

December 14th, 2017

**Report on abstract of the dissertation by Roman G.  
Bystryi entitled  
*Dynamics of Electrons in Nonideal Cluster Nano-plasma***

The dissertation by R.G. Bystryi is concerned with the theory of electron processes in nano-plasmas found in nano-size clusters generated by irradiation by strong laser pulses or particle beams. Currently, nano-plasma is extensively investigated experimentally due to newly developed experimental facilities. In search of possible applications such as charged particle and x-ray sources, the required theoretical description is quite challenging. The development of an analytical description of fast electronic processes in such media meets many problems which could be clarified using computer simulations. The dissertation contains valuable results contributing to this challenging field of research. Some of them are outlined below.

1. The spectrum of electron oscillations in ionized nano-size sodium clusters are calculated depending on the cluster size and plasma density. Using GPU computing, the maximum number of ions in a cluster is extended up to  $10^5$  compared to  $10^3$  in previous works. As a result, the frequencies of Langmuir-like and Mie-like oscillation modes are observed to approach their theoretical values for the bulk plasma with increasing cluster size.

## INSTITUT FÜR PHYSIK

2. It is found that the Langmuir-like oscillations appear only in larger clusters. They are less dependent on the clusters size than the Mie-like oscillations. The latter are always redshifted and decay with increasing cluster size.

3. A system of equations is derived for modeling the electron emission current from a nano-plasma. A heat-flow equation emerges as a consequence. It is shown that thermionic emission of electrons leads to nano-plasma cooling. The results are checked against molecular dynamics simulation results.

The results of his work are published in highly rated scientific journals and proceedings of international conferences. From my point of view, the dissertation by Roman G. Bystryi is of very high scientific standard. I strongly recommend to award the PhD degree.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'H. R. K. S.', with a long horizontal flourish extending to the right.

Университет г. Росток  
Факультет математических и естественных наук  
Институт физики  
Адрес: 18051 г. Росток  
ул. Альберта Эйнштейна, 23-24  
Телефон: +49 381 498-6750  
Факс: +49 381 498-6752  
E-mail: heidi.reinholz@uni-rostock.de  
Веб-сайт: www.physik.uni-rostock.de

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Быстрого Романа Григорьевича  
«Динамика электронов в неидеальной кластерной наноплазме»,

Диссертация Быстрого Р.Г. посвящена теории электронных процессов в наноплазме, полученной при облучении наноразмерных кластеров сильными лазерными импульсами или потоками частиц. В настоящее время наноплазма интенсивно исследуется в связи с появлением новых экспериментальных установок. Для поиска возможных приложений, таких как генерация заряженных частиц и рентгеновского излучения, востребованным является теоретическое описание процессов в такой плазме. Построение аналитической модели быстрых процессов в электронной подсистеме наталкивается на ряд проблем, которые могут быть разрешены с помощью компьютерного моделирования. Диссертация содержит важные результаты, дающие вклад в решение указанных проблем. Некоторые из этих результатов перечислены ниже:

1. Рассчитаны спектры колебаний электронов в наноразмерных ионизированных кластерах натрия в зависимости от размера кластера и плотности плазмы. С помощью вычислений на графических ускорителях максимальное количество ионов в кластере было увеличено до  $10^5$  по сравнению с  $10^3$  в предыдущих работах. Это позволило наблюдать сходимость Ленгмюровского и Ми-подобного колебательного режима к их теоретическим значениям с ростом размера кластера.
2. Было обнаружено, что Ленгмюровские колебания появляются только в больших кластерах, и они в меньшей степени зависят от размера кластеров, чем Ми-подобные колебания, которые оказываются сдвинутыми в красную область спектра.

3. Выведено выражение для тока электронной эмиссии из наноплазмы. Из этого результата вытекает уравнение теплового потока. Показано, что термоэлектронная эмиссия приводит к охлаждению наноплазмы. Результаты теоретической модели сравниваются с результатами молекулярно-динамического моделирования.

Результаты работы опубликованы во многих научных высокорейтинговых журналах и трудах международных конференций. На мой взгляд, диссертация Быстрого Р.Г. соответствует высокому научному уровню. Я безусловно рекомендую присвоить ее автору степень кандидата физико-математических наук.

Хаиди Рейнхольц