

Eksperymentalne odkrycie kwantowego efektu Halla (ang. Quantum Hall Effect - QHE), które występuje tylko w dwuwymiarowej gazie elektronowej (2DEG) - jest jednym z najbardziej ekscytujących odkryć fizyki materii skondensowanej XX wieku [1]. Wykazano, że zjawisko wykazuje bardzo wysoką precyzją niezależną od materiałów wyjściowych, w których 2DEG jest wbudowany. Dlatego, pomiary QHE są obecnie stosowane w różnych Państwowych Instytutach związanych z metrologią [2]. Jednakże jego zastosowanie w metrologii stawia duże wymagania dot. warunków eksperymentalnych: tzn. wymaga bardzo niskich temperatur ($T = 1,5$ K) i wysokich pól magnetycznych ($B > 5$ T). Pomimo długiego czasu od odkrycia QHE, nie udało się obniżyć tych wymagań eksperymentalnych. Zaledwie kilka lat temu zademonstrowano, że grafen może działać jako wzorzec oporności (z dokładnością kwantyzacji rzędu 10^{-9}), przy nieco mniejszych polach magnetycznych tzn. 3,5 T [3]. Jednakże, nie tylko grafen jest materiałem, w którym można uzyskać dużą przerwę pomiędzy poziomami Landaua oraz liniową strukturę pasmową. W szczególności, w studniach kwantowych HgTe można uzyskać strukturę posiadającą bezmasowe fermiony Diraca [4].

Żeby osiągnąć precyzyjnie QHE – potrzeba dużego rozczepienia Landaua uzyskanego w jak najmniejszym polu. Muszą być osiągnięte jednocześnie dwa warunki $\mu_B > 1$ oraz separacja Δ większa od $100 k_B T$. Wiadomo, że w przypadku bezmasowych fermionów Diraca położenie n -tego poziomu Landaua jest opisane przez zależność:

$$E_n = v_F \sqrt{2\hbar n e B},$$

gdzie B – pole magnetyczne w kierunku prostopadłym i v_F – prędkość Fermiego. Widać, że liniowa dyspersja energii w funkcji pędu z prędkością Fermiego v_F prowadzi do rozczepień stanów energetycznych w polu magnetycznym (rozczepień stanów Landaua), dlatego jest bardzo ważnym parametrem.

Niniejszy projekt jest projektem badań podstawowych, gdzie celem naukowym jest szczegółowe zbadanie struktury pasmowej oraz właściwości fizycznych w nowych dwuwymiarowych strukturach posiadających bezmasowe fermiony Diraca. Głównym celem tego projektu jest poszukiwanie struktur pasmowych z maksymalną prędkością Fermiego i badanie (oraz eksperymentalne poszukiwanie wysokiej) dokładności kwantyzacji oporu. Dzięki tym badaniom chcemy odpowiedzieć na podstawowe pytania naukowe: i) czy w materiałach HgCdTe można uzyskać wysoką dokładność kwantyzacji przy małym polu magnetycznym ($B < 1$ T); ii) jakie fizyczne zmiany w strukturze pasmowej powodują naprężenia.

Aktualność i nowatorstwo proponowanych badań wynika z niedawno rozwiniętej inżynierii materiałów grafenopodobnych. Jednakże, do tej pory nie były prowadzone badania dokładności kwantyzacji (oporu) w HgTe studniach kwantowych posiadających bezmasowe fermiony Diraca.

Oczekujemy, że projekt będzie miał bardzo duży **wpływ na rozwój dziedziny badań oraz dyscypliny naukowej**, ponieważ będzie odpowiadać na pytania: i) czy w materiałach opartych na HgTe studniach kwantowych (z liniową strukturą pasmową) można osiągnąć dokładność kwantyzacji rzędu 10^{-9} przy małych polach magnetycznych ($B < 1$ T); ii) w jaki sposób struktura pasmowa zmienia się od naprężeń.

Oczekujemy również istotnych rezultatów z punktu widzenia przyszłych zastosowań. Wierzymy, że nasze wyniki utworzą drogę dla standardów oporności opartych na studniach kwantowych HgTe/CdHgTe z strukturą typu grafen. W związku z tym badania naukowe proponowane w projekcie mogą mieć **istotny wpływ gospodarczy i społeczny**. Również, dane otrzymane w wyniku badań będą stanowiły podstawę do napisania rozprawy doktorskiej oraz zostaną zaprezentowane na konferencjach krajowych i międzynarodowych.

Wykonalność projektu jest zagwarantowana przez istotne wstępne badania autorów, które zostały uznane/opublikowane w międzynarodowych czasopiśmie. Dostęp do unikalnego zestawu próbek MBE HgCdTe oraz unikatowej aparatury są zapewnione w ramach Międzynarodowego Laboratorium LIA TERAMIR [5], wiążącego IWC PAN z wiodącymi laboratoriami z Montpellier, Grenoble i Nowosybirsk. Pozwala to na natychmiastowe rozpoczęcie proponowanego projektu, czekając na zakończenie produkcji nowych struktur.

[1] “Quantum Hall Effects”, Mark O. Goerbig, Laboratoire de Physique des Solides, CNRS UMR 8502 Université Paris-Sud, France (October 21, 2009)

[2] B. Jeckelmann and B. Jeanneret, *Rep. Prog. Phys.* **64**, 1603–1655 (2001)

[3] R. Ribeiro-Palau, et al, *Nature Nanotechnology* **10**, 965–971 (2015).

[4] 11. B. Büttner, C. X. Liu et al., *Nature Physics* **7**, 418–422 (2011).

[5] LIA TERAMIR agreement <http://www.terapole.univ-montp2.fr/LIA/>