

УДК 681.784.88, 535.36

**ТЕРАГЕРЦОВЫЕ СПЕКТРЫ ОТРАЖЕНИЯ КОЖИ С ДЕРМАТИТАМИ
И МОРФОЛОГИЧЕСКИМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ****О.А. Смолянская, А.А. Езерская, И.В. Прожеев, Е.А. Стрепитов**

Проведены работы по поиску возможности диагностики дерматитов и морфологических изменений кожи человека с помощью излучения терагерцовой области частот (0,05–2,0 ТГц). Особенности различных типов заболеваний кожи человека *in vivo* проявляются во всем исследуемом диапазоне частот, особенно в колебательной области (1,5–2,0 ТГц). Обусловлены они обратным рассеянием на новообразованиях кожи в ее верхних слоях. В терагерцовых спектрах отражения хорошо различимы спектральные линии различных дерматитов, пигментных пятен, гематом. Терагерцовое излучение хорошо проникает через перевязочные средства. При этом за одно сканирование, длящееся около одной минуты, обрабатываются спектры не только перевязочного материала, но и различных слоев кожи.

Ключевые слова: терагерцовая диагностика, дерматиты, морфологические изменения кожи.

Введение

В настоящее время дерматологи, онкологи и пластические хирурги осуществляют диагностику кожных заболеваний человека различными методами и приборами в зависимости от тяжести заболевания. К ним относятся дерматоскоп [1, 2], анализ крови (аллергены, антитела, антигены) [3], анализ соскоба (полимеразная цепная реакция, микроскопия), цитология [4], гистология (биопсия) [5], микробиология (посев на флору с определением чувствительности к антибиотикам и противогрибковым препаратам) [4], люминесцентная лампа Вуда [6]. Это относительно простые способы диагностики. В более тяжелых случаях, когда, например, требуется распознать опухоль кожи, применяют более сложную и дорогостоящую аппаратуру [7]. Это оптическая когерентная томография [8], ультразвуковая и магнитно-резонансная томография [9]. Однако современные диагностические методы не могут определить, является ли определенное пятно опухолью, и, если да, то доброкачественная она или злокачественная. Они имеют ограниченные возможности оценки начального размера повреждения кожи и диагностики процесса заживления. Приборы опасны, так как подвергают человека воздействию вредного для здоровья ионизирующего излучения. Они имеют большое число ограничений в использовании, а также высокую стоимость. Некоторые ограничения связаны со сложностью передачи излучения через перевязочные средства и воспаленные участки кожи человека.

Разрабатываемые в настоящее время технологии, использующие терагерцовое (ТГц) излучение в биомедицинской томографии и спектроскопии, выгодно отличаются от современных методов исследования. Основное преимущество ТГц диагностики патологий по сравнению с существующими методами диагностики – это возможность за одно сканирование осуществить обработку спектральных характеристик биоткани, т.е. распознать патологию и одновременно осуществить визуализацию ее внутренней структуры, т.е. рассчитать площадь патологии.

В настоящей работе исследовалась возможность бесконтактной диагностики кожи человека, пораженной дерматитами и морфологическими изменениями, неионизирующим ТГц излучением диапазона 0,05–2,0 ТГц. При этом оценивалась возможность осуществлять диагностику через перевязочные средства. Появление в ТГц спектре дерматита отражения, отличного от спектра нормальной кожи, по нашим оценкам, свидетельствует о наличии воспалительного процесса. Происходит обратное рассеяние ТГц сигнала от гематомы – скопления крови при повреждениях тканей. Характерные размеры гематомы сопоставимы с частотой ТГц сигнала.

Материалы и методы

ТГц рефлектометрический спектрометр. Исследование спектров отражения кожи в диапазоне 0,05–2,0 ТГц проводилось с помощью ТГц рефлектометрического спектрометра. Фотография общей схемы установки представлена на рис. 1. Описание работы спектрометра для диагностики заболеваний кожи человека приведено в работе [10]. Отношение сигнал/шум не хуже 600, средняя мощность не менее 30 мкВт, спектральный диапазон 0,02–2,0 ТГц, пространственное разрешение 300 мкм, длительность импульса 3 пс, спектральное разрешение рефлектометрического спектрометра составляет 5 ГГц, погрешность определения – 2,5%. В основе работы устройства лежит принцип записи распределения электрической компоненты поля до и после отражения от кожи. Восстановление спектра ТГц излучения реализуется с помощью вычисления интеграла Фурье по записанным данным.

Испытуемый плотно прижимает пораженную дерматитом область кожи к центральной части экрана (рис. 2). В качестве экрана используется зафиксированная в строго вертикальном положении плос-

копараллельная пластина, прозрачная в используемом диапазоне излучения, при условии строгой горизонтальности оптической оси. Таким образом, излучение падает на экран, затем на кожу. Тем самым обеспечивается ортогональность плоскости кожи к падающему излучению.

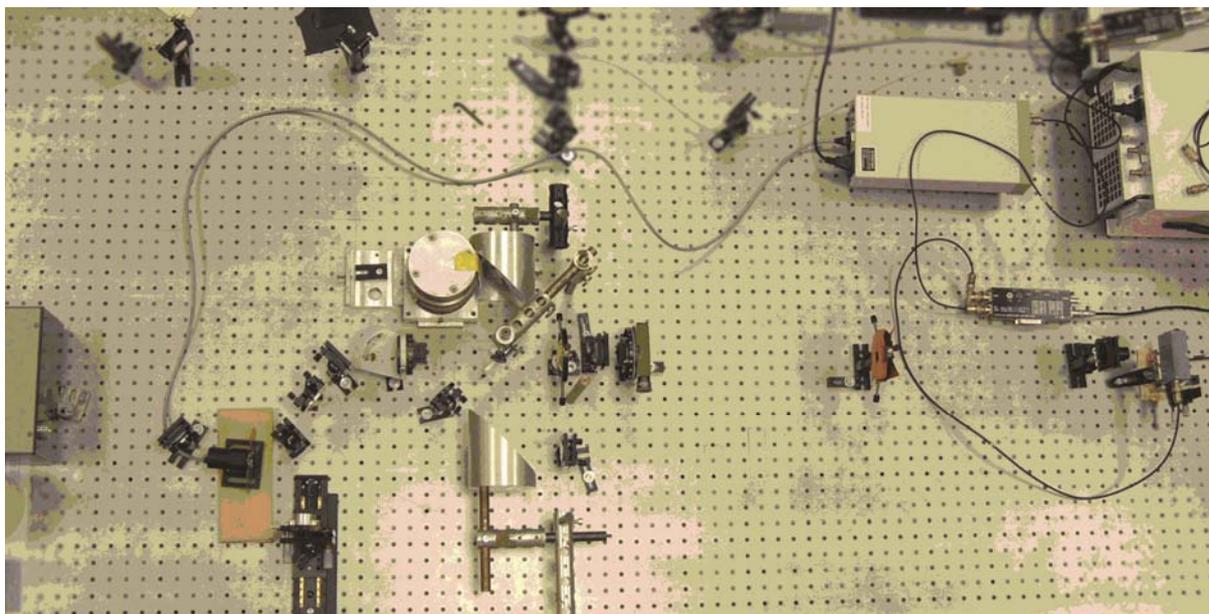


Рис. 1. Схема терагерцового рефлектометрического спектрометра

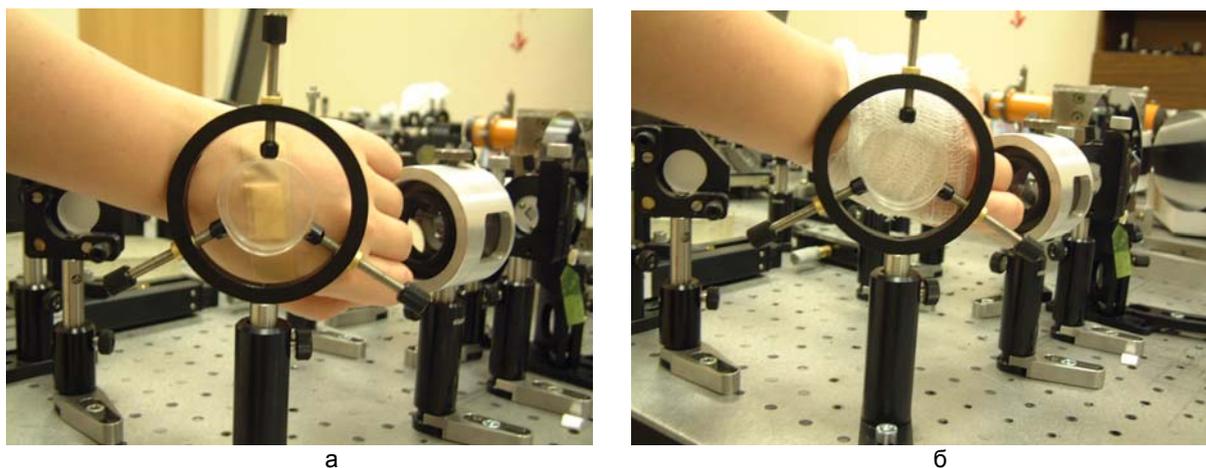


Рис. 2. Тестовая диагностика дерматита кожи: с лейкопластырем (а); с медицинским бинтом (б)

Подготовка кожи, пораженной дерматитом, для диагностики. Объектами диагностики являлись пораженные дерматитами участки кожи человека *in vivo*. Проводилась диагностика различных типов дерматитов, таких как папиллома, гематома, химический ожог, крапивница, а также пигментные пятна. На рис. 3 представлены фотографии заболеваний, которые диагностировались на лабораторном макете ТГц спектрометра.

В некоторых экспериментах на участок кожи с дерматитом был наложен влагостойкий воздухопроницаемый бактерицидный лейкопластырь фирмы SANITAPLAST (Турция, производитель Бетасан), изготовленный из тонкой полимерной перфорированной ленты, покрытой гипоаллергенным кремом. Сорбционная подушечка выполнена из 100%-ной вязкой марли.

В экспериментах для каждого образца производилось по 5 измерений. Статистическая обработка результатов производилась в предположении нормальности распределения Стьюдента с доверительной вероятностью 0,95.

Порядок проведения измерений тестовой диагностики кожи

1. Запустить лабораторный макет ТГц рефлектометрического спектрометра согласно порядку включения.
2. На персональном компьютере запустить программу для управления лабораторным макетом ТГц рефлектометрического спектрометра.

3. Согласно описанию применения программы для управления лабораторным макетом ТГц рефлектометрического спектрометра произвести измерение сигнала-референса ТГц спектра отражения.
4. Пациенту плотно прижать участок кожи, на котором выявлено заболевание, к экрану. Процедуру можно выполнить с нанесенным на кожу лекарственным средством и перевязочным материалом (лейкопластырь, бинт).
5. Произвести сканирование ТГц сигнала. Процедура длится около двух минут.
6. Выделить на графике ТГц сигнала области, отраженные от перевязочного средства (если есть), а также области слоев кожи.
7. Обработать сигнал, полученный от пораженной кожи, с целью получения частотной зависимости ТГц отражения диагностируемой области кожи.
8. Оценить характер диагностируемого заболевания кожи и (или) степень его заживления по амплитуде и характерным частотам полученного ТГц спектра отражения.

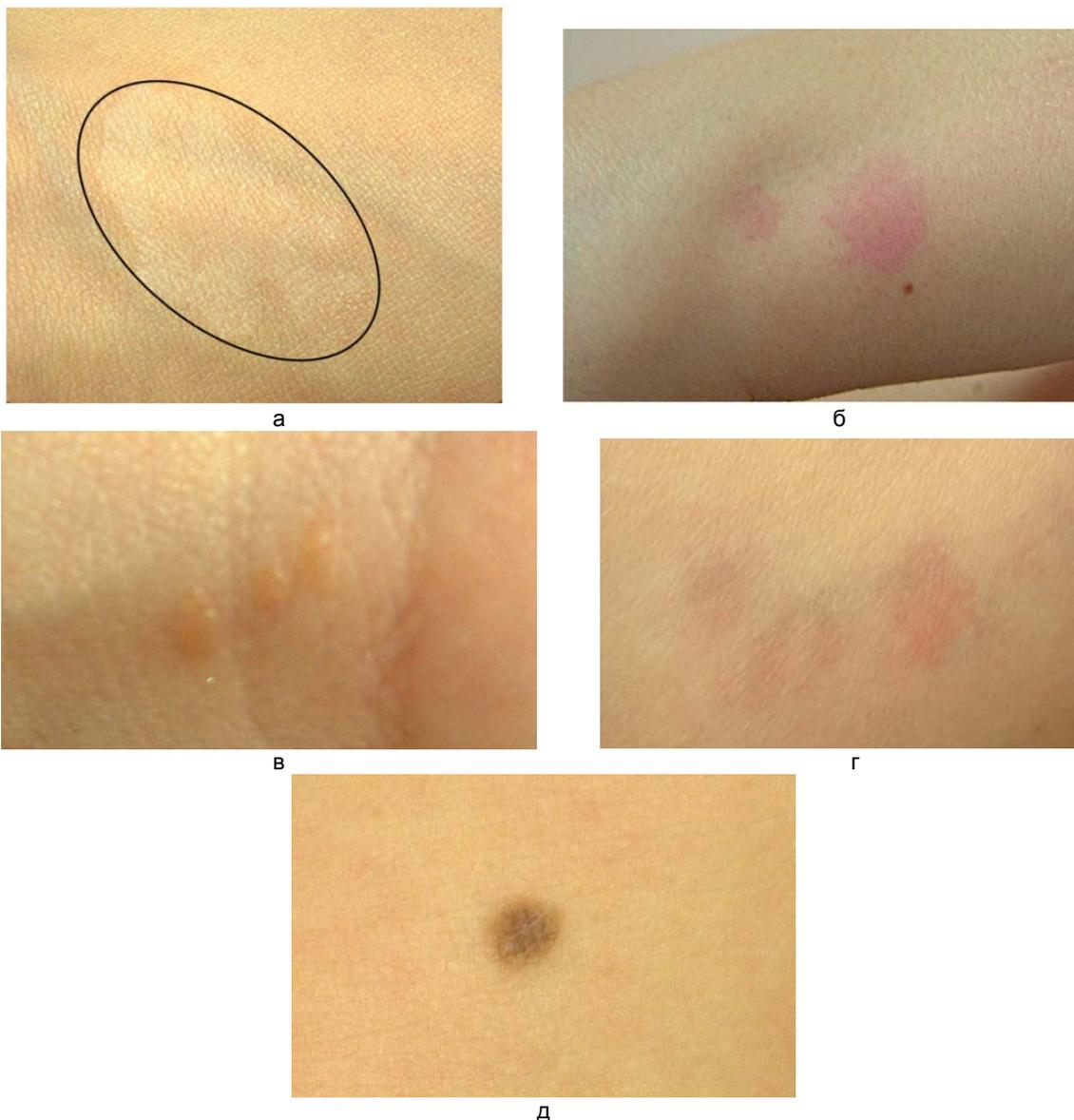


Рис. 3. Фотографии дерматитов на руке: заживший химический ожог кожи на запястье руки (женщины 34 года) (а); дерматит кожи (крапивница) на внешней стороне руки (женщины 21 года) (б); папиллома кожи на запястье руки (женщины 34 года) (в); гематома кожи на внутренней стороне сгиба руки (женщины 34 года) (г); пигментное пятно кожи внешней стороны руки (женщины 21 года) (д)

Результаты и их обсуждение

Рис. 4 демонстрирует возможность проведения ТГц диагностики кожи перебинтованной руки или при приклеивании на кожу бактерицидного лейкопластыря.

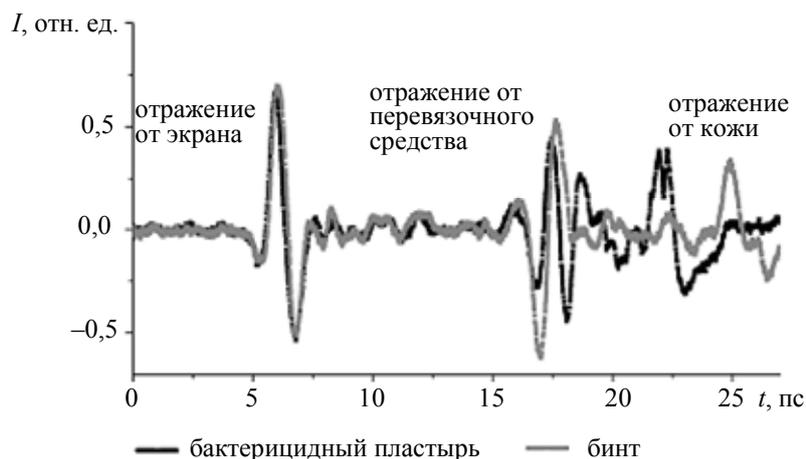


Рис. 4. ТГц сигнал, отраженный от кожи перебинтованной руки человека (серый) и с приклеенным на нее бактерицидным лейкопластырем (черный)

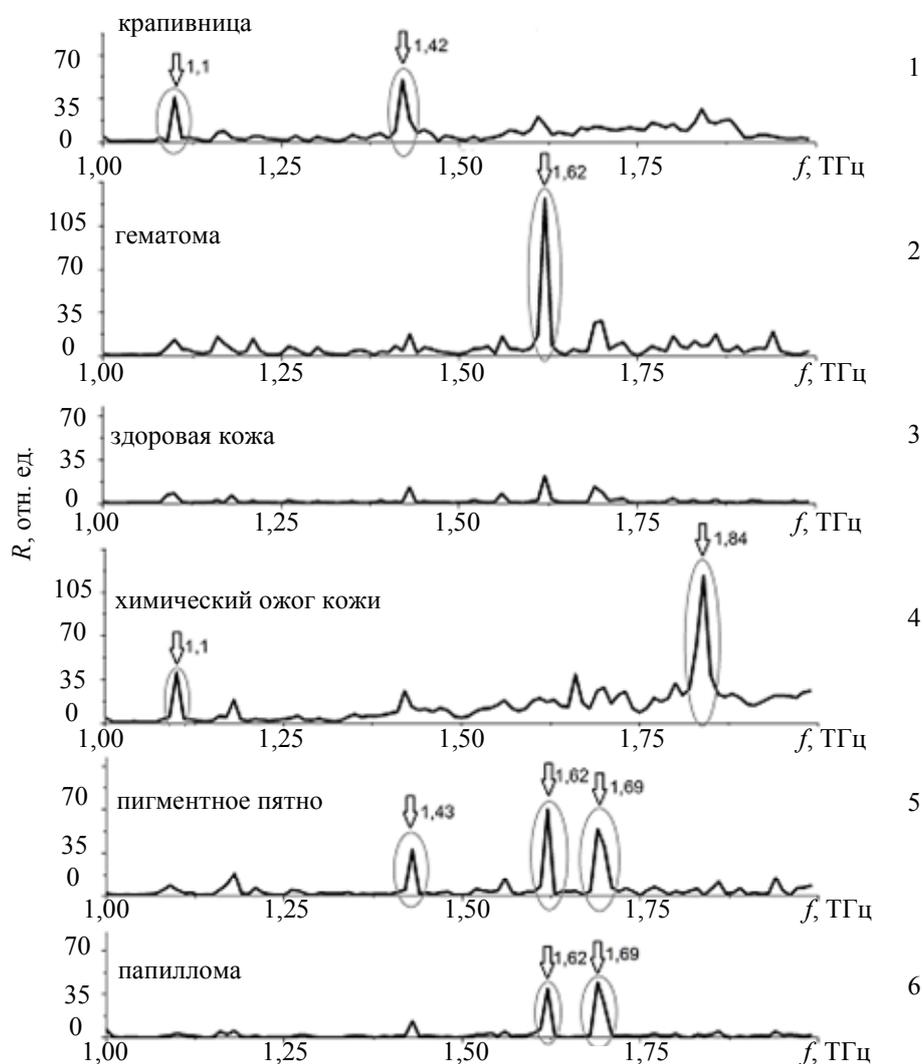


Рис. 5. ТГц спектры отражения участка кожи с крапивницей (1), гематомой (2), нормального участка кожи (3), участка кожи, поврежденной химическим ожогом (4), пигментным пятном (5) и папилломой (6)

Первый сигнал отражения появляется через 7 пс. Он несет информацию об экране, к которому прижат диагностируемый участок кожи. Второй сигнал наблюдается через 16 пс от начала сканирования. Этот сигнал характеризует появление бинта или лейкопластыря. Третий сигнал обнаруживается через 22–25 пс после начала сканирования. Он позволяет получить ТГц спектр отражения кожи. В случае если на кожу не приклеен лейкопластырь, то второй сигнал наблюдаться не будет. При этом сигнал от кожи

будет прослеживаться через 24 пс после начала сканирования. Разница отражений лейкопластыря и участка кожи в 6–9 пс позволяет хорошо их различать невооруженным глазом.

На рис. 5 приводится сравнение ТГц спектров различных дерматитов и морфологически измененной кожи человека с нормальной кожей. Важно отметить характерные пики отражения кожи, которые характеризуют определенное заболевание и отличают его от другого заболевания. Крапивница (1) имеет отличительный пик отражения на 1,1 и 1,42 ТГц; гематома (2) – на 1,62 ТГц; химический ожог (4) – на 1,1 и 1,84 ТГц; пигментное пятно (5) – на 1,43, 1,62 и 1,69 ТГц, папиллома (6) – на 1,62 и 1,69 ТГц. При этом ТГц спектр отражения неповрежденной кожи (3) не имеет особенностей в диапазоне 0,05–2 ТГц.

Заключение

Проведены работы по поиску возможности диагностики дерматитов и морфологических изменений кожи человека с помощью излучения ТГц области частот 0,05–2,0 ТГц. Особенности различных типов заболеваний кожи человека *in vivo* проявляются во всем исследуемом диапазоне частот, особенно в колебательной области (1,5–2,0 ТГц). Обусловлены они обратным рассеянием на новообразованиях кожи в ее верхних слоях. В ТГц спектрах отражения хорошо различимы спектральные линии различных дерматитов, пигментных пятен, гематом. ТГц излучение хорошо проникает через перевязочные средства. При этом за одно сканирование, длящееся около одной минуты, обрабатывается спектр не только перевязочного материала, но и различных слоев кожи.

Таким образом, показана перспективность создания метода бесконтактной диагностики кожи человека в ТГц области частот. Доступность открытых участков кожи позволят проводить исследования *in vivo* на человеке и набирать статистику. Легко будет доставить излучение до пораженного участка, не требуя сложной конструкции «оптической руки».

Работа поддержана Министерством образования и науки Российской Федерации (ГК № 14.512.11.0020).

Литература

1. Mark G. Lebowhl, Warren R. Heymann, John Berth, Jan Coulson. Treatment of skin disease: comprehensive therapeutic strategies. – 3-d ed. – Hardcover: Elsevier, 2010. – 833 p.
2. US 2012/0008838 (A1) Guyon Isabelle [US]; Barnhill Stephen [US]. System and metod for remote melanoma screening, pub. 21.12.2010.
3. Данилова Л.А. Анализ крови и мочи. – СПб: Салит-Медкнига, 2003. – 128 с.
4. Глик Б., Пастернак Дж. Молекулярная биотехнология. Принципы и применение: Пер. с англ. – М.: Мир, 2002. – 589 с.
5. Kiernan J.A. Histological and Histochemical Methods: Theory and Practice. – 4-th ed. – Bloxham, UK: Scion, 2008. – 481 p.
6. Методы клинических лабораторных исследований / Под ред. проф. В.С. Камышников. – 4-е изд. – М.: МЕДпресс-информ, 2011. – 752 с.
7. Давыдов М.И., Ганцев Ш.Х. Атлас по онкологии. – М.: МИА, 2007. – 416 с.
8. Tuchin Valery V. Handbook of Coherent-Domain, Biomedical Diagnostics, Environmental Monitoring, and Materials Science. – 2-d ed. – NY: Springer Science+Business Media, 2013. – 1332 p.
9. Мэнсфилд П. Быстрая магнитно-резонансная томография // Успехи физических наук. – 2005. – Т. 175. – № 10. – С. 1044–1052.
10. Езерская А.А., Цуркан М.В., Смолянская О.А. Идентификация аминокислот, входящих в состав кожи человека, с помощью спектров диапазона 0,05–1,2 ТГц // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – № 2 (84). – С. 50–54.

Смолянская Ольга Алексеевна	– Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат физ.-мат. наук, доцент, o_smolyanskaya@mail.ru
Езерская Анна Александровна	– Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, студент, a.a.ezerskaya@gmail.com
Прожеев Игорь Владимирович	– Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, студент, prozheev.iv@gmail.com
Стрепитов Евгений Александрович	– Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, студент, e-strepi@yandex.ru