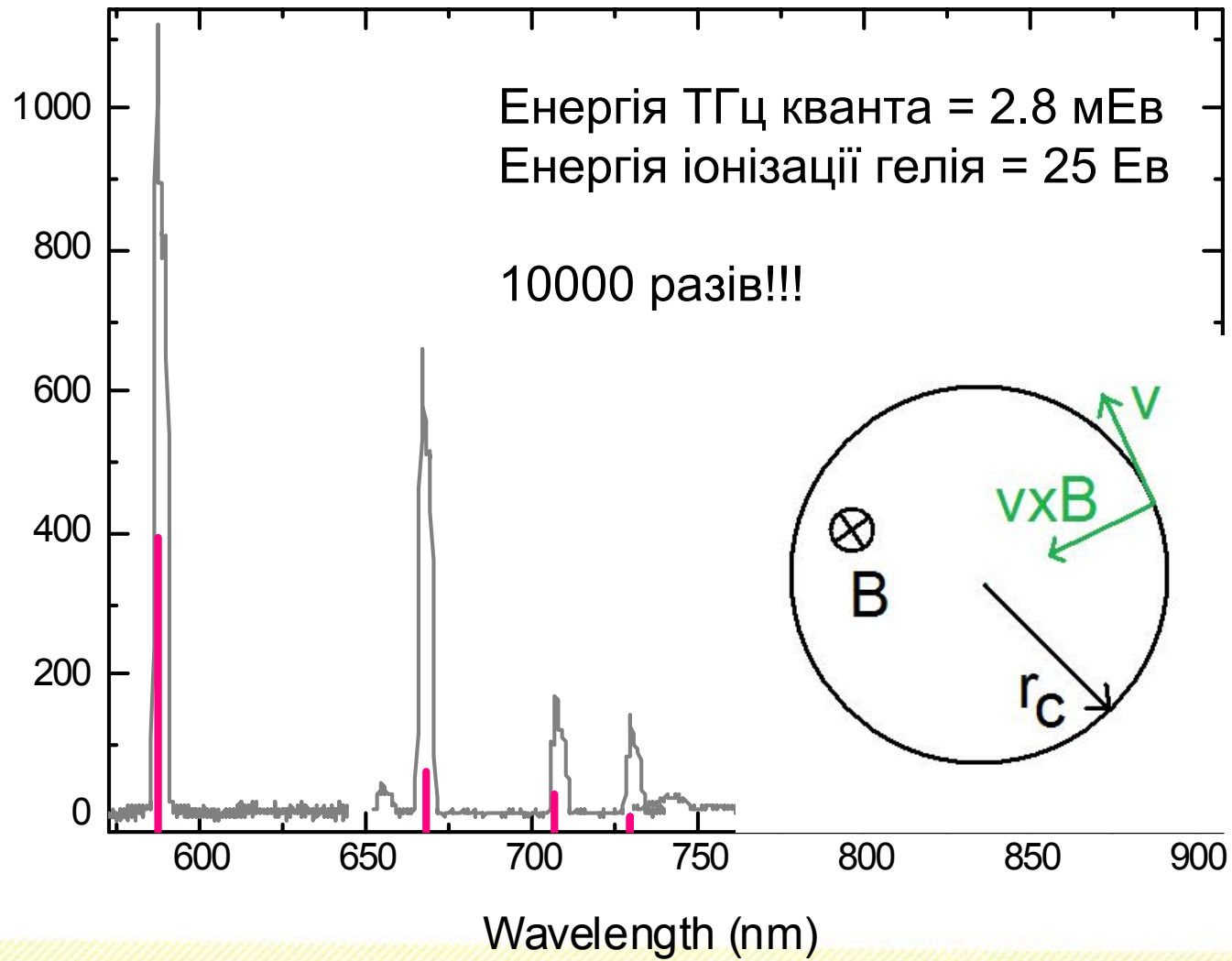
- Спектр фотолюмінесценції в магнітному полі та при опромінюванні ТГц частотами.



Експеримент з фотолюменісценції в речовині при ТГц випромінюванні



Спектр емісії гелія



Дякую Олександру Кордюку за запрошення

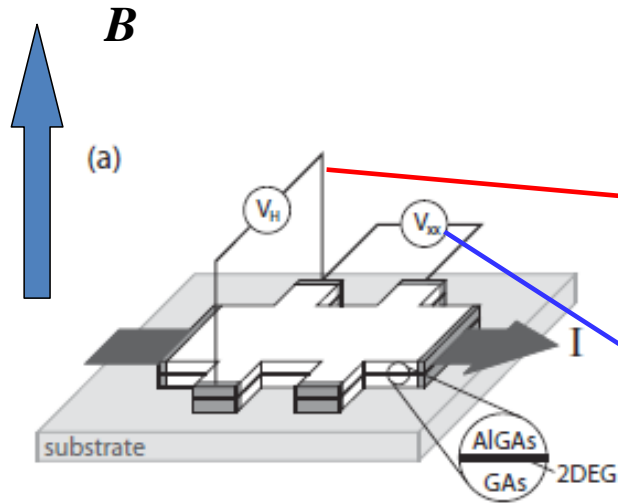
Бажаю успіху Академічному університету!



Дякую за увагу

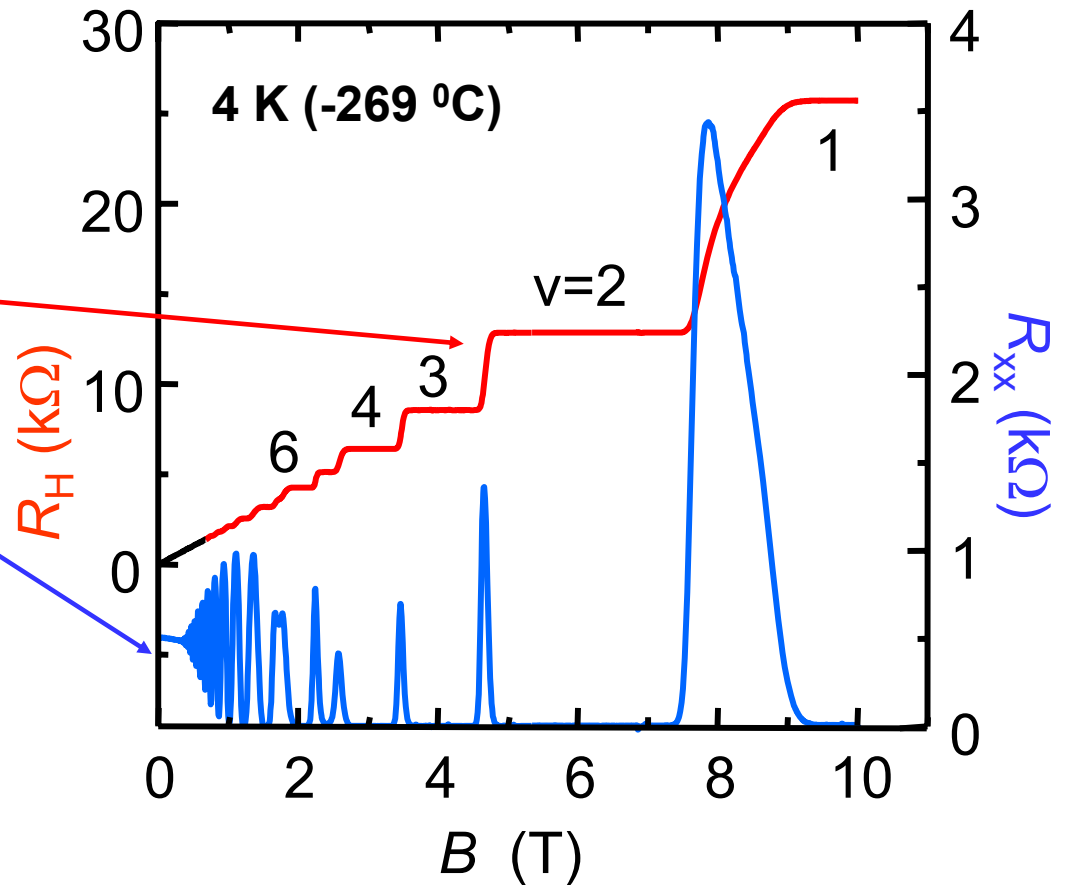


Quantum Hall Effect in a 2D system



quantized plateaus in the transverse voltage

$$R_H = \frac{1}{\nu} \frac{h}{e^2}$$



$\nu = 1, 2, 3, \dots$ integer filling factor,
 R_H in units of electrical quantum conductance e^2/h

K. von Klitzing – Nobel Prize in physics 1985

HFML film



Thank you for your attention!

For more information
www.ru.nl/hfml



