

dr hab. Ryszard Buczko
Instytut Fizyki PAN
Warszawa

Warszawa, dn. 3 maja 2013 r.

Ocena autoreferatu, dorobku naukowego, organizacyjnego i dydaktycznego dr. Tomasza Marka Rusina w związku z przeprowadzonym postępowaniem habilitacyjnym.

W roku 1999 Dr. Rusin uzyskał tytuł Doktora w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie broniąc pracę zatytułowaną: „Stany wodoropodobne w heterostrukturach kwantowych z półprzewodników półmagnetycznych i ich wpływ na oddziaływania magnetyczne w tych strukturach”. Od piętnastu lat pracuje poza strukturami naukowymi. Pomimo to w wolnym czasie współpracuje naukowo wraz z prof. Włodzimierzem Zawadzkim. Badania te mają charakter teoretyczny i skupiają się głównie na możliwości występowania zjawiska Zitterbewegung (czyli szybkiego ruchu drżącego cząstki opisywanej równaniem relatywistycznym) w kryształach o wąskiej przerwie energetycznej, grafenie i nanorurkach węglowych, ale także w czasie ruchu cząstki o spinie zero opisywanej równaniem Klaina-Gordona. Dr. Rusin zajmuje się tą tematyką od 2007 roku. W swoim autoreferacie przedstawił do oceny osiem prac opublikowanych w czasopiśmie o międzynarodowym zasięgu. Współautorem wszystkich tych prac jest prof. Włodek Zawadzki. Są one kontynuacją poprzednich prac prof. Zawadzkiego, który w roku 2005 zwrócił uwagę na możliwość występowania tego zjawiska w półprzewodnikach z wąską przerwą a w roku 2006 w nanorurkach węglowych. Równolegle w 2005 roku Schliemann Loss i Westervelt przewidzieli Zitterbewegung dla elektronów w studniach kwantowych natomiast Jiang, Li, Shou-Cheng Zhang and Liu dla dziury w paśmie walencyjnym półprzewodników o strukturze blendy cynkowej. Od tego czasu powstało kilkadziesiąt prac na temat Zitterbewegung (ZB) elektronów i dziur w półprzewodnikach, grafenie, nanorurkach kwantowych, kwantowych heterostrukturach i na powierzchni topologicznych izolatorów; a także fotonów w supersieciach optycznych, fononów w kryształach sonicznych i jonów w specjalnie skonstruowanych pułapkach. Przewidywany ruch drżący wszystkich tych obiektów wynika z ich kwantowego opisu równaniami podobnymi do równania Diraca lub równaniami o podobnych własnościach. Inną istotną cechą wspólną badanych układów jest efekt skali. Przewidywana amplituda drgań jest rzędu wielkości większa od niezwykle małej (rzędu długości fali Comptona) amplitudy drgań elektronu Diraca. Pozwala to mieć nadzieję na uzyskanie mierzalnych efektów ZB w badanych układach. Jak dotąd jedynym potwierdzeniem doświadczalnym przewidywań była obserwacja ZB jonów w specjalnie skonstruowanej pułapce jonowej. Została ona opisana przez Geritsma i innych w 2010 roku w Nature.

Dr. Rusin jest głównym autorem większości przedstawionych prac. W pracy „Zitterbewegung of nearly-free and tightly-bound electrons in semiconductors” (J. Phys.: Condens. Matter 2007) autorzy analizują ruch drżący paczki falowej elektronu w półprzewodnikach opisanych przy pomocy modelu prawie swobodnych elektronów oraz przy pomocy metody ciasnego wiązania. Pokazują, że ZB występuje w obu wypadkach niezależnie od siły potencjału a jego częstość zależy od przerwy energetycznej.

W trzech pracach opublikowanych w Phys. Rev. B w latach 2007-2009 autorzy badają ZB elektronów i dziur w grafenie, dwuwarstwowym grafenie i w nanorurkach węglowych. Pokazują że oscylacje paczek falowych szybko zanikają w czasie. Związane jest to z tym, że badane gaussowskie paczki falowe składają się z dwóch pod-paczek pochodzących z dwóch różnych pasm energetycznych. Zanikanie drgań spowodowane jest oddalaniem się pod-paczek od siebie. Przewidywana szybkość zaniku oscylacji jest większa w grafenie niż w nanorurkach węglowych. Podobne badania przeprowadzone zostały dla grafenu w obecności pola magnetycznego. Autorzy pokazują, że w tym wypadku oscylacje ZB na przemian zanikają i pojawiają się znowu. Spowodowane jest to ruchem cyklotronowym dwóch paczek falowych i oczywiście silnie zależy od wielkości pola magnetycznego. Przewidują możliwość obserwacji przejść między-pasmowych potwierdzających występowanie oscylacji ZB. Badają też możliwość tworzenia paczek falowych elektronów w grafenie o cechach pozwalających na obserwacje ZB. Paczki takie mogłyby być tworzone w obecności pola magnetycznego przy pomocy bardzo krótkich impulsów laserowych. Badają ewolucję czasową takich paczek i sugerują możliwość obserwacji skutków oscylacji ZB w pomiarze emisji optycznej.

W pracy “Nature of electron Zitterbewegung in crystalline solids” opublikowanej w Physics Letters A (2009) autorzy dyskutują naturę ZB w ciałach stałych. Przeprowadzają obliczenia w modelu Kroniga-Penney’a oraz przybliżonego dwupasmowego modelu **kp**. Pokazują, że oba kwantowe opisy prowadzą do spójnych rezultatów, podobnych częstości i amplitud drgań. Hamiltonian w modelu **kp** jest podobny do Hamiltonianu Diraca. Jednocześnie opis w modelu Kroniga-Penney’a bezpośrednio uwzględnia periodyczność potencjału krystalicznego. Autorzy wyciągają stąd wniosek, że drgania ZB związane są z oscylacjami klasycznego elektronu poruszającego się w periodycznym potencjale. Moim zdaniem ta klasyczna analogia może prowadzić w błąd. Po pierwsze elektron w stanie własnym lub opisywany paczką falową zbudowaną ze stanów własnych pojedynczego pasma nie doświadcza ZB pomimo że oczywiście porusza się w periodycznym potencjale. Po drugie, jak autorzy sami wielokrotnie podkreślają w różnych pracach, ZB związane są z tym, że poddane ewolucji czasowej rozpatrywane przez nich stany kwantowe są superpozycją stanów z różnych pasm elektronowych. Ponieważ oba modele kwantowe opisują te same dwa pasma na różnym poziomie przybliżeń to wyniki obliczeń są spójne. Taka a nie inna dyspersja pasm jest oczywiście wynikiem istnienia periodycznego potencjału, jednak efekt drgań wynika

jedynie z superpozycji stanów, jest efektem ściśle kwantowym nie opisywanym przez model klasyczny. Elektron porusza się tak jak pod wpływem harmoniczej siły, jednak jest to raczej skutek niż przyczyna.

Dr. Rusin jest też współautorem dobrze napisanej pracy przeglądowej dotyczącej ZB w ciałach stałych gdzie podsumowuje wyniki swoich prac na tle innych prac z tej dziedziny („Zitterbewegung (trembling motion) of electrons in semiconductors: a review”, J. Phys.: Condens. Matter 2011). Praca spotkała się z dużym zainteresowaniem i jest przeglądem prac dotyczącym ZB w półprzewodnikach i innych układach periodycznych. W szczególności wyjaśniono znaczenie interferencji pomiędzy stanami pochodzącymi z dwu pasm energetycznych, przedstawiono najważniejsze wyniki dla grafenu i przedyskutowano możliwość obserwacji tego zjawiska. Poświęcono też dużo miejsca na omówienie ZB w innych układach w tym w pułapkach jonowych i super-sieciach optycznych.

W pracy opublikowanej w Phys. Rev. D w 2010 roku autorzy rozpatrują ruch elektronowej paczki falowej w polu magnetycznym w próżni. Pokazują, że składa się on z nieskończonej liczby oscylacji o częstościach cyklotronowych oraz nieskończonej liczby oscylacji o częstościach między-pasmowych, interpretowanych jako ZB. Podobnie jak pokazali to już dla ZB elektronu w grafenie, uzyskują powtarzające się cyklicznie zamierające w czasie i pojawiające się znowu oscylacje ZB. Obliczają amplitudę oscylacji i pokazują, że dla małych pól jest ona dużo mniejsza niż orbity cyklotronowe. Opisują też sposób na symulację ruchu elektronu w polu magnetycznym przy użyciu jonów w pułapkach magnetycznych.

W pracy opublikowanej w Phys. Rev A w 2012 roku autorzy przedstawiają wyniki swoich badań dla ZB cząstki o spinie zero opisywanej relatywistycznym równaniem Kleina-Gordona. Pokazują, że także w tym przypadku drganie jest wynikiem interferencji dwóch pod-paczek o dodatnich i ujemnych energiach z których składa się rozpatrywana przez nich paczka gaussowska. Gdy pod-paczki rozchodzą się ZB zanika. Podobnie jak to miało miejsce w wypadku drgań elektronu Diraca dla słabych pól magnetycznych amplituda ZB jest zaniedbywalna. Jednak w obecności odpowiednio silnych pól autorzy dostają ZB o składowych porównywalnych do składowych cyklotronowych. Autorzy do swoich obliczeniach używają operatora prędkości o wartościach własnych, które mogą przekroczyć prędkość światła i wprowadzają ad hoc ograniczenie na pęd cząstki. Problemy z odpowiednim zdefiniowanym operatorem prędkości, który w granicy klasycznej dawałby poprawne relatywistyczne zachowanie w funkcji pędu, znane są od dawna. W celu ich rozwiązania proponuje się zazwyczaj używanie jedynie operatorów parzystych, nie mieszających cząstek z antycząstkami. Wtedy jednak (podobnie jak ma to też miejsce w przypadku równania Diraca) dobrze zdefiniowane cząstki nie wykazują ZB a ich położenie nie może być określone z dokładnością większą niż długość fali Comptona. Autorzy wspominają o takim i podobnych podejściach do rozwiązania tego problemu, jednak nie używają ich w swoich obliczeniach. Pozostawia to pewną niepewność co do

właściwej interpretacji uzyskanych wyników. Tego typu problemów nie ma natomiast w ciałach stałych opisanych przy pomocy efektywnych równań o strukturze relatywistycznej. Tutaj wydaje się oczywiste używanie operatorów prędkości wynikających w sposób kanoniczny z postaci Hamiltonianu.

Poza przedstawionymi pracami, na dorobek naukowy autora po doktoracie składa się jeszcze 5 prac. Cztery z tych prac tematycznie jest blisko związanych z tematyką autoreferatu. Przedstawione prace zawierają wiele ciekawych i nowych wyników dotyczących zwłaszcza realizacji ZB w konkretnych materiałach. Szacunek budzi również próba poszerzenia teoretycznej wiedzy o tym zjawisku dla elektronu i cząstki bez-spinowej w próżni. Wiele z przedstawionych prac, zwłaszcza te dotyczące ZB w grafenie, cytowanych jest po kilkadziesiąt razy. Pomimo moich zastrzeżeń dotyczących niektórych interpretacji wyników oceniam, że dorobek dr. Rusina jest wystarczająco bogaty i spełnia wymagania stawiane przed kandydatem na doktora habilitowanego. Jednak dr. Rusin od piętnastu lat pracuje zawodowo poza nauką. W związku z tym nie spełnia żadnych, poza dorobkiem naukowym, pozostałych kryteriów oceny kandydata wymienionych w rozporządzeniu ministra nauki i szkolnictwa wyższego. Nie poprowadził działalności dydaktycznej, popularyzatorskiej ani organizatorskiej w nauce. Nie uczestniczył w organizacji międzynarodowych ani krajowych konferencji. Nie realizował żadnego projektu badawczego. Jego udział w tego typu działalności sprowadza się do sporadycznego recenzowania prac dla Physical Review i pojedynczych recenzji dla EPL, EPJ-B i Phys. Lett. A. Dr. Rusin nie pracował też naukowo z młodszymi kolegami, studentami bądź doktorantami. Brak tego typu doświadczeń rodzi pytanie o jego kwalifikacje do kierowania grupą naukową i prowadzenia doktoratów do czego upoważnia stopień doktora habilitowanego.

Pomimo wysokiej oceny dorobku dr. Rusina, prace w których uczestniczył nie są, moim zdaniem, na tyle przełomowe aby osiągnięcia w tej dziedzinie mogły zrównoważyć braki w innych obszarach działalności naukowej. W związku z tym uważam, że Rada Naukowa nie powinna nadawać mu stopnia doktora habilitowanego.



Ryszard Buczko