

بسم الله الرحمن الرحيم

واگرایی باریکه لیزر هلیم- نئون

نگارنده: حسین محمدی

شماره دانشجویی: ۹۶۱۰۱۰۳۵

استاد: دکتر صدیقی

دستیار آموزشی: خانم فرحی

۱. با استفاده از داده های گرفته شده در هر نقطه، شعاع باریکه ی لیزر را با استفاده از رابطه ۵ محاسبه کنید.

داده ها را برای Z های مختلف داریم، کاری که باید بکنیم این است که مکان تیغه یعنی X را وقتی که شدت ده درصد و نود درصد است بدست آوریم و در رابطه جاگذاری کنیم تا بتوان مقدار پهنا یا W را در آن Z مشخص شده، حساب کرد.

از روی دیتاها نگاه می کنیم و می بینم که :

در $z = 16 \text{ cm}$ ، توان کل برابر 2.195 میلی وات است که نود درصد آن برابر با 1.9755 میلی وات می شود و در $1 \text{ mm} = x_{9\%}$ به این توان می رسیم (از روی جدول می توان مشاهده کرد و حوالی این عدد را پیدا کرد) و ده درصد توان کل برابر با 0.2195 میلی وات است و در $x_{1\%} = 1.46 \text{ mm}$ به این توان دست پیدا می شود. توجه بفرمایید که چون در جدول دقیقا این مقدار وجود نداشت، سعی کردم با یک میانگین وزن دار به مقدار حقیقی $x_{1\%}$ نزدیک شوم. در جدول زیر برای Z های مختلف مقادیر X را یافته ام:

$z \text{ (cm)}$	Power(mW)	90% power	10% power	$x_{9\%}(\text{mm})$	$x_{1\%}(\text{mm})$
۱۶	۲.۱۹۵	۱.۹۷۵	۰.۲۱۹	۱	۱.۴۶
۳۲.۶	۲.۱۹۶	۱.۹۷۶	۰.۲۱۹	۱.۹۸	۲.۶
۵۳	۲.۱۹۶	۱.۹۷۶	۰.۲۱۹	۱.۷۵	۲.۵۴
۸۶	۲.۱۷۶	۱.۹۵۸	۰.۲۱۷	۲.۵۲	۳.۵
۱۷۷	۱.۷۱۳	۱.۵۴۲	۰.۱۷۱	۴.۱۵	۶.۲۳

حالا وقت جاگذاری است طبق رابطه ۵: $w(z) = 0.7803(x_{1\%} - x_{9\%})$

Z	$w(z)$
۱۶	۰.۳۵۹
۳۲.۶	۰.۴۸۴
۵۳	۰.۶۱۷
۸۶	۰.۷۶۵

۱۶۲۳	۱۷۷
------	-----

پس نتیجه را بدست آوردیم.

۲. با استفاده از رابطه ۳ واگرایی لیزر را محاسبه کنید. حال اندازه کمره باریکه را با استفاده از مقدار به دست آمده برای واگرایی باریکه بدست آورید.

رابطه ۳ یعنی $\theta = \tan^{-1} \left(\frac{w(z_2) - w(z_1)}{z_2 - z_1} \right)$ را استفاده می کنیم و برای هر جفت از اعداد بالا می توان واگرایی را حساب کرد. کاری که من کرده ام این است که با زوج های مختلف واگرایی را حساب کردم و میانگین گرفتم.

چند نمونه را ببینید:

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{0.484 - 0.359}{32.6 - 16} \right) = 0.00753 \text{ rad} = 1.35 \text{ deg}$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{1.623 - 0.617}{177 - 53} \right) = 0.00811 \text{ rad} = 1.46 \text{ deg}$$

با میانگین گرفتن روی هشت تا از این مقادیر به این مقدار برای واگرایی می رسم:

$$\theta_{ave} = 1.44 \text{ deg}$$

کمره باریکه یا همان $w.$ نیز این می شود: $w. = \frac{\lambda}{\pi \theta}$

توجه کنید که طول موج همان طول موج هماهنگ دوم لیزر $Nd:YAG$ است که ۵۳۲ نانومتر است پس کمره باریکه بدست می آید:

$$w. = 117.6 \text{ nm}$$

۳. در این مرحله اندازه شعاع باریکه را در هر نقطه با استفاده روش دوم (برازش منحنی به داده ها

ثبت شده) به دست آورید.

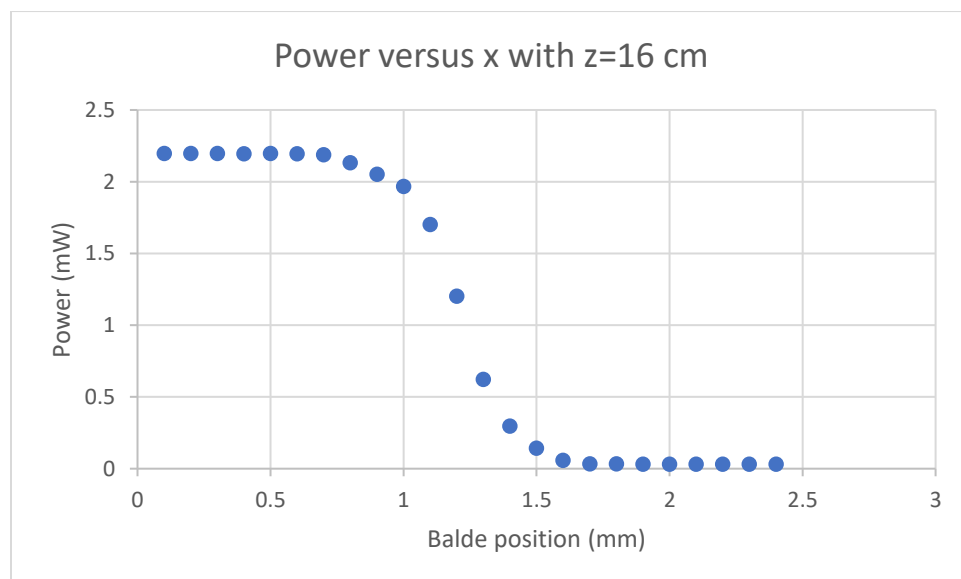
روش برازش منحنی بسیار جالب تر است،

اما منحنی معرفی شده در گزارش کار به شکل $f(x) = 1 - 2\text{erf}\left(\frac{\sqrt{2}\Delta x}{w(z)}\right)$ است و متأسفانه در توابع استاندارد اکسل چنین منحنی ای را نمی توان بر یک سری داده برازش کرد، اما روشی وجود دارد که می توان هر منحنی دلخواهی را در اکسل بر داده های برازش کرد (روش کمینه مربعات) ، به لینک زیر رجوع کنید که این روش را توضیح داده است:

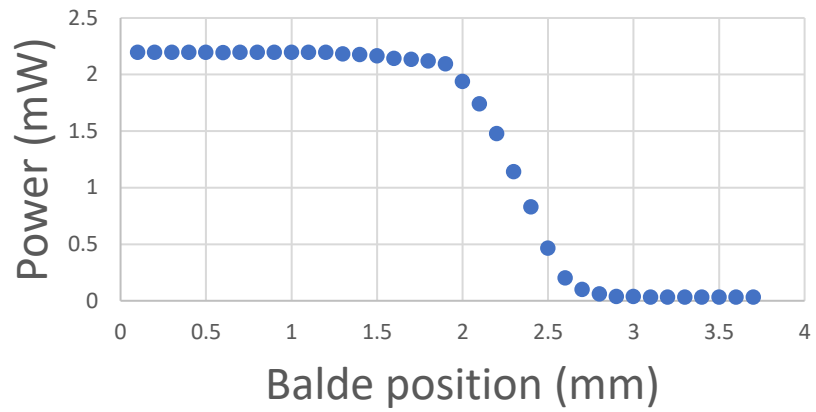
(این روش مبتنی بر حدس زدن یک مقدار اولیه برای پارامتر های آزاد است که با جاگذاری خطای آن را می دهد و می توان دید که به ازای w نزدیک به w ای که در قسمت های قبلی تمرین بدست آوردیم، می توان خطا را کمینه کرد.)

<https://jkp-ads.com/Articles/leastquares.asp>

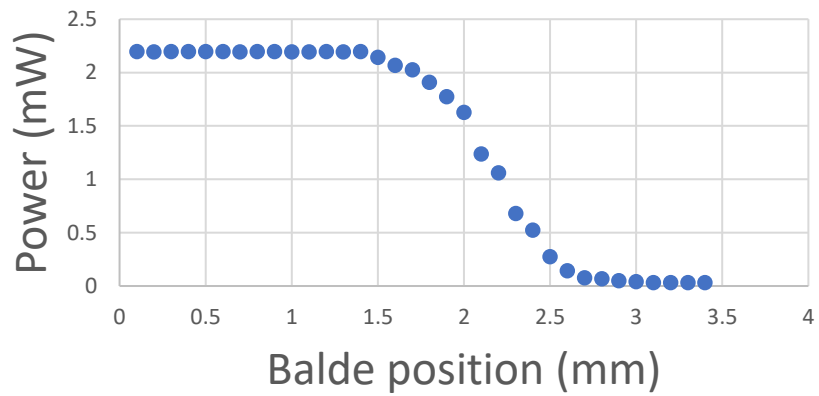
و حالا نمودار ها را می کشیم و سعی می کنیم که با روش بالا اقدام به محاسبه کردن شعاع باریکه کنیم.

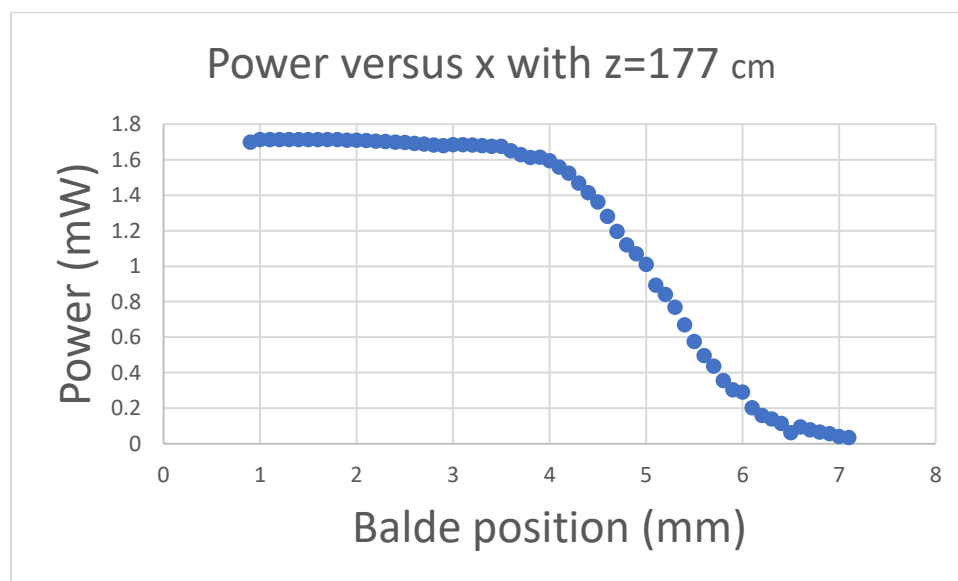
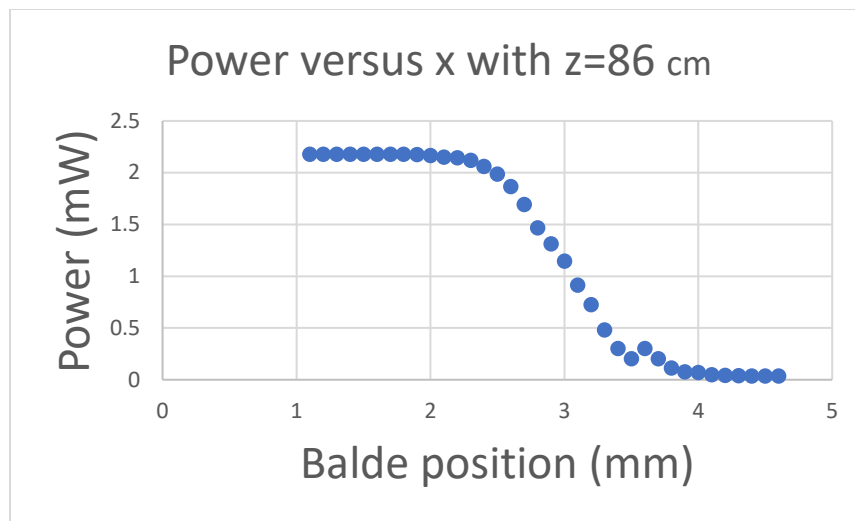


Power versus x with $z=32.6$ cm



Power versus x with $z=53$ cm





با کمک روش معرفی شده در بالا مقادیر زیر را برای پهنای باریکه بدست می آوریم:

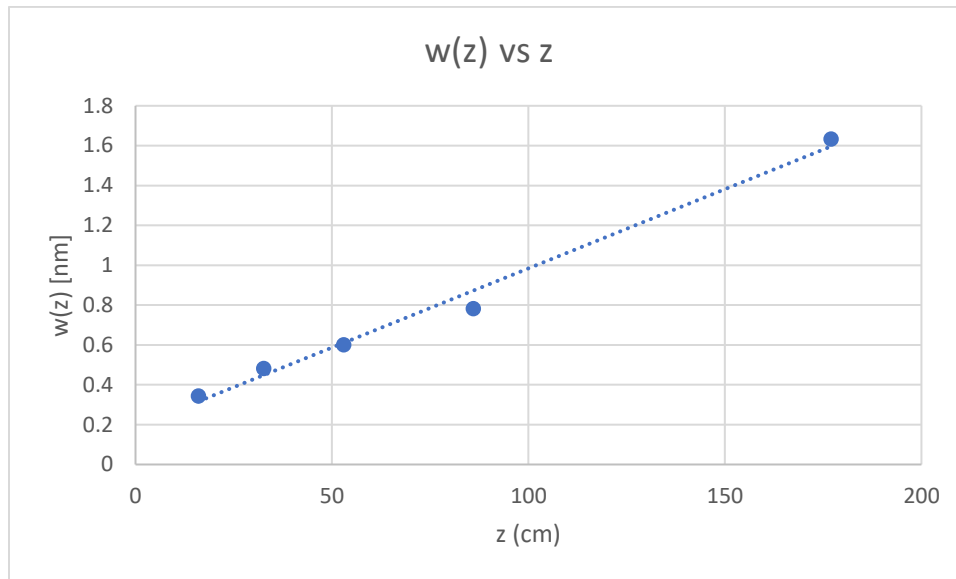
z [cm]	$w(z)$ [nm]
۱۶	۰.۳۴۴
۳۲.۶	۰.۴۸۲
۵۳	۰.۶۰۱
۸۶	۰.۷۸۳
۱۷۷	۱.۶۳۴

۴. با برازش یک منحنی بر داده های $w(z)$ بر حسب z ، اندازه و مکان کمره باریکه یعنی $w.$ را بدست آورید.

ایندفعه هم باید منحنی برازش کنیم ولی خوشبختانه در اکسل امکان فیت کردن هذلولی به فرم

$g(x) = A\sqrt{1 + (\frac{x}{B})^2}$ وجود دارد و با ورود داده ها، به سادگی می توانیم کمره باریکه را محاسبه کنیم.

ابتدا نمودار را ببینید:



مقدار عرض از مبدا این هذلولی در شکل بالا برابر با ۱۸۹ واحد بدست می آید، که این همان کمره باریکه است، توجه کنید که برای بدست آوردن این عدد بایستی داده ها را *rescale* کنیم تا واحد z هم از سانتی متر به نانومتر تبدیل شود یا بالعکس پس بدست آوریم:

$$w. = 189 \text{ nm}$$

و این محاسبه طول رایلی را بدست می دهد:

$$z. = 89.341 \text{ nm}$$

۵. واگرایی لیزر را محاسبه و با مقدار قبلی مقایسه کنید.

به سادگی داریم:

$$\theta = \frac{\lambda}{\pi w} = 0.935 \text{ deg}$$

و می بینم که این روش واگرایی را کمتر می دهد، به گمانم این اختلاف خطا به خاطر تقریب هایی است که در تابع خطا در رابطه ۴ زده ایم و به گمانم این محاسبه برای واگرایی لیزر دقیق تر است.

۶. کمره باریکه چه ارتباطی با واگرایی لیزر دارد؟

رابطه معکوس همانطور که در $\theta = \frac{\lambda}{\pi w}$ هم دیده می شود.

۷. برای اینکه طول ناحیه کانفوکال بیشتر شود چه کاری میتوان انجام داد؟

ناحیه کانفوکال مستطیلی به طول و عرض $2Z_R$ و $2w$ است و برای افزایش طول این ناحیه باید مطابق رابطه $Z_R = \frac{\pi w^2}{\lambda}$ باید تا حد امکان از طول موج های پایین تری استفاده کنیم یا از پالس با پهنای بیشتر استفاده شود. اما بیایید رابطه $\theta = \frac{\lambda}{\pi w}$ را جاگذاری کنیم تا نسبت طول ناحیه کانفوکال با واگرایی روشن شود که به دست می آید: $Z_R = \frac{\lambda}{\pi \theta^2}$ ، پس استفاده از لیزر با واگرایی کمتر، طول ناحیه کانفوکال را افزایش می دهد.