DZIEKANAT WYDZIAŁU FIZYKI
WPŁYNĘŁO
2013 -12- 09
L. dz. ....

Prof. dr hab. Romuald A. Janik
Zakład Teorii Układów Złożonych
Instytut Fizyki
Uniwersytet Jagielloński
ul. Reymonta 4
30-059 Kraków
e-mail:janik@th.if.uj.edu.pl

4.12.2013

Ocena osiągnięć naukowych dr. Piotra Sułkowskiego w związku z postępowaniem habilitacyjnym

Niniejszą ocenę osiągnięć naukowych dr. Piotra Sułkowskiego rozpocznę krótkim wprowadzeniem do tematyki badawczej, następnie omówię wyniki otrzymane w rozprawie habilitacyjnej oraz inne osiągnięcia naukowe. Recenzję zakończę podsumowaniem.

Charakterystyka tematyki badawczej

Teoria strun jest na ogół badana bądź jako teoria fundamentalna obejmująca zarówno grawitację jak i inne oddziaływania, dostarczająca rozmaitych scenariuszy fizyki poza modelem standardowym, bądź jako dualny opis silnie oddziałujących teorii cechowania poprzez tzw. korespondencje AdS/CFT. Trzeci nurt badawczy koncentruje się na matematycznych aspektach teorii strun i ich implikacji zarówno dla czysto matematycznych konstrukcji jak i dla otrzymania dokładnych rezultatów w różnych kwantowych teoriach pola powiązanych w rozmaity sposób z teorią strun. Ten nurt badań dostarczył już w przeszłości niezwykle interesujących rezultatów takich jak enumeracja krzywych na rozmaitościach Calabi-Yau, który to wynik wychodził zdecydowanie poza to co można było osiągnąć klasycznymi metodami geometrii algebraicznej. Innym, bardziej fizycznym przykładem była konstrukcja Dijkgrafa-Vafy wiążąca superpotencjały w supersymetrycznych teoriach cechowania z N=1 supersymetrią z pewnymi wielkościami w modelach macierzy przypadkowych. Od tego czasu obydwa te fakty zostały udowodnione odpowiednio w ramach geometrii algebraicznej i samej teorii cechowania. Rola teorii strun polegała na zasugerowaniu samej tezy – zupełnie nieoczekiwanej i zaskakującej w kontekście odpowiednio geometrii algebraicznej bądź samej supersymetrycznej teorii cechowania. Z powyższych powodów, ta tematyka badawcza jest według mnie niezwykle interesująca i ważna.
Badania przeprowadzone przez dr. Piotra Sułkowskiego wpisują się właśnie w ten nurt badawczy, przy czym nie ograniczają się tylko do samej teorii strun ale obejmują również rozważania w ramach odpowiednich kwantowych teorii pola.

Wyniki otrzymane w ramach rozprawy habilitacyjnej

Na merytoryczną część rozprawy habilitacyjnej zatytułowanej *Kwantyzacja i deformacje powierzchni Riemanna w kwantowych teoriach pola i teorii strun* składa się 14 opublikowanych prac wraz z 25-stronicowym omówieniem. Zbiór wyników jest bardzo obszerny i różnorodny, dlatego w niniejszej recenzji skoncentruje się na omówieniu wybranych rezultatów. Odwołania typu **[H1]** odnoszą się do prac habilitanta wymienionych na str. 3-4 autoreferatu. Dla wygody czytelnika, w przypadku pojedynczych odwołań podaję dane bibliograficzne.

Głównym wątkiem łączącym prace wchodzące w skład rozprawy jest pojęcie krzywej algebraicznej (równoważnie powierzchni Riemanna), które w taki czy inny sposób zakodowuje różne obserwable w supersymetrycznych teoriach pola (gdzie klasycznym przykładem są krzywe Seiberga-Wittena dla supersymetrycznych teorii cechowania z N=2 supersymetria), w modelach macierzy przypadkowych czy w teoriach topologicznych strun. Odpowiednie obserwable mają dobrze określony swój `kwantowy' odpowiednik. Zasadniczym koncepcyjnie wynikiem rozprawy było zdefiniowanie kwantowego odpowiednika krzywej algebraicznej – tzw. kwantowej powierzchni Riemanna, która w pewien standardowy sposób zakodowuje odpowiednią pełną `kwantową' obserwable (**[H4]** S. Gukov, P. Sułkowski, *A-polynomial, B-model and Quantization*, **JHEP 1202 (2012) 070**). Ważnym faktem jest obserwacja, że ta jednolita konstrukcja działa w wielu pozornie niezwiązanych z sobą kontekstach fizycznych. Drugim intrygującym faktem jest całkiem nietrywialny warunek na klasyczną krzywą algebraiczną konieczny dla istnienia jej kwantyzacji. Warunek ten okazuje się być spełniony przez powierzchnie Riemanna pochodzące z różnych fizycznych teorii.

Zasadnicza idea tej konstrukcji polega na wykorzystaniu konstrukcji kwantowych obserwabli za pomocą topologicznej rekurencji Eynard'a i Orantin'a zaproponowanej oryginalnie dla macierzy przypadkowych bazującej na specyficznych klasycznych krzywych algebraicznych, a następnie wyekstrahowanie stąd odpowiedniej kwantowej krzywej algebraicznej (będącej w istocie operatorem różniczkowym anihilującym tę kwantową obserwablę).

Konstrukcje za pomocą modeli macierzy przypadkowych, dostarczające kluczowej intuicji dla powyższej definicji kwantowej powierzchni Riemanna, stanowią również istotną cechę wspólną wielu pozornie niezwiązanych z sobą teorii. W kilku pracach wchodzących w skład obecnej rozprawy habilitacyjnej, dr Piotr Sułkowski konstruuje bądź identyfikuje nowe modele macierzy przypadkowych powiązane z rozmaitymi teoriami/zjawiskami np. w supersymetrycznych teoriach cechowania tzw. N=2* (**[H11]** P. Sułkowski, *Matrix models for 2* theories*, **Phys. Rev. D80 (2009) 086006**), w zdeformowanych teoriach N=2 (**[H9]** P. Sułkowski, *Matrix models for beta-ensembles from Nekrasov partition functions*, **JHEP 1004 (2010) 063**), w 5-wymiarowej teorii Seiberga-Wittena, w teorii topologicznych strun, oraz w kontekście zliczania stanów BPS D-bran na rozmaitości Calabi-Yau (**[H8]** H. Ooguri, P. Sułkowski, M. Yamazaki, *Wall Crossing As Seen by Matrix Models*, **Commun. Math. Phys. 307 (2011) 429**). Te dwa ostatnie wyniki okazują się być dodatkowo ściśle powiązane – funkcja rozdziału zliczająca stany BPS na jednej rozmaitości Calabi-Yau okazuje się być równa funkcji rozdziału topologicznych strun na innej rozmaitości Calabi-Yau. Zliczanie stanów BPS jest jednocześnie ściśle powiązane z tzw. zjawiskiem `wall-crossing'. Liczba stanów BPS jest stała ze względu na zmianę parametrów teorii w obszarach otwartych tych parametrów, natomiast może zmienić się skokowo przy przejściu od jednego obszaru otwartego do drugiego. Zmiana ta nie może być jednak dowolna, istnieje bardzo wyrafinowane matematycznie sformułowanie warunku na tę zmianę przez Kontsevicha i Soibelmana. Praca (**[H5]** P. Sułkowski, *BPS states, crystals and matrices*, **Adv. High Energy Physics (2011) 357016**) podsumowuje wyniki uzyskane z tej tematyki.

Wobec powyższego bardzo istotnego znaczenia modeli macierzy przypadkowych w tak wielu rozpatrywanych kontekstach, istotne staje się zrozumienie źródeł ich występowania. Dr Piotr Sułkowski wskazuje na sformułowanie za pomocą swobodnych fermionów (które są blisko związane z modelami macierzy przypadkowych) pojawiających się również w wielu powyższych sytuacjach (prace **[H5,H6,H7,H8,H10,H13,H14]**). Jednym z istotnych rezultatów osiągniętych przez dr. Piotra Sułkowskiego była właśnie konstrukcja `wall-crossing' za pomocą swobodnych fermionów (**[H10]** P. Sułkowski, *Wall-crossing, free fermions and crystal melting*, **Commun. Math. Phys. 301 (2011)**

517) stanowiąca właśnie bazę dla konstrukcji modeli macierzy przypadkowych w pracach **[H5,H6,H7,H8]**. Bardzo interesująca jest strunowa interpretacja pojawiania się swobodnych fermionów jako bezmasowych modów strun otwartych pomiędzy układem przecinających się D4 i D6-bran (**[H14]** R. Dijkgraaf, L. Hollands, P. Sułkowski, C. Vafa, *Supersymmetric Gauge Theories, Intersecting Branes and Free Fermions*, **JHEP 0802 (2008) 106**). Okazuje się, że jest to ściśle powiązane z krzywą algebraiczną teorii Seiberga-Wittena i funkcją rozdziału Nekrasova.

Kolejnym bardzo istotnym wynikiem dr. Piotra Sułkowskiego jest skonstruowanie nowych niezmienników węzłów tzw. `superwielomianów A', powiązanych z trójwymiarowymi teoriami pola **[H1,H2,H3]**. Warto nadmienić, że powyższe superwielomiany A występują zarówno w postaci klasycznej, jak i kwantowej – w sensie kwantowej krzywej algebraicznej zdefiniowanej w ramach obecnej rozprawy habilitacyjnej. Dostarczają one nowej bogatej struktury w teorii węzłów.

Powyższe liczne wyniki są bardzo ciekawe i intrygujące. Są one dalece nietrywialne i zaawansowane pojęciowo i technicznie. Zawartość merytoryczną przedłożonej rozprawy habilitacyjnej oceniam bardzo wysoko.

Inne osiągnięcia

Poza pracami wchodzącymi w skład rozprawy habilitacyjnej, dr Piotr Sułkowski zajmował się również pewnymi własnościami niezmienników Gromova-Wittena torycznych rozmaitości Calabi-Yau, konstrukcją nowego modelu macierzy przypadkowych powiązanego m. innymi z geometrią przestrzeni moduli powierzchni Riemanna. Należy jeszcze wspomnieć serię prac dotyczącą biofizyki a w szczególności powiązaniu teorii węzłów z zagadnieniami topologii białek. Dr Piotr Sułkowski jest współautorem dwóch artykułów opublikowanych w *Phys. Rev. Lett.* z tej tematyki (oraz 4 innych publikacji).

Dr Piotr Sułkowski otrzymał prestiżowe granty m.innymi Marie Curie Research Grant (International Outgoing Fellowship) do California Institute of Technology i Uniwersytetu w Amsterdamie, stypendium Humboldta (Uniwersytet w Bonn). Otrzymał również stypendium Fullbright'a (niezrealizowane z powodu realizacji grantu Marie Curie) oraz prestiżowe nagrody i stypendia Fundacji Nauki Polskiej. W 2013 roku dr Piotr Sułkowski otrzymał niezwykle prestiżowy ERC Starting Grant *Quantum fields and knot homologie.*

Podsumowanie

Dr Piotr Sułkowski ma już bardzo bogaty dorobek naukowy. Zostało to uhonorowane prestiżowym grantem European Research Council. Osiągnięcia stanowiące podstawę rozprawy habilitacyjnej są na bardzo wysokim poziomie. Prezentują spójny program badawczy dotyczący bardzo zaawansowanych zagadnień. Dorobek i osiągnięcia dr. Piotra Sułkowskiego zdecydowanie przewyższają wymagania dotyczące habilitacji. Jest to najlepsza rozprawa habilitacyjna jaką miałem okazję recenzować. W związku z tym, zdecydowanie popieram nadanie dr. Piotrowi Sułkowskiemu stopnia doktora habilitowanego.

Z poważaniem

Romuald Janik

Prof. dr hab. Romuald A. Janik