

بررسی رفتار توان خروجی لیزر موجبر CO₂ بر حسب پارامترهای فشار گاز و جریان تخلیه الکتریکی

سمیه مرتضوی^[۱]، سعید جوانی^[۲]، بتول سجاد^[۳]،
هدیه پاکیان^[۴]، محسن منتظرالقائم^[۵]، سعید امین نعیمی^[۶]

^[۱] گروه فیزیک، دانشگاه الزهراء (س)
^[۲] سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده لیزر و اپتیک
^[۳] گروه فیزیک، دانشگاه الزهراء (س)، bsajad@alzahra.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۴/۱۲
تاریخ تصویب: ۱۳۹۰/۱۱/۰۹

چکیده

در این مقاله رفتار توان خروجی لیزر موجبر گاز کربنیک پیوسته بر حسب پارامترهای موثر در عمل کرد لیزر بررسی شده است. تغییر توان خروجی لیزر بر حسب جریان تخلیه الکتریکی، فشار و نسبت آمیزه‌ی گازی در دو لوله با قطر یکسان 3 mm و طول‌های متفاوت 35 و 70 cm مطالعه و بهینه‌سازی شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، بیشینه مقادیر توان‌های خروجی حدود 6 و 14/5 W به ترتیب در فشارهای 78 و 50 mbar این لوله‌ها به دست آمده است.

واژه‌های کلیدی: لیزر موجبر CO₂، بهینه‌سازی توان.

مقدمه

اندازه‌های عرضی کوچک، کیفیت خیلی خوب مد، پهنای بهره‌ی افزایش یافته و کوک پذیرگی گسترده‌تر که با توجه به امکان اجرای لیزر در فشارهای بالا به دست آمده است، از ویژگی‌های برجسته لیزرهای موجبر CO₂ می‌باشند. هم‌چنین کوچکی قطر تشدیدگر لیزرهای موجبر، هدایت تابش از طریق دیواره‌های لوله لیزر را در پی داشته و تخلیه‌های الکتریکی پایدار در فشارهایی به بزرگی 300-50 Torr ایجاد شده است. پی‌آمد مهم عمل کرد لیزر CO₂ در فشارهای بالا، پهنای برخوردی بزرگ گذار لیزری است که گستره‌ی فرکانسی وسیع‌تری در این ناحیه را دسترس پذیر کرده است. با توجه به کوچک بودن پهنای بینایی لیزر نسبت به فاصله مدهای طولی، امکان نوسان تک مدی در این لیزر فراهم می‌گردد. لیزرهای موجبر CO₂ برای بیناب‌نگاری با قدرت تفکیک بالا، آشکارسازی

آلودگی‌ها، ارتباط‌های لیزری، تقویت‌کننده‌های توان نوار وسیع و نوسانگر محلی کوک پذیر استفاده شده‌اند. از سال ۱۹۷۲ پژوهش‌هایی درباره‌ی روش‌های مختلف راه‌اندازی لیزرهای موجبر CO₂ و بهینه‌سازی شرایط اجرای آن انجام شده است. از جمله می‌توان به گزارش‌هایی اشاره کرد که به نحوه‌ی دمش لیزرهای موج پیوسته و یا تپی گاز کربنیک، بررسی نسبت E/P، بررسی پایداری خروجی، اندازه‌گیری گستره‌ی کوک و کاربردهای این نوع لیزر پرداخته است [۷-۱].

طراحی، ساخت و راه‌اندازی یک نمونه از این لیزر پیش‌تر گزارش شده است [۸]. در این مقاله، بهینه‌سازی یک لیزر موجبر پیوسته CO₂ برای نخستین بار گزارش شده است. رفتار توان خروجی لیزر بر حسب جریان تخلیه الکتریکی، نسبت آمیزه‌ی گازی و فشار عمل کرد لیزر در لوله‌های با طول‌های مختلف بررسی شده است. سپس سعی شده تا شرایط تجربی مورد نیاز برای به دست آوردن بیشینه‌ی توان خروجی در واحد طول لیزر اندازه‌گیری شود.

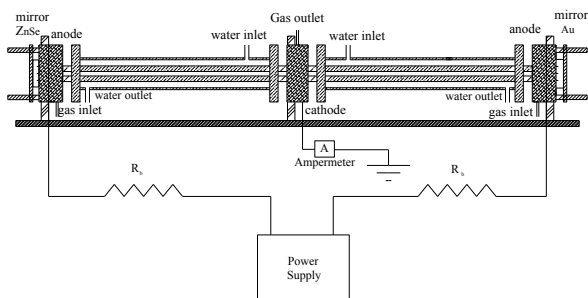
چیدمان آزمایشگاهی

طرح‌واره‌ای از چیدمان آزمایشگاهی در شکل (۱) نشان داده شده است. یک لوله استوانه‌ای پیرکس با قطر 3 mm و طول 70 cm به عنوان لوله‌ی لیزر به کار برده شده است. تخلیه الکتریکی DC طولی با استفاده از یک منبع تغذیه 20 KV با بیشینه جریان 500 mA ایجاد شده است. الکترودهای استوانه‌ای توخالی از جنس برنج انتخاب شده‌اند. این نوع الکترودها، تخلیه‌های الکتریکی پایدار را به وجود می‌آورند، از این رو در ساخت لیزرهای CO₂ به کار می‌روند. الکترو کاتد در مرکز لوله و آندها در دو انتهای آن قرار داده شده و شارش گاز از آندها به سمت کاتد در نظر گرفته شده است. این آرایه برای جلوگیری از بمباران آینه طلا با یون مثبت و تخریب آن و نیز کاهش ولتاژ کلی مورد نیاز تخلیه الکتریکی استفاده شده است [۹ و ۱۰]. به این ترتیب محیط فعال لیزر شامل دو ناحیه‌ی تخلیه الکتریکی با فاصله آند تا کاتد 35 cm می‌باشد که به طور سری قرار گرفته‌اند. مقاومت محافظ هر ناحیه 130 KΩ در نظر گرفته شده است.

برای خنک کردن گاز از جریان آب با دمای صفر درجه در پیرامون لوله لیزر استفاده شده است. هم‌چنین از یک سامانه‌ی خلا با قدرت 25 m³/h برای تخلیه و شارش گاز استفاده شده است. تشدیدگر نوری تخت-کروی شامل یک آینه‌ی طلا ۹۵٪ با شعاع انحنای 5 m و یک آینه‌ی تخت ZnSe 60٪ می‌باشد. ضریب جذب آینه‌های ZnSe در مقایسه با آینه‌های ژرمانیوم نسبت به دما نوسان کمتری دارد و از این رو بیش‌تر به عنوان آینه جلو و آینه طلا نیز به طور معمول به عنوان آینه بازتابنده کامل لیزرهای CO₂ استفاده شده‌اند. آینه طلا در فاصله 5 cm از انتهای موجبر قرار داده شده است. این فاصله باید تا آنجا که می‌شود کوچک باشد تا از اتلاف‌های تابشی در عبور از موجبر به فضای آزاد و بازگشت آن به موجبر جلوگیری شود [۹ و ۱۱].

یک توانسنج (Coherent, LM-P105FS HTD) و یک فشارسنج دست‌ساز برای اندازه‌گیری‌های

توان و فشار لیزر استفاده شده است. اندازه گیری جریان از طریق آمپرمتری که در مسیر الکتروود کاتد و زمین قرار دارد انجام شده است.

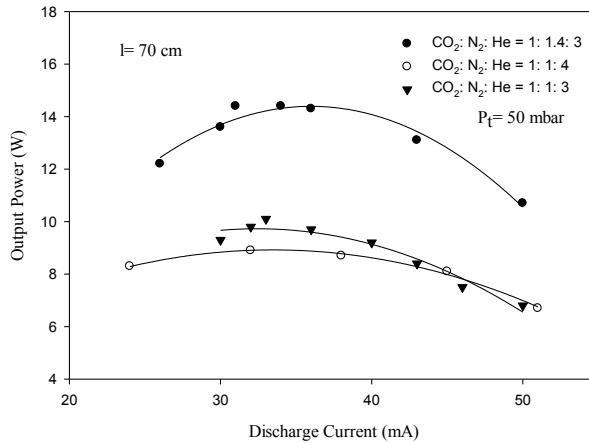


شکل ۱. طرح‌واره‌ای از چیدمان آزمایشگاهی لیزر موجبر CO_2

آزمایش‌ها و بررسی نتایج

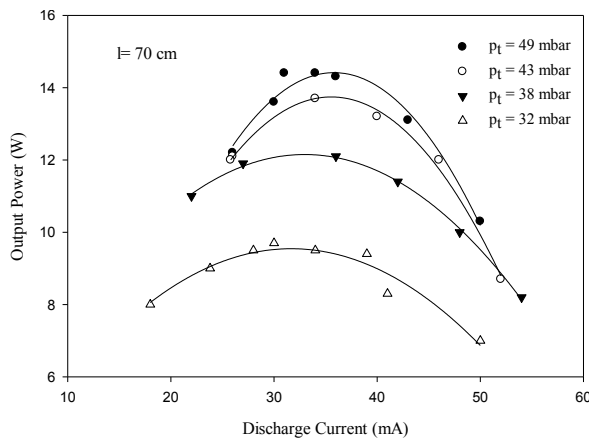
نخست رفتار توان خروجی لیزر بر حسب جریان تخلیه الکتریکی در آمیزه‌های گازی با نسبت‌های مختلف $\text{CO}_2: \text{N}_2: \text{He}$ بررسی شده است. نمونه‌ای از وابستگی توان خروجی لیزر به جریان تخلیه الکتریکی در سه نسبت آمیزه گازی مختلف و در فشار کل 50 mbar در شکل (۲) نشان داده شده است. همان طور که در شکل دیده می‌شود، در آمیزه‌ی گازی با نسبت ۱:۳:۱ توان بالاتری در مقایسه با نسبت ۱:۱:۴ همراه با افت سریع تر آن با افزایش جریان تخلیه الکتریکی، به دست آمده است. در حالی که با افزایش هلیوم در نسبت ۱:۱:۴ این منحنی هموارتر بوده و توان خروجی بستگی کمتری را به جریان تخلیه الکتریکی نشان داده است. آزمایش‌ها در چند فشار کل دیگر نیز نتیجه مشابهی را نشان داده است که با گزارش‌های دیگران نیز سازگار است [۱۲ و ۱۳]. از طرف دیگر افزایش نیتروژن توان خروجی لیزر را به میزان چشم‌گیری افزایش داده است. این امر از افزایش میزان انتقال‌های انرژی برانگیختگی مولکول‌های نیتروژن به گاز کربنیک ناشی می‌شود.

آزمایش‌های دیگری نیز برای به‌دست آوردن نسبت بهینه‌ی آمیزه گازی انجام شد. در نهایت، بیشینه‌ی توان خروجی $\sim 14/5 \text{ W}$ در نسبت بهینه $\text{CO}_2: \text{N}_2: \text{He} = 1: 1/4: 3$ اندازه‌گیری شده که برابر با توان در واحد طول $0/2 \text{ W/cm}$ و توان بر واحد حجم 3 W/cm^3 می‌باشد. این مقدار با توجه به محدودیت منبع تغذیه برای شکست گاز در فشارهای بالاتر محدود شده است. ولتاژهای به کار رفته در آزمایش‌ها همراه با تغییر جریان تخلیه الکتریکی، تغییر می‌کرد. حتی در آزمایش‌هایی هم که جریان ثابت بوده اما فشار تغییر می‌کرده، به دلیل تغییراتی که در مقاومت آمیزه‌ی گازهای لیزر با تغییر فشار به وجود می‌آید، ولتاژهای به کار رفته در فشارهای مختلف، متفاوت خواهند بود. ولتاژ عمل کرد لیزر در این آزمایش‌ها در گستره $8/3\text{-}11/3 \text{ KV}$ بوده است. دقت اندازه‌گیری‌های توان خروجی لیزر در این آزمایش‌ها نیز $\pm 0/1 \text{ W}$ بوده است.



شکل ۲. توان خروجی لیزر بر حسب جریان تخلیه الکتریکی برای فشار کل 50 mbar در نسبت‌های مختلف آمیزه گازی.

سپس رفتار توان خروجی لیزر بر حسب جریان الکتریکی در فشارهای کل مختلف و در آمیزه‌ی گازی با نسبت بهینه‌ی $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He} = 1:1/4:3$ ، بررسی شد. نتیجه‌ی این آزمایش‌ها در نمودارهای شکل (۳) نشان داده شده است.



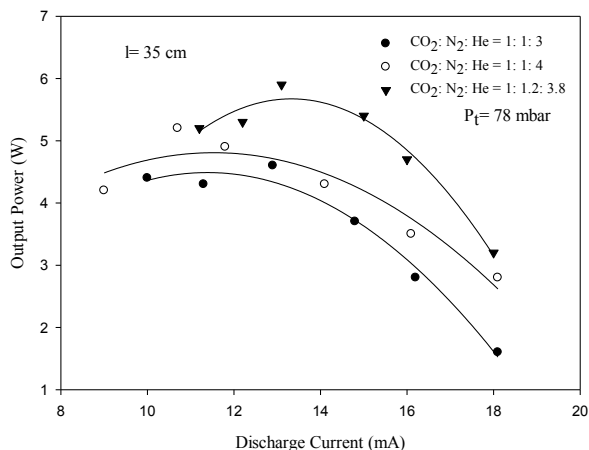
شکل ۳. توان خروجی بر حسب جریان تخلیه برای آمیزه‌ی گازی با نسبت $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He} = 1:1/4:3$ در فشارهای مختلف.

همان‌طور که از نمودارها پیداست در هر فشار ثابت، با افزایش جریان تخلیه الکتریکی، توان خروجی نخست افزایش می‌یابد. این امر ریشه در افزایش تعداد الکترون‌هایی دارد که منجر به برانگیختگی بیش‌تر مولکول‌های نیتروژن می‌شود، که خود با افزایش دمش بر خوردی مولکول‌های CO_2 ، وارونی جمعیت بیش‌تری را به دنبال دارد. پس از آن با افزایش بیش‌تر جریان تخلیه، در اثر برخورد های

کشسان الکترون‌ها با مولکول‌های گاز و گرم‌تر شدن آن جمعیت وارون کاهش یافته و افت توان خروجی مشاهده می‌شود. از این رو برای هر فشار می‌توان جریان بهینه‌ای را یافت که در آن بیشینه‌ی توان خروجی اندازه‌گیری شده است. نکته‌ی شایان توجه آن که با افزایش فشار کل آمیزه‌ی گازی، در حالی که بیشینه‌ی توان خروجی افزایش می‌یابد ولی جریان بهینه که در آن توان بیشینه به‌دست آمده است، تغییر چشم‌گیری نداشته است.

در مرحله‌ی بعد، به منظور بررسی اثر طول لوله لیزر بر توان خروجی، لوله‌ای با همان قطر 3 mm و با طول نصف درازای لوله‌ی پیشین، یعنی 35 cm به کار گرفته شده است. در این حالت با توجه به طول کوتاه‌تر تشدیدگر، منبع تغذیه برای شکست گاز در فشارهای بالا قابل استفاده بوده، بنابراین از طرح یک پارچه تخلیه الکتريکی لوله لیزر استفاده شده است که در آن هر یک از الکترودهای آند و کاتد در دو انتهای لوله‌ی لیزر قرار داده شده‌اند. ولتاژ کار لیزر برای آزمایش‌های انجام شده با این لوله 5-9 KV و مقاومت محافظ آن 260 KΩ در نظر گرفته شده است.

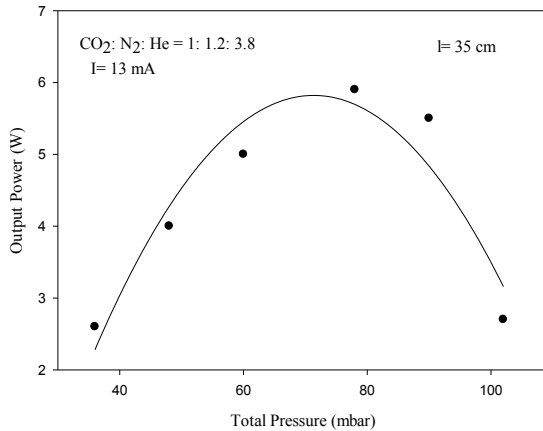
آزمایش‌ها برای لوله با طول کوتاه‌تر تکرار شد. وابستگی توان خروجی لیزر با جریان تخلیه در آمیزه‌های گازی با نسبت‌های ۱:۱:۳، ۱:۱:۴، و ۱:۲:۳/۸ در فشار کل 78 mbar در نمودارهای شکل (۴) نشان داده شده است، جریانی که توان خروجی بیشینه در آن به‌دست آمده در نسبت‌های با میزان هلیوم متفاوت تا حدی یکسان به‌دست آمده است. در حالی که با افزایش چگالی نیتروژن در مخلوط گازی، جریان بهینه افزایش یافته است. این آزمایش‌ها در چند فشار ورودی دیگر نیز انجام و نتایج مشابه مشاهده شده است.



شکل ۴. توان خروجی لیزر بر حسب جریان تخلیه الکتريکی در سه نسبت مختلف آمیزه گازی در لوله‌ی کوتاه‌تر.

در شکل (۵) نمودار تغییرات توان خروجی لیزر بر حسب فشار کل در نسبت بهینه‌ی آمیزه‌ی گازی، و در جریان ثابت 13 mA~ که توان خروجی بیشینه در آن به‌دست آمده بود، نشان

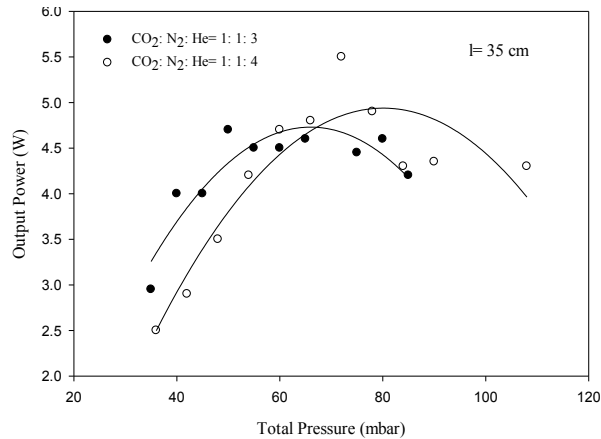
داده شده است. با این نسبت بهینه بیشینه توان خروجی حدود 6 W در فشاری تقریباً برابر 78 mbar به دست آمده است. در این مورد توان به ازای واحد طول و توان بر واحد حجم لوله لیزر به ترتیب برابر 0/17 W/cm و 2/5 W/cm³ به دست آمده است.



شکل ۵. تغییرات توان خروجی بر حسب فشار کل در نسبت بهینه آمیزه گازها در جریان ثابت 13 mA در لوله‌ی کوتاه‌تر.

تغییرات توان خروجی لیزر بر حسب فشار کل در آمیزه‌های گازی با نسبت‌های مختلف گاز هلیوم و نیز در جریان ثابت 12 mA بررسی شده است. نتایج این آزمایش‌ها در دو نسبت آمیزه گاز ۱:۱:۴ و ۱:۱:۳ (۶) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر دو نسبت با افزایش فشار گاز با توجه به افزایش جمعیت ماده فعال، توان خروجی لیزر ابتدا تا یک مقدار بیشینه افزایش و پس از آن با افزایش بیشتر فشار، به دلیل افزایش میزان واهلش‌های برخوردی، توان کاهش یافته است. با این حال مقادیر فشار بهینه‌ای که برای این دو نسبت به دست آمده‌اند متفاوت هستند. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که در حالی که بیشینه توان خروجی برای دو آمیزه تقریباً برابر بوده لیکن در نسبت با چگالی بیش‌تر هلیوم (۱:۱:۴)، عمل کرد لیزر در فشار بالاتری ممکن شده است. در این حالت افزایش گاز کمکی هلیوم سبب افزایش واهلش‌های مطلوب و کاهش جمعیت در تراز پایینی لیزر می‌شود که امکان عمل کرد لیزر در فشارهای بالاتر را فراهم آورده است. مقادیر فشار بهینه برای نسبت‌های ۱:۱:۳ و ۱:۱:۴ به ترتیب حدود 65 و 80 mbar برآورد شده که در آنها بیشینه‌ی توان خروجی برابر با 4/7 و 4/9 W به دست آمده است.

در نهایت در بهینه شرایط عمل کرد لیزر با طول‌های مختلف لوله 70 و 35 cm به ترتیب بیشینه توان‌های 14/5 و 6 W با بازدهی‌های ۵/۷٪ و ۴/۳٪ و پایداری‌های توان ± 2 و $\pm 0/5$ W حاصل شده است. بیناب خروجی این لیزر نیز همواره روی خط 10P(20) با طول موج 10/6 μ m پایدار بوده است و گسیل لیزر حتی با تغییرات جریان نیز پایداری همیشگی روی خط 10P(20) را نشان داده است.



شکل ۶. تغییرات توان خروجی بر حسب فشار کل در نسبت‌های با میزان هلیوم متفاوت در جریان ثابت 12 mA در لوله‌ی کوتاه‌تر.

با این وجود، زمان گذرایی پس از تغییر در جریان تخلیه الکتریکی وجود دارد که در خروجی لیزر خطوط دیگری غیر از 10P(20) مشاهده می‌شوند، که پس از این زمان کوتاه نیز دوباره خروجی لیزر بر روی این خط پایدار شده است [۱۴].

نتیجه‌گیری

بهینه‌سازی توان خروجی لیزر موجبر CO₂ بر حسب جریان تخلیه، آمیزه گازها و فشار ورودی در لوله‌های با طول‌های متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، در موجبرهای استوانه‌ای با قطر 3 mm و طول‌های 35 و 70 cm، بیشینه‌ی توان‌های خروجی به ترتیب 6 W و ۱۴/۵ W که برابر با توان‌های به ازای واحد طول 0/17 W/cm و 0/2 W/cm می‌باشد، حاصل شده است. افزایش چگالی گاز هلیوم در آمیزه‌ی گازی نیز، اجرای لیزر در فشارهای بالاتر را فراهم آورده است.

References

- [1] T.J. Bridge, et. al; Appl. Phys. Lett, Vol. 20, No. 10, (1972) 403.
- [2] G. Schafer, H. Hofman, and W.D. Peterson; IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol.QE-18, No. 1, (1982) 87.
- [3] R.L. Abrams and W.B. Bridges, IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol.QE-9, No. 9, (1973) 940.

- [4] S.V. Deshmukh and C. Rajagopalan; Pramana- Journal of Physics, Vol. 61, No. 6, (2003) 1101.
- [5] Smith P.W., P.J. Maloney, O.R. WoodII; Applied Physics letter; Vol. 31, No. 11, (2009) 738.
- [6] L. Boscolo, G. Brauti, A. Raino, V. Stagno; Optics Communications, 507, (1987) 35.
- [7] D.Q. Hall, R.M. Jenkins and E.K. Gorton; J. Phys. D: Appl. Phys, Vol. 11, (1978) 859.
- [۸] سعید امین نعیمی و همکاران، «طراحی و ساخت لیزر راهنمای موج گاز کربنیک»، مرکز تحقیقات هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران.
- [9] D. Crocker; J. Phys. E: Sci. Instrum. Vol. 14, (1981) 121.
- [10] A.E. Belyanko. et.al; Sov. J. Quantum Electron, 14(1). (1984).
- [11] S. Avriillier and J. Verdonck; J. Appl. Phys, Vol. 48, No. 12, (1977) 37-49.
- [12] Z. Kucerovsky and E. Brannen; Rev. Sci. Instrum, 54(9). (1983).
- [۱۳] سمیه مرتضوی، «طراحی و بهینه‌سازی یک لیزر موجبر گاز کربنیک»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه الزهراء(س)، ۱۳۸۸.
- [۱۴] سمیه مرتضوی، کاوه سیلاخوری، بتول سجاده، سعید جلوانی و همکاران، «بررسی تجربی اثر فشار گاز کمکی و جریان تخلیه الکتریکی بر توان خروجی و خطوط بینایی لیزر موجبر CO₂»، فصلنامه فیزیک اتمی- مولکولی، ۳۹، دانشگاه آزاد، ۱۳۸۸.