

Інший можливий варіант — використання трьох поляризаторів (наприклад, призм Глана), які нерухомо розміщені так, що їхні площини поляризації зміщені на кути  $60^\circ$  і  $120^\circ$ . Хоча в цьому випадку ускладнюється вирішення проблеми метрології, але знімається вимога до строгої прив'язки площини поляризації до площини розсіяння.

## ВИСНОВКИ

Реалізація проекту дає можливість визначити значення дійсної частини показника заломлення і розмірів стратосферного аерозолу, його оптичну товщину, а також дослідити горизонтальну структуру аерозольного шару і його зміни в часі. Це дасть можливість провести точне моделювання процесів фотодисоціації молекул різних газів, у першу чергу і озону, із врахуванням ослаблення випромінювання верхніми шарами земної атмосфери, а значить і промоделювати швидкості утворення і руйнування молекули озону над різними ділянками земної кулі. В свою чергу, це дозволить точніше визначити механізм появи озонних дір, а отже, розробляти і приймати на міжнародному рівні обґрунтовані заходи щодо запобігання цьому катастрофічному явищу.

1. Мороженко О. В. Методи і результати дистонційного зондування планетних атмосфер. — К.: Наук. думка, 2004.—647 с.
2. Мороженко О. В., Шаврина А. В., Велесь О. А. Роль стратосферного аерозолу у формуванні озонового шару // Кинематика и физика небес. тел.—2000.—16, № 4.—С. 364—368.
3. Неводовский П. В., Видьмаченко А. П. Оптимизация параметров фотомножителей класса «Квантакон» // Тез. докл. 13-й Всерос. научно-техн. конф. «Обеспечение единства измерений в фотометрии и радиометрии оптического излучения». — М., 2001.—С. 17.
4. Чемберлен Дж. Теория планетных атмосфер. — М.: Мир, 1981.—352 с.
5. Hansen J. Climate Forcing and Feedbacks // Long-term monitoring of global climate Forcing and feedbacks. — New York, NASA Conf. publ.—1993.—3234.—P. 6—12.

## THE UKRAINIAN YOUTH SATELLITE: INVESTIGATION OF THE EARTH'S AEROSOL STRATUM WITH THE USE OF UV-POLARIMETER

Ye. P. Nevodovskyi, A. P. Vid'machenko, O. V. Morozhenko, P. V. Nevodovskyi, I. I. Syniavskiy

We consider some reasons for changes in concentration of stratospheric ozone in upper stratum of the Earth's atmosphere (for heights more than 30 km). The Project of board UV-polarimeter for a wavelength of 250 nm for the Ukrainian Youth Satellite is proposed. Realization of the Project will give the possibility to derive with assurance the real and imaginary parts of the refractive index, sizes of small particles, horizontal structure of the aerosol stratum and to investigate its changes with time.

УДК 520.36

© Ю. С. Иванов, И. И. Синявский, М. Г. Сосонкин

Головна астрономічна обсерваторія НАН Україна, Київ

## БОРТОВОЙ УФ-СПЕКТРОПОЛЯРИМЕТР ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПЛАНЕТНЫХ АТМОСФЕР

Розглядається методика побудови спектрополяриметра підвищеної ефективності. Показано, що обмежена кількість елементів може виконувати функції оптичного редуктора, диспергуючого блоку і коректора аберацій. Такий підхід особливо вигідний в УФ-діапазоні, де велика кількість елементів традиційних спектрополяриметрів приводять до великих втрат. Пропонується система рознесених диспергуючих призм, що забезпечуює вирівнювання дисперсії і додатково підвищує ефективність приладу в короткохвильовій ділянці спектру.

## ВВЕДЕНИЕ

Поляриметрические измерения вызывают растущий интерес астрофизиков, так как дают возможность определять: спектральные значения комплексного показателя преломления аэрозольных частиц, распределение их по размерам, относительное содержание аэрозоля. Они позволяют изучать изменения оптических и тепловых свойств планетных

атмосфер с солнечной активностью. Зачастую такую информацию невозможно получить другим способом.

Весьма перспективными являются исследования поляризации в УФ-области спектра, но этот диапазон недоступен с поверхности Земли и требует специальных приборов для измерений с борта искусственных спутников и космических станций.

К сожалению, за последние 20—30 лет во всем

мире было произведено не более десяти таких экспериментов, к тому же с несовершенными спектрополяриметрами. Эти измерения проводились либо поляриметрами с фильтрами, либо приборами на базе щелевых спектрометров.

В рамках космического эксперимента «Планетный мониторинг» в Главной астрономической обсерватории НАН Украины совместно с Институтом космических исследований РАН разрабатывается спектрополяриметр для мониторинга планетных атмосфер. Прибор предназначается для оснащения телескопа Т-40, устанавливаемого на борту Международной космической станции. Для построения прибора наивысшей эффективности синтез оптической схемы производился по результатам анализа поляриметра как канала передачи информации [5].

#### ОПТИЧЕСКАЯ СХЕМА СПЕКТРОПОЛЯРИМЕТРА

При разработке прибора учитывались следующие требования:

- спектральный диапазон  $\lambda\lambda = 0.23...0.4$  мкм;
- динамический диапазон  $10^4$ ;
- спектральное разрешение 20—30 элементов на спектр;
- пространственное разрешение 1-2";
- поляризационная эффективность — не хуже 0.8 от теоретической.

Наиболее удобным и универсальным способом анализа поляризации излучения является преобразование ее вращающейся фазовой пластинкой в интенсивности лучей с ортогональной поляризацией. Классический спектрополяриметр включает в себя следующие элементы: вращающуюся фазовую пластинку, коллиматор, сепаратор по поляризации, диспергирующий узел, камеру. Большие потери света на многочисленных поверхностях в спектрополяриметрах снижают эффективность таких приборов при изучении слабых объектов.

Для спектрального разложения излучения в спектрополяриметрах используются дифракционные решетки или призмы [2]. Использование дифракционных решеток ведет к наложению спектров различных порядков, невысокой энергетической эффективности и ограничению спектрального диапазона (не более одной октавы). Следует отметить также, что дифракционные решетки имеют различную и плохо прогнозируемую эффективность в лучах, поляризованных параллельно и перпендикулярно к штрихам.

При использовании спектральных призм сказывается нелинейность дисперсии; растягивание коротковолнового участка спектра приводит к паде-

нию эффективности устройства в этой области. В астрономии, где выигрыш даже в одну звездную величину существенно расширяет круг решаемых задач, такое падение является нежелательным.

В приборах низкого и умеренного разрешения, работающих в поляризованном свете в широком спектральном диапазоне, предпочтительны призмы. В работе [4] были предложены призмные системы с искусственным квазилинейным хроматизмом, приводится также метод расчета таких систем, которые могут состоять из одиночных или склеенных в моноблок призм из специально подобранных оптических материалов. По методике, предложенной в [2], были проанализированы возможные варианты сочетаний оптических материалов, прозрачных в ультрафиолете. В таблице представлены различные пары сред для призм с выровненной дисперсией. Наиболее перспективны пары  $\text{LiF}-\text{BaF}_2$ ,  $\text{CaF}_2-\text{BaF}_2$ ;  $\text{MgF}_2-\text{BaF}_2$ . При дальнейших расчетах также следует учитывать перспективность пар по коррекции аберраций.

Такой подход, в сочетании с деформацией поверхностей призм [1], дает возможность расчета схемы простого и высокоэффективного спектрополяриметра. Следует отметить, однако, что такой способ выравнивания дисперсии требует вычитания дисперсии отдельных компонентов. Поскольку общая дисперсия узла при этом уменьшается, то такой прием пригоден лишь для приборов низкого и среднего спектрального разрешения.

Особенностью разрабатываемого прибора является достижение максимальной эффективности на всех этапах преобразования информации. Для этого, в частности, минимизировано количество элементов и поверхностей. Два элемента оптической системы исполняют функции: а) диспергирующей системы; б) оптического редуктора; в) корректора аберраций.

Использование фазовых суперхроматических пластинок конструкции В. Кучерова обеспечивает высокую эффективность анализа поляризации ( $> 0.9$ ) [3], что позволяет измерять круговую и линейную поляризацию в широком спектральном диапазоне.

В качестве сепаратора по поляризации используется пластинка Савара. Для минимизации систематических ошибок спектрополяриметра пластинка разворачивается на угол  $45^\circ$  относительно главной плоскости оптической системы. Кроме того, она разворачивается на малый угол в меридиональной плоскости для внесения дополнительного хроматизма, увеличивающего дисперсию системы.

Таким образом, схема прибора (рис. 1) состоит всего из четырех элементов: ахроматической фазо-

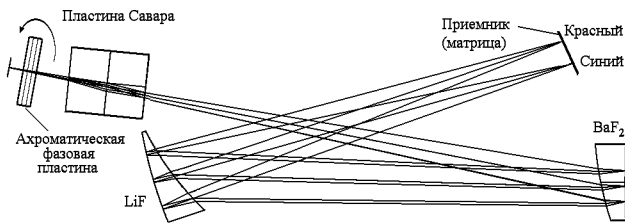


Рис. 1. Оптическая схема спектрополяриметра

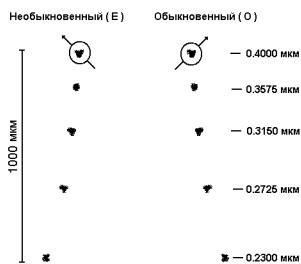


Рис. 2. Расчетная точечная диаграмма в плоскости изображений

Пары оптических сред для выравнивания угловой дисперсии  $D$  в диапазоне  $\lambda\lambda = 0.23-0.4$  мкм

Кристалл	$D$ , град		
	BaF <sub>2</sub>	F_Silica	Sapphire
LiF	0.0409	0.0213	0.0187
MgF <sub>2</sub>	0.0290	0.0100	0.0073
CaF <sub>2</sub>	0.0365	0.0098	0.0062

вой пластинки (анализатора), пластины Савара (сепаратора по поляризации) и двух разнесенных деформированных призм.

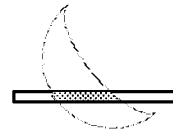
Описанный подход существенно упрощает оптическую схему, уменьшает ее габариты, а главное - позволяет получить энергетическую эффективность, приближающуюся к теоретически возможной.

#### РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Расчеты показывают, что предлагаемая схема обеспечивает высокое качество изображения во всем спектральном диапазоне.

Диаметры пятен соизмеримы с размером пикселя матрицы и составляют около 20 мкм. При размере щели в 50 мкм, устанавливаемой в фокальной плоскости телескопа, разрешение составляет порядка 20-25 элементов на спектр при длине спектра

Вид на плоскость щели



Вид на плоскость приемника (ПЗС-матрица)

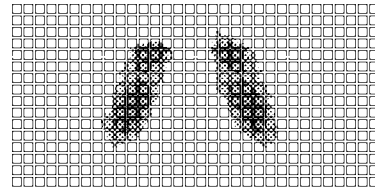


Рис. 3. Формирование спектра в спектрополяриметре

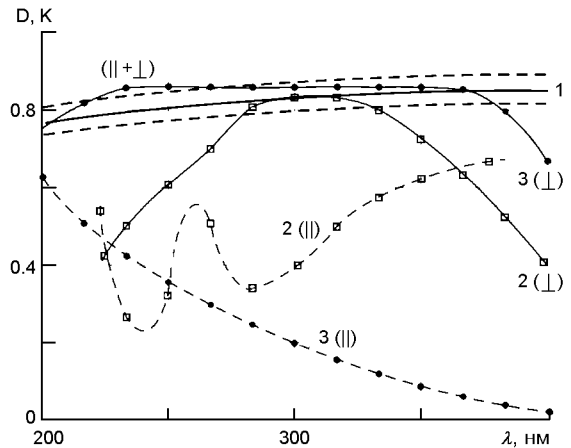


Рис. 4. Энергетическая эффективность различных диспергирующих систем: 1 — призмная система с линеаризованной дисперсией; 2 — непрофилированная голографическая решетка; 3 — профилированная голографическая решетка. А — плоскость поляризации, параллельная плоскости дисперсии, В — плоскость поляризации, перпендикулярная к плоскости дисперсии

немного более 1 мм. На рис. 2 и 3 приведены: расчетная точечная диаграмма и укладка спектра на плоскости приемника.

На рис. 4 показано сравнение энергетической эффективности дифракционных решеток и предложенной диспергирующей системы. Видно, что эффективность предлагаемой системы близка к теоретической. Если же учитывать поглощение излучения в многочисленных оптических элементах, то выигрыш предложенной системы по сравнению с традиционными спектрополяриметрами будет еще больше.

1. Иванов Ю. С., Гершберг Р. Е., Ефимов Ю. С., Шаховской Н. М. Спектрополяриметр низкого разрешения с широкополосной ахроматической пластинкой и специальной

призмой Волластона // Кинематика и физика небес. тел.— 1999.—15, № 4.—С. 359—376.

2. Иванов Ю. С., Синявский И. И. Способ линеаризации дисперсии призмовой системы. // Приладобудування 2004: стан і перспективи: Зб. наук. праць. — Київ: НТУУ «КПІ», ПБФ, 2004.—С. 256.
3. Кучеров В. А. Ахроматический фазосдвигатель для вакуумного ультрафиолета // Кинематика и физика небес. тел.— 1996.—12, № 1.—С. 52—58.
4. Пейсахсон И. В. Оптика спектральных приборов: Изд. 2-е, доп. и перераб. — Л.: Машиностроение, 1975.—312 с.
5. Ivanov Yu. S., Gershberg R. E., Efimov Yu. S., Shakhovskoj N. M. High Efficiency Spectropolarimeter // Proc. SPIE-ESO Symp., Sect. AS06. Munich, March 2000.

#### ON-BOARD UV-SPECTROPOLARIMETER FOR MONITORING OF PLANETARY ATMOSPHERES

Yu. S. Ivanov, I. I. Sinyavsky, M. G. Sosonkin

A procedure for constructing a spectropolarimeter of heightened efficiency is considered. It is shown that a limited number of elements can perform functions of the optical reduction, dispersing block, and aberrations corrector. This approach should be of particular assistance in the case of the UV spectral region, where numerous surfaces of traditional spectropolarimeters lead to large losses. We offer a system of spaced dispersing prisms providing the equalization of dispersion, which increases further the efficiency of the instrument in the shortwave spectral region.

УДК 629.78.018

© Р. В. Гаврилов, А. М. Кислов,  
Ю. А. Меленевский, А. И. Церковный

Спеціальне конструкторсько-технологічне бюро з криогенної техніки Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна НАН України, Харків

### ИМИТАТОР ИЗЛУЧЕНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ТЕРМОВАКУУМНЫХ ИСПЫТАНИЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Розроблено імітатор випромінювання Землі, конструкція якого утворена системою панелей з лінійчатыми ІЧ випромінювачами, що нагріваються електричним струмом. Панелі випромінювачів закріплені на опорно-поворотному пристрої і разом з КА здійснюють програмні повороти відносно потоку випромінювання від імітатора Сонця. Імітатор відтворює на елементах КА сумарну густину поглинутих потоків власного та відбитого сонячного випромінювання від Землі на заданих витках орбіти. Наведено результати розрахунку проектних параметрів імітатора.

Имитатор излучения Земли разработан для стенда тепловакуумных испытаний космических аппаратов, который создается в ГКБ «Южное». В имитаторе для облучения КА используется управляемый поток ИК-излучения. Имитатор воспроизводит на элементах КА суммарную плотность поглощенных потоков собственного и отраженного солнечного излучения Земли на расчетных витках орбиты. Угловое распределение натуральных потоков излучения от Земли, падающих на элементы КА, не воспроизводится.

Имитатор Земли представляет собой систему панелей с дискретными линейчатыми излучателями. Излучатели нагреваются электрическим током до температур, соответствующих требуемым значениям плотностей потоков, поглощаемых элементами КА при движении на витке. Возможность использования нагреваемых линейчатых излучателей для имитации поля собственного излучения Земли рассматривалась в работах [1—4, 8]. Отличительной особенностью разработанного имитатора Земли является то, что панели излучателей закреплены на

опорно-поворотном устройстве в термовакуумной камере и вместе с КА совершают программные повороты относительно потока излучения от имитатора Солнца. При этом в течение цикла программного поворота (испытательный виток) может быть реализована временная зависимость поглощенного потока от Земли, соответствующая заданной ориентации КА на витке. Это позволяет воспроизводить нестационарные тепловые режимы КА при согласованном изменении поглощенных его элементами потоков излучения от имитаторов Земли и Солнца.

В дальнейшем будем рассматривать вариант конструктивной схемы и расчетные параметры имитатора Земли применительно к тепловым испытаниям проектируемого микроспутника. Микроспутник имеет форму параллелепипеда с четырьмя панелями солнечных батарей. Корпус КА, состоящий из плиты установочной, тепловых экранов и основания, имеет размеры 740 × 740 × 720 мм. Панели солнечных батарей (СБ) имеют размер 576 × 695 мм. Оптические характеристики элементов КА: стенки корпуса —  $\varepsilon = 0,9$ ,  $A_s = 0,96$ ; рабочие стороны