

Использование электронно-оптической камеры «Уникадр-05-02» для получения изображений в ультрафиолетовой области спектра

(отредактировано В.Б. Лебедевым 10 апреля 2008 г.)

¹ А.Б. Берлизов, ² С.Д. Питик, ¹ Г.Г. Фельдман

¹ ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений», Москва, Россия

² ГРАУ, Москва, Россия

Тел. (495)-437-34-74

e-mail: lab-r5@vniiofi.ru

Введение

Ультрафиолетовый (УФ) участок спектра практически не используется для получения визуальной информации об окружающем мире. Это обусловлено такими факторами, как отсутствие собственного свечения объектов, отсутствие приемлемых источников подсветки, большие потери, связанные с поглощением и рассеянием при распространении излучения в средах. Конечно, получают УФ изображения объектов в астрономии, наблюдают возбуждаемые УФ излучением флуоресцентные изображения, но этим в основном все исчерпывается. Способностью именно видеть в ультрафиолетовом диапазоне обладают только насекомые. Так, например, пчелы могут воспринимать излучение вплоть до 300 нм.

Поскольку оптические характеристики веществ зависят от длины волны излучения, то, естественно, изображения предметов в разных участках спектра отличаются. Близкие по спектральной яркости в видимом диапазоне растительные покровы, участки водной поверхности, пластики, ткани, бумага, металлы, здоровые и пораженные биологические ткани при наблюдении в УФ лучах часто существенно различаются. Эти отличия несут дополнительную информацию о свойствах объектов. Такого рода информация может быть использована в спектрозональной разведке, экологии, искусствоведении, криминалистике, материаловедении, в медицине.

В лаборатории электронно-оптических средств измерений параметров быстропротекающих процессов ВНИИОФИ разрабатывают и производят электронно-оптические камеры (ЭОК), перекрывающие спектральный диапазон от ближнего рентгеновского излучения до инфракрасного. В настоящей работе изложены результаты применения одной из таких камер для электронно-оптического фотографирования объектов в УФ диапазоне спектра.

Характеристики аппаратуры

На рис.1 представлена блок-схема комплекса. Приёмным звеном комплекса является электронно-оптическая камера. Источником зондирующего УФ излучения служит лазер на иттрий-алюминиевом гранате с преобразованием излучения в 3-ю гармонику, работающий в основном с частотой 1000 Гц. В зависимости от необходимого режима подсветки луч лазера пропускают через положительную или отрицательную кварцевую линзу. Синхроимпульсы от блока питания лазера через источник временных сдвигов, формирующий временную задержку $t_3 = 2 L/c$ (L - расстояние до объекта, c – скорость света) поступают в блок управления ЭОК. По времени задержки можно определять расстояние до объекта. Оптический тракт приемной системы состоит из зеркально-линзового объектива и интерференционного фильтра. Коэффициент пропускания фильтра на длине волны 355 нм равен 64%, объектива - 54%. Изображение с люминесцентного экрана второго электронно-оптического преобразователя (ЭОП) записывается ПЗС телевизионной камерой (ПЗС ТВК) и затем передается в компьютер для обработки, анализа и архивирования. Время накопления в ПЗС ТВК от 7 мкс до 268,4 с. Возможно суммирование накопленных изображений программным способом с

последующими операциями усреднения и вычитания фона. Системные требования к компьютеру – наличие хостконтроллера USB-2.0, оперативная память не менее 256 Мб, процессор с тактовой частотой не менее 1 ГГц и работа в среде Windows 2000 /XP. Скорость обработки и вывода изображений с частотой до 4 Гц. В зависимости от удаленности объекта, а также коэффициента и характера отражения от него для получения изображения требуется обычно от 0,25 с до 4 с. Вид развернутого комплекса показан на рис.2, характеристики приведены в таблице 1.

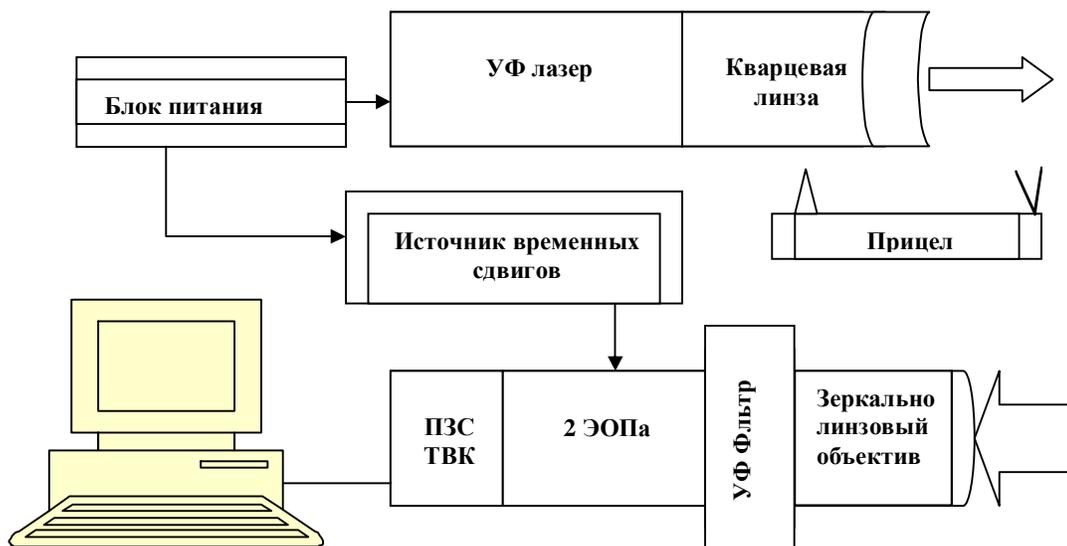


Рис.1. Блок-схема комплекса для наблюдения в УФ диапазоне



Рис.2. Комплекс аппаратуры УФ диапазона на наблюдательном пункте.

Характеристики комплекса для наблюдения в УФ диапазоне

Таблица 1

№	Наименование параметра и его размерность	Величина параметра
1	Входной объектив, фокусное расстояние, м	Сменный 0,5 или 1м
2	Полоса пропускания интерференционного фильтра, нм	280 - 390
3	Диапазон спектральной чувствительности, нм	220 - 850
4	Максимальный коэффициент преобразования камеры, Вт/Вт:	$1,25 \times 10^8$
5	Пространственное разрешение, п.л./мм: - на фотокатоде 1-го ЭОПа - на фотокатоде 2-го ЭОПа	42 33
6	Максимальная частота запуска, Гц	1000
7	Длительность кадра ЭОК, нс	20, 50, 100, 200, 500
8	Масштаб переноса изображения с экрана 2-го ЭОП на ПЗС матрицу считывающего устройства, пиксель/см.:	602
9	Габаритные размеры камеры (без входного объектива), мм	295x95x192
10	Масса ЭОК, кг	3,4
11	Мощность, потребляемая ЭОК от питающей сети, ВА	7
Характеристики лазерного излучателя		
12	Энергия в импульсе, мкДж	20
13	Длительность импульса, нс	10
14	Длина волны излучения, нм	355
15	Расходимость излучения (полный угол), мрад	10
16	Частота следования импульсов, кГц	0,2 - 10
17	Потребляемая мощность Вт, не более	100
18	Диаметр пятна на выходе излучателя, мм, не более	1
19	Габариты излучателя, мм	55x 90 x299
20	Габариты источника питания, мм	90x252x252
21	Масса излучателя, кг	< 2
22	Масса источника питания	< 3
23	Охлаждение	воздушное

Результаты экспериментов

У каждого из режимов наблюдения – пассивного, активно-непрерывного или активно-импульсного есть свои достоинства и недостатки (см., например, [1]). В УФ диапазоне из-за сильного рассеяния излучения реализация первых двух режимов особенно проблематична. Нас интересовал главным образом активно-импульсный режим съемки, но, естественно, мы проводили измерения и в пассивном режиме при солнечном освещении.

На рис.3 показано изображение опоры линии электропередачи (ЛЭП), подсвеченной солнцем и лазером. Расстояние до опоры 750 м. Верхняя часть опоры, хотя и подсвечена солнцем, но на фоне яркого неба имеет отрицательный контраст. В средней части опоры контраст практически нулевой по отношению к лесному массиву, расположенному за ней. В нижней части, подсвеченной лазером, контраст положительный. Суммарная энергетическая экспозиция на опоре равна $0,24 \text{ мДж/м}^2$.

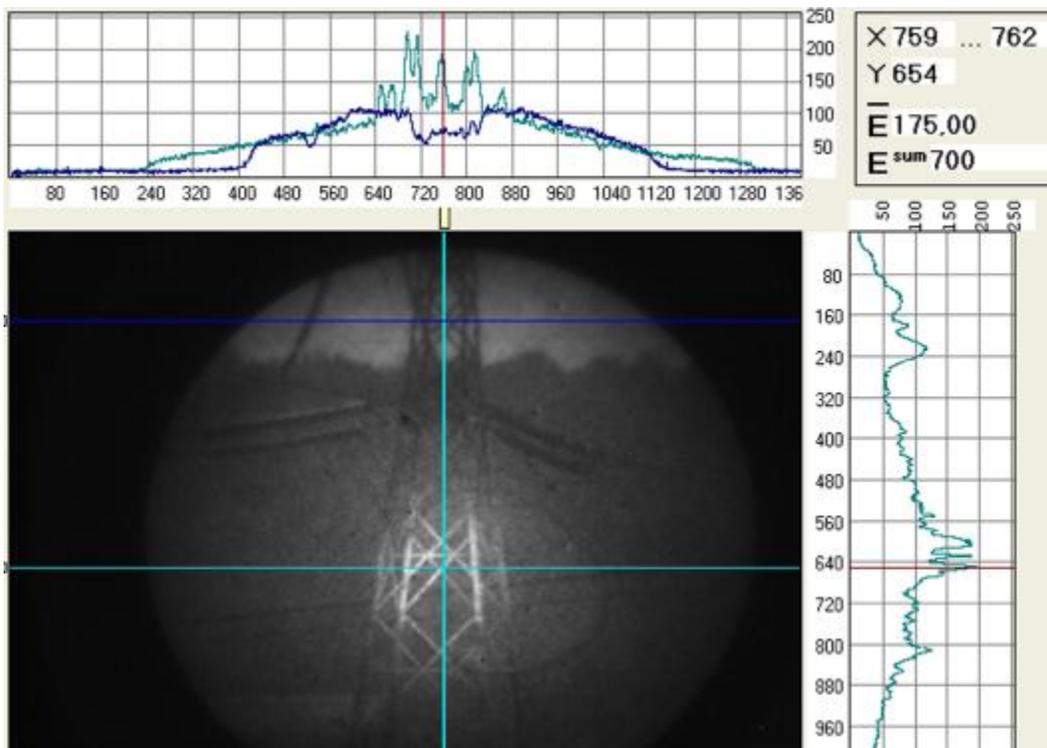


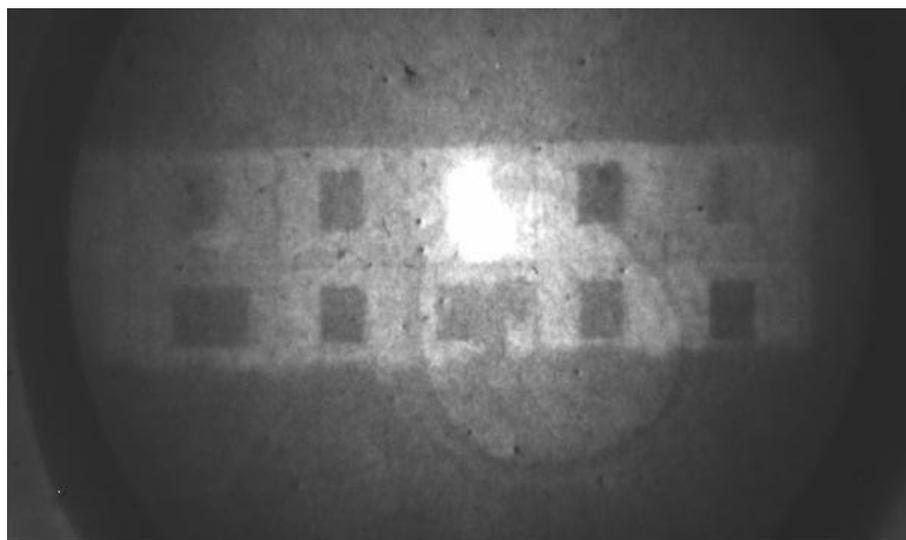
Рис.3. Опора ЛЭП. На графиках сверху показано распределение яркости изображения в верхней части опоры (отрицательный контраст, график синего цвета) и на участке, подсвеченном лазером (положительный контраст, график голубого цвета). На графике справа показано распределение яркости изображения вдоль вертикальной оси опоры.

На рис. 4а показано изображение фасада блочного двухэтажного строения, снятого в солнечном УФ в диапазоне 320-390 нм. Яркое пятно дает лазерный луч, сфокусированный линзой. Энергетическая освещенность в диапазоне длин волн 320 -390 нм, оцененная в соответствии с данными работ [2] и [3], составляет 13 Вт/м^2 . За время съемки суммарная энергетическая экспозиция солнечного УФ в полосе пропускания интерференционного фильтра в этом случае составила примерно $2,78 \text{ мДж/м}^2$, в лазерном пятне около 66 мДж/м^2 . Расстояние до строения 1200 м.

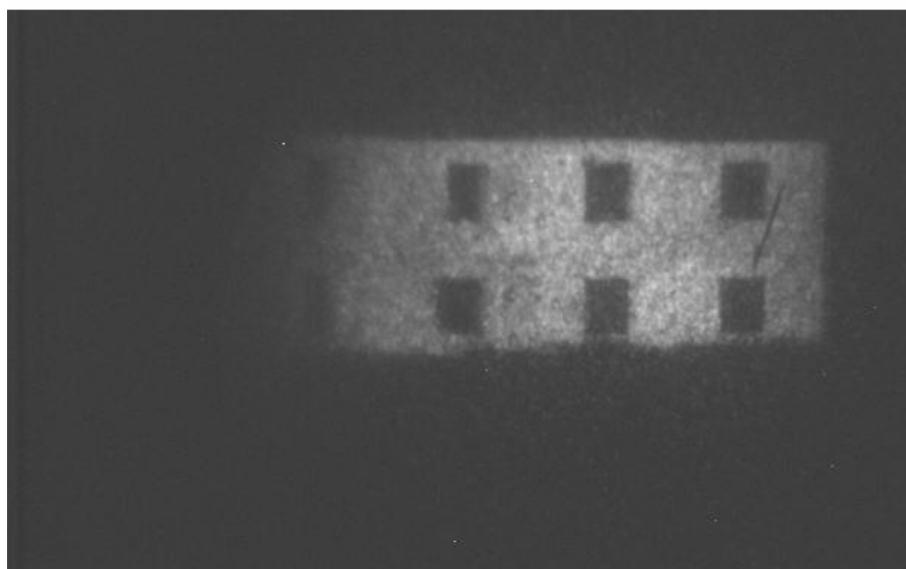
На рис. 4б показано изображение этого же объекта, снятого в ночное время с расфокусированной лазерной подсветкой. Для оценки энергетической экспозиции излучения на объекте использовали экспериментальные данные по распространению УФ излучения в атмосфере, приведенные в [4]. При метеорологической дальности видимости (МДВ) порядка 20 км показатель ослабления на длине волны 355 нм равен $0,575 \text{ км}^{-1}$. На дистанции 1,2 км лазерный луч ослабляется в 2 раза. Для луча с в полным углом расходимости 10 мрад и эллиптичностью 1,4 получим значение энергетической экспозиции в импульсе на объекте 50 нДж/м^2 . На фотокатод первого ЭОПа поступает примерно 1400 фотонов за импульс (или $7,8 \times 10^{-16} \text{ Дж}$). Суммарная экспозиция на объекте составила $1,4 \text{ мДж/м}^2$. На рис. 4в показана фотография объекта, сделанная с наблюдательного пункта обычным цифровым фотоаппаратом.

На рис. 5 показан вертолет на фоне леса, снятый в видимом диапазоне обычным цифровым фотоаппаратом (снимок приведен в черно-белой гамме) и в ночное время камерой Уникадр-05-02 при подсветке УФ лазером. Расстояние до вертолета 440 м. Суммарная УФ экспозиция на поверхности вертолѐта оставила $1,2 \text{ мДж/м}^2$. На графике сверху представлено распределение яркости двух изображений вдоль горизонтальной прямой, на графике справа - распределение яркости левого снимка вдоль вертикали. В видимом диапазоне контраст изображения вертолѐта по отношению к листве составляет всего 0,09. В УФ диапазоне контраст находится на уровне 0,55.

а



б



в



Рис.4. Бетонное строение, снятое: **а** – камерой днём в солнечном УФ с подсветкой сфокусированным лучом УФ лазера, **б** - камерой в ночное время с подсветкой расфокусированным лучом УФ лазера, **в** - обычным цифровым фотоаппаратом днём в видимом диапазоне.

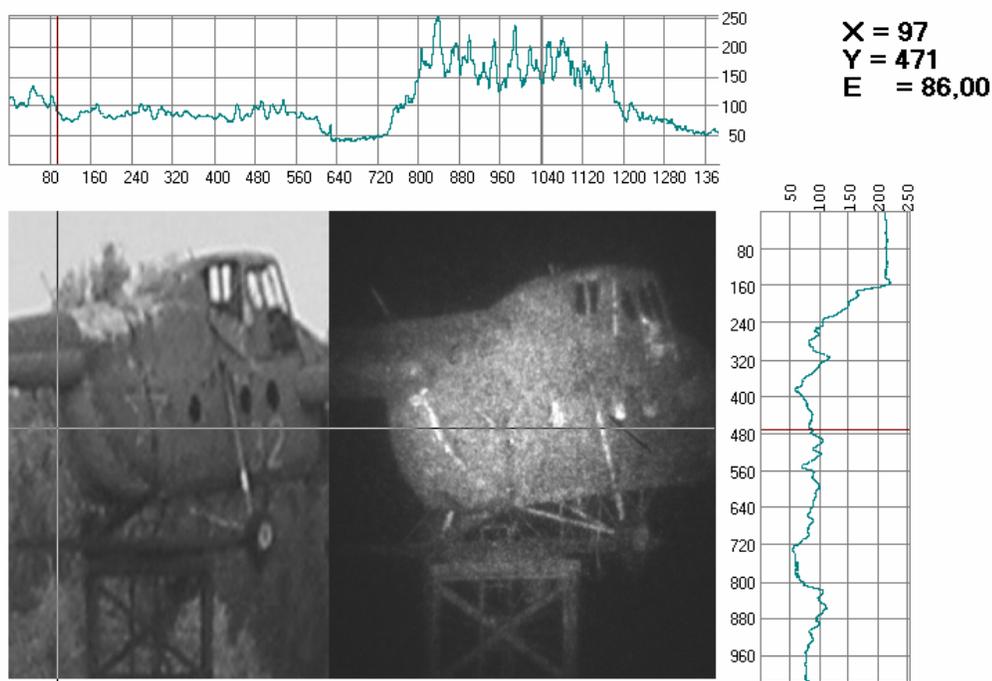


Рис. 5. Вертолет на фоне леса, снятый в видимом диапазоне (справа) и в УФ диапазоне.

На рис. 6. показаны изображения манекена в белом халате на фоне снега. Левый снимок сделан обычным цифровым фотоаппаратом в видимом диапазоне с расстояния 4 м (снимок приведен в чёрно-белой гамме). Центральный снимок сделан в солнечном УФ с помощью камеры, работавшей в статическом режиме, когда оба ЭОПа непрерывно открыты. То есть это один кадр ПЗС ТВК. Правый снимок сделан при подсветке лазером и длительности кадра камеры 50 нс. Расстояние до объекта съёмки 390 м. Время накопления изображения в ПЗС ТВК составляло 0,9 с. Суммарная энергетическая экспозиция на объекте 0,8 мДж/м².

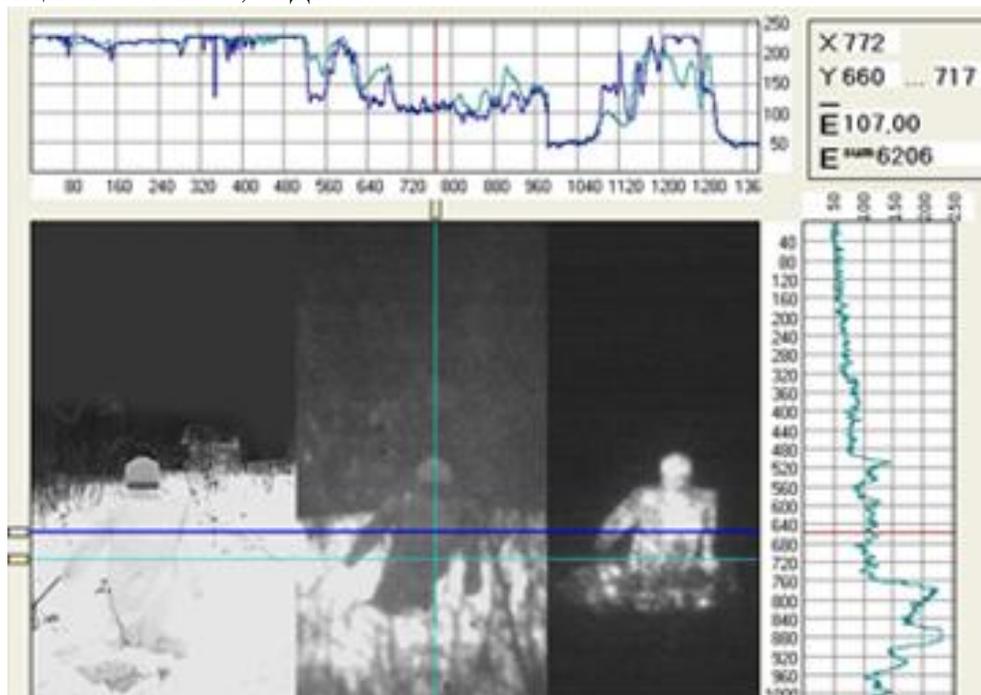


Рис.6. Манекен в белом халате на фоне снега: в видимом диапазоне – левый снимок, в солнечном УФ – центральный снимок, подсвеченный УФ лазером – правый снимок.

Вверху показаны графики яркости изображений указанных трёх снимков вдоль горизонтальной линии, характеризующие контраст изображения манекена относительно снега. В солнечном УФ белый халат имеет отрицательный контраст по отношению к снегу - выглядит темным (центральный снимок), в то время, как в видимом диапазоне контраст равен нулю (левый снимок). Наибольший контраст получился при подсветке УФ лазером.

Заключение

В настоящей работе представлена аппаратура, позволяющая расширить возможности получения визуальной информации в УФ области спектра. Многие объекты имеют в УФ области более высокие контрасты по отношению к естественным фонам чем в видимом диапазоне. В УФ области присутствует меньше помех естественного и искусственного происхождения чем в видимой и ИК областях. Применение активно-импульсного метода позволяет видеть объекты на расстоянии более 1 км при УФ экспозиции на их поверхности порядка 50 нДж/м². Оценки показывают, что, оптимизировав систему за счет увеличения пропускания оптического тракта, концентрации лазерного пятна на объекте и использования лазера с удвоенной энергией, можно увеличить дальность действия комплекса до 2,5 км. С учетом разницы отражающих способностей многих материалов в УФ, видимом и ИК диапазонах спектра разработанная аппаратура может использоваться в мультиспектральных видеоинформационных системах дистанционного мониторинга, спектральной разведке, медицине, материаловедении, криминалистике.

Авторы выражают свою благодарность В.Б. Лебедеву за полезные замечания и консультации, а также А.А. Луковникову и Н.В. Чернышеву за помощь в проведении измерений.

Литература.

1. Гейхман И.Л., Волков В.Г. Основы улучшения видимости в сложных условиях. М., ООО «Недра-Бизнесцентр», 1999 г.
2. 13. А.Ю.Шалин. Особенности спектрального состава приземной УФ радиации в г. Иркутске. Оптика атмосферы и океана. Т.15, № 11, 2002 г., с. 964-967.
3. М..А. Черниговская, А.В. Михалев, М.А. Тащилин. Пространственные и временные неоднородности полей эритемной ультрафиолетовой радиации над территорией России. Оптика атмосферы и океана. Т.11, № 1, 2004 г., с.81-84.
4. М.А. Колосов и др. Распространение ультрафиолетового излучения в земной атмосфере и возможности создания оптических линий связи в УФ диапазоне. Радиотехника и электроника. №8, 1976, с. 1595-1601.

Примечание. В первоначальном виде статья была опубликована в Трудах 7-й международной конференции «Прикладная оптика-2006», Россия, Санкт-Петербург, 16 – 20 октября 2006 г., стр. 168 – 173.