

Министерство  
образования  
и науки  
Российской  
Федерации

Федеральное  
государственное  
автономное  
образовательное  
учреждение  
высшего  
образования  
Московский  
физико-  
технический  
институт  
(государственный  
университет)



60

60-я  
НАУЧНАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ  
МФТИ

Москва,  
Долгопрудный,  
Жуковский  
2017

# ТРУДЫ 60-Й ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ МФТИ

20-26 ноября  
2017 года

Аэрокосмические  
технологии

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования «Московский физико-технический институт  
(государственный университет)»

Труды  
60-й Всероссийской научной  
конференции МФТИ

20 - 26 ноября 2017 года

Аэрокосмические технологии

Москва Долгопрудный Жуковский  
МФТИ  
2017

УДК 629.7  
ББК 39.5  
Т78

**Т78 Труды 60-й Всероссийской научной конференции МФТИ.**  
20–26 ноября 2017 г. Аэрокосмические технологии. -  
М.: МФТИ, 2017. - 372 с.  
ISBN 978-5-7417-0646-6

В сборник трудов включены результаты оригинальных исследований студентов, аспирантов, преподавателей и научных сотрудников Физтех-школы аэрокосмических технологий МФТИ и дружественных учебных и научных организаций, представленные в виде докладов на 60-й Всероссийской научной конференции МФТИ.

В сборнике представлены статьи по аэрокосмической тематике Физтех-школы аэрокосмических технологий: аэрофизика и прочность космических и летательных аппаратов, физика полёта, физические процессы в ракетных двигателях, космическая энергетика, наблюдение Земли из космоса, теоретические и прикладные вопросы аэрогидромеханики, механики сплошных сред и механики твёрдого тела, управление разнообразными механическими системами, включая космические. Также включены работы по физике геосистем и физике моря, имеющие как теоретический, так и прикладной характер.

Значительная часть материалов отражает инновационный образовательный процесс и содержит результаты, полученные студентами при выполнении дипломных работ на степень бакалавра и магистра.

**УДК 629.7**  
**ББК 39.5**

**ISBN 978-5-7417-0646-6**

© Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(государственный университет)», 2017

## Механические самоустанавливающиеся замки для сборки и раскрытия составных твердотельных космических зеркал

*В.И. Буякас*

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

Во многих физических и технологических задачах необходимо добиться того, чтобы без дополнительного регулирования сложная механическая система после разборки и повторной сборки возвращалась в исходное состояние с высокой степенью точности в силу своих конструктивных свойств. Подобные задачи, в частности, постоянно возникают при разработке составных зеркал для космических телескопов. Однако аналогичные задачи возникают и в оптике при сборке и регулировании различных систем на оптической скамье, где они рассматривались еще Максвеллом и Кельвином. В их классических работах были предложены приспособления, обеспечивающие высокую точность и высокую повторяемость установки оптических элементов – линз, зеркал, призм, фотопластинок – на оптической скамье. Позднее этот метод объединения элементов конструкции получил в англоязычной литературе название *kinematic couplings*. Приспособления модернизировались, дорабатывались и использовались для решения различных научных и прикладных задач. Последние десятилетия эти устройства нашли применение в нанотехнологиях. Здесь при высококачественном изготовлении элементов приспособления удается обеспечить микронный и субмикронный уровень точности и повторяемости сборки элементов конструкции,

В настоящей работе рассматривается возможность создания на основе идеи, положенной в основу таких устройств, механических самоустанавливающихся замков для сборки и автоматического раскрытия твердотельных составных зеркал космических телескопов. Приводятся результаты кинематического анализа и физического моделирования предлагаемых устройств.

## Бифуркационный анализ динамики двух вихрей в бозе-эйнштейновском конденсате

*С.В. Соколов<sup>1,2</sup>, П.Е. Рябов<sup>1,3</sup>*

<sup>1</sup>Институт машиноведения им. А. А. Благонравова

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

<sup>3</sup>Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации

В докладе особое внимание сконцентрировано на актуальной задаче анализа динамики двух вихревых нитей в бозе-эйнштейновском конденсате, заключенном в ловушке (см., например, работу [1] и литературу, указанную в ней). Вихри и вихревые решетки в бозе-эйнштейновском конденсате, например, на ультра-холодных атомах описаны в обзорах [2–4]. Активно изучаются, как с теоретической [5], так и с экспериментальной [6] точки зрения уединенные вихри и система из двух вихрей. Чаще всего вихри в конденсате могут быть описаны как решения уравнения Гросса–Питаевского – трехмерного уравнения в частных производных. При этом наиболее явно может быть определена структура потока сверхтекучей жидкости (конденсата) в окрестности вихревой нити. Существенным недостатком этого подхода является отсутствие аналитических решений уравнения Гросса–Питаевского с необходимыми граничными условиями и, как следствие, мы можем исследовать динамику конденсата в целом и вихрей в частности только с помощью численного решения уравнения в частных производных.

Во многих интересных случаях вихревые нити прямолинейны и параллельны друг другу. При этом задача становится существенно двумерной. В этой ситуации в качестве

альтернативного подхода можно описывать динамику вихрей в конденсате с помощью системы обыкновенных дифференциальных уравнений относительно координат вихревых нитей.

Этот подход хорошо известен в классической гидродинамике [7], где исследуется задача динамики вихревых нитей в идеальной жидкости. Начиная с работ Кирхгофа [8], Гельмгольца [9] и др. были известны простейшие свойства движения вихревых нитей, вихревых пар и полигональных конфигураций вихрей в безграничной идеальной жидкости. Гринхилл [10] впервые рассмотрел движение точечных вихрей внутри круга. Современные работы продолжают исследования классических задач, обобщая их на случай твердых тел, взаимодействующих с вихрями (см., например, [11, 12] и др.). В такой постановке возникают интегрируемые гамильтоновы системы или более общие хаотические динамические системы, при исследовании которых применимы хорошо развитые топологические и качественные методы анализа [13–17].

В докладе представлена задача о движении двух прямолинейных вихревых нитей в бозе-эйнштейновском конденсате, заключенном в цилиндрической ловушке. Нити параллельны образующей кругового цилиндра, поэтому очевидно, что задача двумерна. Основной целью доклада является анализ фазовой топологии этой задачи.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 16-01-00170, 16-01-00809, 17-01-00846.

### Литература

1. Torres P. J., Kevrekidis P.G., Frantzeskakis D. J., Carretero-Gonzalez R., Schmelcher P., Hall D. S., Dynamics of vortex dipoles in confined Bose–Einstein condensates // *Phys. Lett.* 2011. A, 375 3044–3050.
2. Pitaevskii L., Stringari S., Bose-Einstein Condensation, Oxf. Univ. Press, NY, 2003.
3. Fetter A. L., Svidzinsky A.A., Vortices in a trapped dilute Bose-Einstein condensate, *J. Phys.: Condens. Matter* 2001. V 13, N 12. P. R135-R194.
4. Fetter A. L., Rotating trapped Bose-Einstein condensates // *Rev. Mod. Phys.* 2009 81 647.
5. Middelkamp S., Kevrekidis P.G., Frantzeskakis D. J., Carretero-Gonzalez R., Schmelcher P., Bifurcations, stability, and dynamics of multiple matter-wave vortex states, *Phys. Rev.* 2010. A 82 013646.
6. Freillich D.V., Bianchi D.M., Kaufman A.M., Langin T.K., Hall D. S., Real-time dynamics of single vortex lines and vortex dipoles in a Bose-Einstein condensate, *Science* 329 (2010) 011603.
7. Борисов А.В., Мамаев И.С. Математические методы динамики вихревых структур. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005. 368 с.
8. Kirchhoff G.R. Vorlesungen über Mathematische Physik, Teubner, Leipzig. 1876, v. I.
9. Helmholtz H. Über Integrale hydrodinamischen Gleichungen weiche den Wirbelbewegungen entsprechen // *J. rein. angew. Math.* 1858, v. 55, s. 25–55., см. также русский перевод: Г. Гельмгольц. Основы вихревой теории. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002.
10. Greenhill A.G. Plane vortex motion. *Quart // J. Pure Appl. Math.* 1877/78, v. 15, n. 58, p. 10–27.
11. Borisov A.V., Mamaev I. S. An integrability of the problem on motion of cylinder and vortex in the ideal fluid // *Regular and Chaotic Dynamics*, vol 8, issue 2, 2003, pp. 163–166.
12. Sokolov S.V., Ramodanov S.M. Falling motion of a circular cylinder interacting dynamically with a point vortex // *Regular and Chaotic Dynamics*, vol 18, issue 1–2, 2013, pp. 184–193.
13. Болсинов А. В., Фоменко А.Т., Интегрируемые гамильтоновы системы. Геометрия, топология, классификация. В 2-х т. Изд.: Ижевск, Удмуртский университет 1999.
14. Болсинов А. В., Борисов А. В., Мамаев И.С. Топология и устойчивость интегрируемых систем, *УМН*, 65 2(392), (2010) 71–132.
15. Харламов М.П. Топологический анализ интегрируемых задач динамики твердого тела. Ленинград: Изд. ЛГУ, 1988.
16. Borisov A.V., Mamaev I. S., Topological Analysis of an Integrable System Related to the Rolling of a Ball on a Sphere // *Regular and Chaotic Dynamics*, vol. 18, issue 4, (2013) pp. 356–371.
17. Борисов А. В., Рябов П.Е., Соколов С. В., Бифуркационный анализ задачи о движении цилиндра и точечного вихря в идеальной жидкости // *Матем. Заметки*. 2016. Vol. 99, issue 6, pp. 848–854.