

Заключение диссертационного совета МГУ.01.03
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

Решение диссертационного совета от «18» октября 2019 г. № 7

О присуждении Косьянчуку Василию Викторовичу (гражданство РФ) ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Диссертация «Многомасштабное моделирование течений газа в разделительных устройствах и мембранах» по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы» принята к защите диссертационным советом МГУ.01.03, 17 мая 2019 г., протокол № 7-П.

Соискатель, Косьянчук Василий Викторович 1991 года рождения, в 2014 году окончил механико-математический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, кафедру волновой и газовой динамики. В 2018 году соискатель окончил очную аспирантуру отделения механики механико-математического факультета МГУ и в настоящее время работает в должности младшего научного сотрудника лаборатории наномеханики НИИ механики МГУ.

Диссертация выполнена на кафедре газовой и волновой динамики механико-математического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Научным руководителем являлся Ковалев Валерий Леонидович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной механики и прикладной математики механико-математического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. После кончины В.Л. Ковалева 04.10.2015 г. научное руководство диссертационной работой полностью перешло к Якунчикову Артему Николаевичу – кандидату физико-математических наук, доценту кафедры инженерной механики и прикладной математики механико-математического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и старшему научному сотруднику лаборатории наномеханики Научно-исследовательского института механики МГУ имени М.В. Ломоносова.

Официальные оппоненты:

Колесников Анатолий Федорович, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией взаимодействия плазмы и излучения с материалами Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН;

Ковалев Олег Борисович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией физики плазменно-дуговых и лазерных процессов Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН;

Титарев Владимир Александрович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник сектора кинетической теории газов Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 23 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации 17 работ, из них 11 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы»:

1. Косьянчук В. В., Якунчиков А. Н. Свободномолекулярное течение газа в канале с изгибающейся границей // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. – 2018. – № 3. – С. 87–97. **DOI: 10.7868/S056852811803009X IF: 0.96**
2. Kosyanchuk V. V., Yakunchikov A. N. Simulation of gas separation effect in microchannel with moving walls // Microfluidics and Nanofluidics. – 2018. – Т. 22 – № 60. **DOI: 10.1007/s10404-018-2079-8 IF: 2.87**
3. Kosyanchuk V., Yakunchikov A. Numerical study of rarefied gas flows in microchannels with oscillating elements // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — Vol. 387. — IOP Publishing Ltd, 2018. — P. 012042. **DOI: 10.1088/1757-899X/387/1/012042 SJR: 0.19**
4. Kosyanchuk V., Kovalev V., Yakunchikov A. Multiscale modeling of a gas separation device based on effect of thermal transpiration in the membrane // Separation and Purification Technology. – 2017. – Т. 180. – С. 58–68. **DOI: 10.1016/j.seppur.2017.02.0388 IF: 4.20**
5. Kosyanchuk V., Yakunchikov A., Bryukhanov I., Konakov S. Numerical simulation of novel gas separation effect in microchannel with a series of oscillating barriers // Microfluidics and Nanofluidics. – 2017. – Т. 21 – № 7. **DOI: 10.1007/s10404-017-1947-y IF: 2.87**

6. Yakunchikov A., Kovalev V., Kosyanchuk V. Free-molecular gas flow through the high-frequency oscillating membrane // *Journal of Physics: Conference Series*. — Vol. 681 of Conference Series. —2016. **DOI: 10.1088/1742-6596/681/1/012034 SJR: 0.22**
7. Yakunchikov A., Kovalev V., Kosyanchuk V. Free-molecular gas flow through the oscillating membrane // *Microfluidics and Nanofluidics*. – 2015. – Т. 18 – № 6. – С. 1039–1043. **DOI: 10.1007/s10404-014-1493-9 IF: 2.87**
8. Kovalev V., Yakunchikov A., Kosiantchouk V. Study of gas separation by the means of high-frequency membrane oscillations // *Acta Astronautica*. – 2015. – Т. 116. – С. 282–285. **DOI: 10.1016/j.actaastro.2015.07.021 IF: 2.27**
9. Ковалев В. Л., Косьянчук В. В., Якунчиков А. Н. О разделении газовых смесей при свободномолекулярном течении через колеблющуюся мембрану // *Вестник Московского университета. Серия 1: Математика. Механика*. – 2015. – № 5. – С. 62–65. **DOI: 10.3103/S0027133015050040 IF: 0.09**
10. Yakunchikov A., Kovalev V., Kosyanchuk V. Free-molecular gas flow through the high-frequency oscillating membrane // *AIP Conference Proceedings*. — Vol. 1628. — AIP Publishing, 2014. — P. 836–840. **DOI: 10.1063/1.4902680 SJR: 0.18**
11. Ковалев В. Л., Косьянчук В. В., Якунчиков А. Н. Свободномолекулярное течение газа через колеблющуюся мембрану // *Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа*. – 2014. – № 4. – С. 119–124. **DOI: 10.1134/S0015462814040127 IF: 0.96**

На автореферат поступило 2 дополнительных отзыва, оба отзыва положительные. Имеются отдельные замечания.

Выбор официальных оппонентов обосновывался тем, что они являются известными специалистами в области газовой динамики, динамики разреженного газа и численных методов, являются авторами многих научных публикаций по тематике, близкой к тематике диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований был обнаружен ряд новых эффектов, реализующихся при течении газа в свободномолекулярном и переходном режимах под действием механических колебаний, движения и изменения формы границы, а также перепадов давления и температуры. В диссертации проведено исследование свободномолекулярного течения газа в микроканалах с подвижными и изменяющими форму границами и изучено влияние такого

движения на величину потока газа. Изучены случаи течений сквозь единичную пору колеблющейся с высокой частотой мембраны, через микроканал с рядом осциллирующих затворов, а также в канале со стенками, вынужденно изгибающимися по волновому закону. Показано, что величина потока газа через канал зависит от соотношения характерных скоростей движения границы и характерной тепловой скорости молекул. Эта зависимость становится существенной, когда указанные скорости становятся близкими по порядку величины. Показано, как указанный эффект может быть использован для разделения газов, имеющих заметно различающиеся молекулярные массы. Проведено параметрическое исследование и найдены параметры для условий наиболее эффективного разделения. Автором разработан многомасштабный численный метод, объединяющий решение уравнений Навье-Стокса для бинарной смеси, адаптированное для малых чисел Маха, с решением уравнения Мак-Кормака для моделирования течения смеси газов в микроканалах. С помощью данного метода проведено моделирование работы прототипа газоразделительного устройства на основе неизотермической мембраны, соединяющей два канала с континуальным режимом течения. Показано, что данное устройство теоретически позволяет получать газ любой чистоты даже при очень небольших перепадах температуры на сторонах мембраны (15–30 К). Изучено влияние параметров работы устройства на эффективность газоразделения.

Подготовка публикаций, содержащих полученные результаты, проводилась совместно с соавторами, причем во всех публикациях вклад диссертанта был определяющим. Текст диссертации и иллюстрационный материал подготовлены автором диссертации лично.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. При свободномолекулярном течении газа в канале с системой

перегородок, движущихся по волновому закону, поток массы зависит от отношения волновой скорости и характерной тепловой скорости молекул. Эта зависимость проявляется заметнее всего в областях, где отношение указанных скоростей близко к единице. Данный эффект может быть использован для разделения газовых смесей с различной молекулярной массой компонент. Эффект разделения наблюдается уже при частотах механических колебаний перегородок порядка 10 кГц, которые достижимы при современном уровне техники.

2. При свободномолекулярном течении газа в канале с границами, вынужденно изгибающимися по волновому закону, поток массы зависит от отношения волновой скорости движения границы и характерной тепловой скорости молекул. Данный эффект может быть использован для разделения газов с различной молекулярной массой. Значения волновой скорости колебаний границы, необходимые для наличия эффекта разделения близки к скоростям распространения поперечных волн в металлах, что позволяет реализовать обнаруженный эффект на практике.

3. Устройство на основе неизотермической мембраны, соединяющей два канала с континуальным режимом течения, позволяет получать концентрацию легкой компоненты в бинарной смеси, близкую к 100%, даже при небольших перепадах температуры на сторонах мембраны (15–30К). Наибольшая эффективность разделения достигается при числах Кнудсена в порах мембраны порядка 0.2–0.5, а также при числах Пекле в макроканалах порядка 10. Эффективность разделения не зависит от числа Маха в макроканалах, линейно зависит от перепада температур на сторонах мембраны и растет с увеличением отношения молекулярных масс компонент. Эффективность устройства линейно возрастает с увеличением длины мембраны.

На заседании 18 октября 2019 диссертационный совет принял решение присудить Косьянчуку Василию Викторовичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – “Механика жидкости, газа и плазмы”.

При проведении тайного голосования диссертационный совет МГУ.01.03 в количестве 25 человек, из них 17 докторов наук по специальности 01.02.05 – “Механика жидкости, газа и плазмы”, участвовавших в заседании, из 28 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 25, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета МГУ.01.03

доктор физико-математических наук, профессор

В.П. Карликов

Ученый секретарь диссертационного совета МГУ.01.03

кандидат физико-математических наук

Д.А.Пелевина

Подписи удостоверяю:

И.о. декана механико-математического факультета

МГУ имени М.В. Ломоносова,

Доктор физико-математических наук, профессор

В.Н. Чубариков

18 октября 2019 г.

Печать структурного подразделения МГУ