

بسم الله الرحمن الرحيم

گزارش کار آزمایشگاه اپتیک – دکتر مهدوی

گروه دوم – چهارشنبه از ساعت ۱۳:۳۰ الی ۱۷:۳۰

تاریخ انجام آزمایش : ۱۳ اسفند سال ۱۳۹۹

آزمایش دوم

اندازه گیری طول موج با استفاده از منحنی پاشندگی نوری

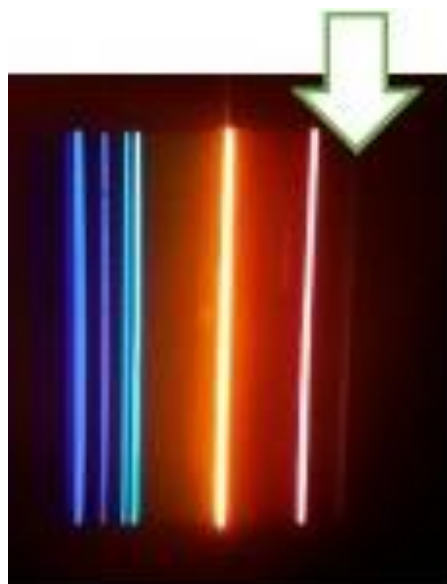
حسین محمدی

۹۶۱۰۱۰۳۵

ابتدا داده های این آزمایش را که در جدول مرتب شده است می بینیم:

جدول ۱-۲: جدول پراش طیف اتم هلیوم از توری در مرتبه اول

	α			حقیقی	اندازه گیری شده	
رنگها ^۱	تنظیم اول	تنظیم دوم	تنظیم سوم	λ (آنسگتروم)	λ (آنسگتروم)	متوسط α
آبی آسمانی	۲۰ ۲۴'	۲۰ ۲۳'	۲۰ ۲۴'	۴۴۷۱.۴۸	۴۲۴۳.۹	۲/۴۰°
آبی مایل به بنفش	۲۰ ۲۹'	۲۰ ۳۰'	۲۰ ۲۹'	۴۷۱۳.۱۴	۴۴۱۴.۰	۲/۴۹°
فیروزه ای	۲۰ ۳۵'	۲۰ ۳۷'	۲۰ ۳۵'	۴۹۲۱.۹۳	۴۶۰۸.۹	۲/۶۰°
آبی بسیار روشن	۲۰ ۴۱'	۲۰ ۴۱'	۲۰ ۴۰'	۵۰۱۵.۶۷	۴۷۳۲.۹	۲/۶۷°
زرد مایل به نارنجی	۳۰ ۹'	۳۰ ۱۱'	۳۰ ۹'	۵۸۷۵.۶۲	۵۶۰۰.۶	۳/۱۶°
قرمز	۳۰ ۳۶'	۳۰ ۳۵'	۳۰ ۳۷'	۶۶۷۸.۱۵	۶۳۷۹.۵	۳/۶۰°
رنگ مجهول ^۲	۳۰ ۴۸'	۳۰ ۴۸'	۳۰ ۴۹'	؟	۶۷۵۱.۱	۳/۸۱°



تصویر ۱: طیف اتم هلیوم و رنگهای هر طول موج

^۱ از آنجایی که من نام دقیق رنگها را به خوبی نمی شناسم عکسی را اینجا آورده ام که رنگها را ببینید و منظور من را متوجه شوید.
^۲ در تصویر شماره یک، رنگ مجهول با فلش نشان داده شده است.

جدول ۲-۲: جدول پراش طیف اتم هلیوم از توری در مرتبه دوم

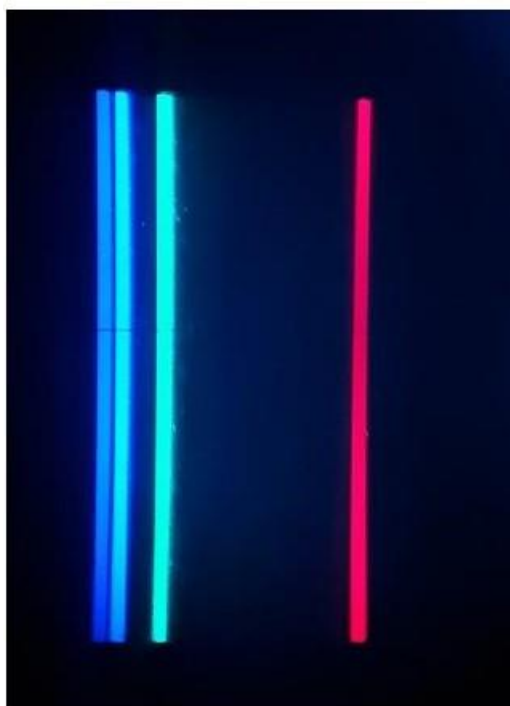
	α			حقیقی	اندازه گیری شده	
رنگها	تنظیم اول	تنظیم دوم	تنظیم سوم	λ (آنسگتروم)	λ (آنسگتروم)	متوسط α
آبی آسمانی	۴° ۵۹'	۵°	۴° ۵۹'	۴۴۷۱.۴۸	۴۴۱۸.۷	۴/۹۹°
آبی مایل به بنفش	۵° ۱۳'	۵° ۱۵'	۵° ۱۴'	۴۷۱۳.۱۴	۴۶۳۰.۶	۵/۲۳°
فیروزه ای	۵° ۳۰'	۵° ۲۸'	۵° ۳۰'	۴۹۲۱.۹۳	۴۸۶۰.۱	۵/۴۹°
آبی بسیار روشن	۵° ۳۴'	۵° ۳۷'	۵° ۳۷'	۵۰۱۵.۶۷	۴۹۵۷.۲	۵/۶°
زرد مایل به نارنجی	۶° ۳۳'	۶° ۳۵'	۶° ۳۸'	۵۸۷۵.۶۲	۵۸۲۱.۲	۶/۵۸°
قرمز	۷° ۲۹'	۷° ۲۸'	۷° ۳۰'	۶۶۷۸.۱۵	۶۶۱۳.۱	۷/۴۸°

جدول ۲-۳: جدول پراش طیف اتم هلیوم از توری در مرتبه سوم

	α			حقیقی	اندازه گیری شده	
رنگها	تنظیم اول	تنظیم دوم	تنظیم سوم	λ (آنسگتروم)	λ (آنسگتروم)	متوسط α
آبی آسمانی	۷° ۳۴'	۷° ۳۵'	۷° ۳۳'	۴۴۷۱.۴۸	۴۴۶۱.۵	۷/۵۷°
آبی مایل به بنفش	۷° ۵۹'	۷° ۵۸'	۷° ۵۹'	۴۷۱۳.۱۴	۴۶۹۵.۸	۷/۹۷°
فیروزه ای	۸° ۱۸'	۸° ۲۱'	۸° ۲۱'	۴۹۲۱.۹۳	۴۹۰۶.۴	۸/۳۳°
آبی بسیار روشن	۸° ۳۰'	۸° ۲۹'	۸° ۳۰'	۵۰۱۵.۶۷	۵۰۰۰.۰	۸/ ۴۹°
زرد مایل به نارنجی	۹° ۵۹'	۹° ۵۹'	۱۰°	۵۸۷۵.۶۲	۵۸۷۵.۱	۹/۹۹°
قرمز	۱۱° ۲۱'	۱۱° ۲۱'	۱۱° ۲۳'	۶۶۷۸.۱۵	۶۶۷۶.۶	۱۱/ ۳۷°

جدول ۲-۴: جدول پراش طیف اتم کادمیم از توری در مرتبه اول

	α			حقیقی	اندازه گیری شده با رابطه توری پراش	اندازه گیری شده با برون یابی خطی	
رنگها ^۳	تنظیم اول	تنظیم دوم	تنظیم سوم	λ (آنسگتروم)	λ (آنسگتروم)	λ (آنسگتروم)	متوسط α
آبی پررنگ	۲۰ ۳۰'	۲۰ ۳۰'	۲۰ ۳۰'	۴۶۷۸.۱۶	۴۴۳۱.۷	۴۴۳۱.۷	۲/۵۰°
فیروزه ای روشن	۲۰ ۴۵'	۲۰ ۴۶'	۲۰ ۴۵'	۵۰۸۵.۸۲	۴۸۹۲.۳	۴۸۹۲.۳	۲/۷۶°



تصویر ۲: طیف اتم کادمیم و رنگهای هر طول موج

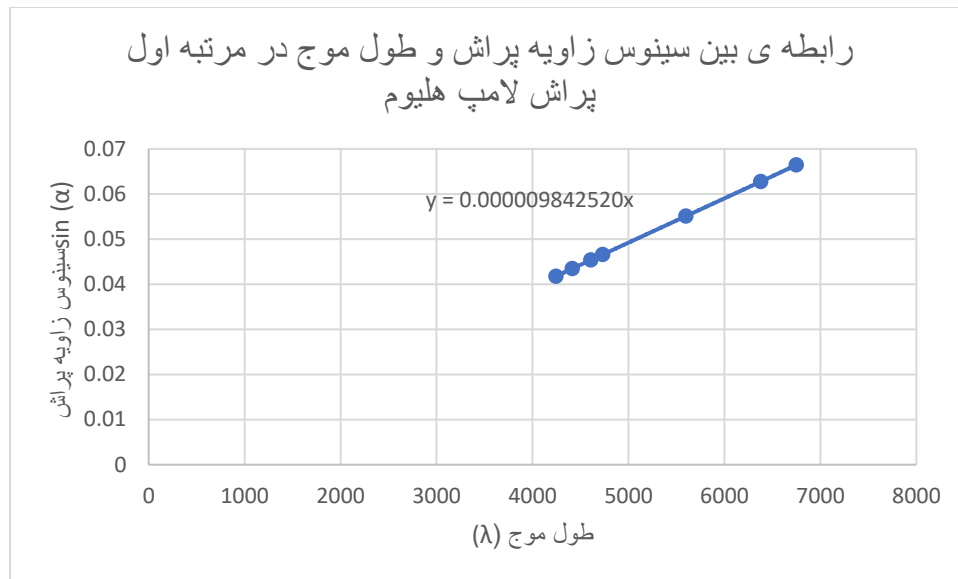
حالا خواسته های دستور کار را یک به یک بررسی می کنیم:

اولا نمودار های سینوس زاویه پراش بر حسب طول موج را در مرتبه های مختلف برای لامپ هلیوم می بینیم:^۴

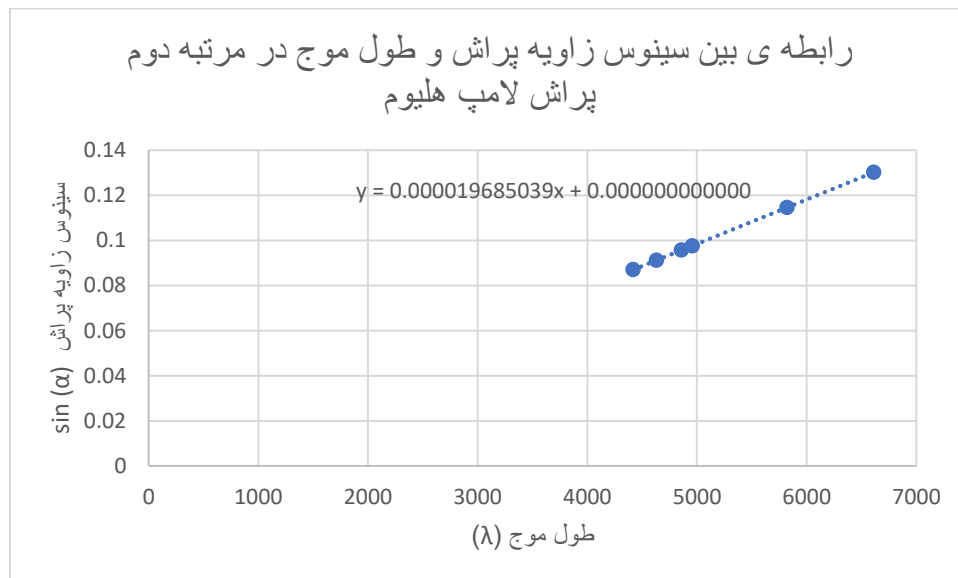
^۳ در تصویر ۲، منظور از این خط ها، خط های اول و سوم از سمت چپ هستند.

^۴ توجه کنید که در مرتبه اول چون زوایای پراش کوچک اند می توان از تقریب $\sin x = x$ استفاده کرد ولی برای مراتب بعدی باید سینوس زاویه پراش را بر حسب طول موج رسم کرد تا کار دقیق تر باشد.

نمودار ۱-۲: گراف سینوس زاویه پراش بر حسب طول موج در مرتبه اول پراش لامپ هلیوم

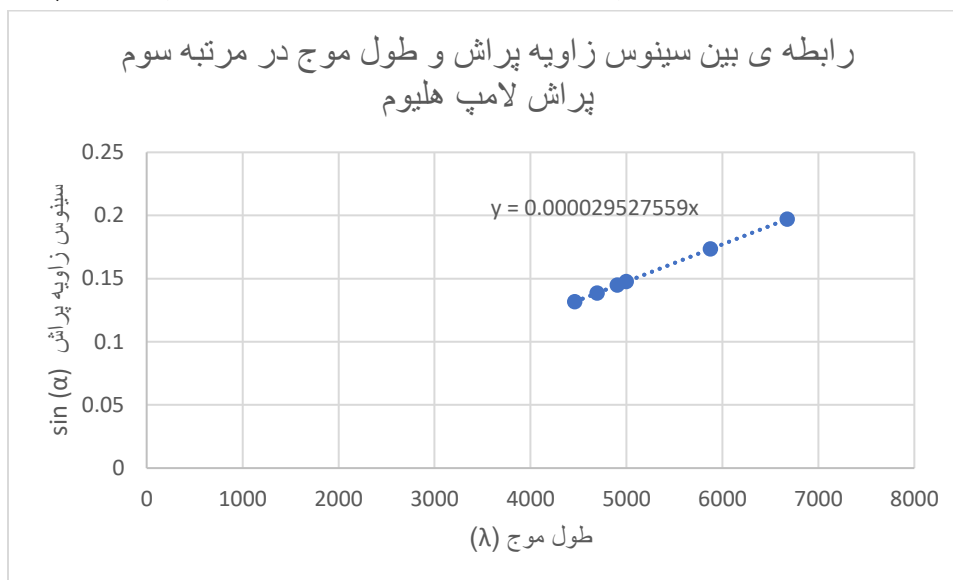


نمودار ۲-۲: گراف سینوس زاویه پراش بر حسب طول موج در مرتبه دوم پراش لامپ هلیوم



مشاهده می کنیم که این نمودارها دارای عرض از مبدا صفر هستند، در نمودار ۲-۲ عرض از مطابق محاسبات برابر با 10^{-17} بود که قابل اغماض است. یادمان هست که در رابطه پراش یعنی $a(\sin \alpha - \sin i) = k \lambda$ ، عنصری که عرض از مبدا ناصفر می داد همان زاویه ی تابش بود که این نمودارها تایید می کنند که زاویه ی پراش تا حد خیلی خیلی خوبی برابر با صفر است.

نمودار ۲-۳: گراف سینوس زاویه پراش بر حسب طول موج در مرتبه سوم پراش لامپ هلیوم



محاسبه خطا در زاویه تابش و پراش

وقتی چندین داده داریم و قصد داریم خطای آماری یا کاتوره ای آنها را بدست آوریم

برای بدست آوردن خطای کاتوره ای یک سری از داده ها از رابطه ی زیر استفاده می کنیم:

$$\Delta\alpha = \frac{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}}{\sqrt{N}}$$

که در آن N تعداد داده ها است و x_i ها داده های ما هستند و منظور از \bar{x} میانگین داده ها است.

با کمک این رابطه خطای کاتوره ای زوایا پراش را بدست می آوریم.^۵

اینجا جدول ها را می آورم:

توجه کنید که زوایای اندازه گیری شده در جداول بالا را به درجه تبدیل کرده ام و سپس به محاسبه خطا پرداخته ام.

^۵ در سربرگ دوم فایل اکسل به نام Errors ، خطای تمامی زوایای پراش را محاسبه کرده ام.

جدول ۲-۴: خطای اندازه گیری زاویه ی پراش در آزمایش پراش مرتبه اول لامپ هلیوم

خطا به کمک رابطه معرفی شده در گزارش کار	دفعه سوم	دفعه دوم	دفعه اول
۰,۰۰۷۸۵۶۷۴۲	۲,۴	۲,۳۸۳۳۳۳	۲,۴
۰,۰۰۷۸۵۶۷۴۲	۲,۴۸۳۳۳۳	۲,۵	۲,۴۸۳۳۳۳
۰,۰۱۵۷۱۳۴۸۴	۲,۵۸۳۳۳۳	۲,۶۱۶۶۶۷	۲,۵۸۳۳۳۳
۰,۰۰۷۸۵۶۷۴۲	۲,۶۶۶۶۶۷	۲,۶۸۳۳۳۳	۲,۶۸۳۳۳۳
۰,۰۱۵۷۱۳۴۸۴	۳,۱۵	۳,۱۸۳۳۳۳	۳,۱۵
۰,۰۱۳۶۰۸۲۷۶	۳,۶۱۶۶۶۷	۳,۵۸۳۳۳۳	۳,۶
۰,۰۰۷۸۵۶۷۴۲	۳,۸۱۶۶۶۷	۳,۸	۳,۸

جدول ۲-۵: خطای اندازه گیری زاویه ی پراش در آزمایش پراش مرتبه دوم لامپ هلیوم

خطا به کمک رابطه معرفی شده در گزارش کار	دفعه سوم	دفعه دوم	دفعه اول
۰,۰۰۷۸۵۶۷۴۲	۴,۹۸۳۳۳۳	۵	۴,۹۸۳۳۳۳
۰,۰۱۳۶۰۸۲۷۶	۵,۲۳۳۳۳۳	۵,۲۵	۵,۲۱۶۶۶۷
۰,۰۱۵۷۱۳۴۸۴	۵,۵	۵,۶۶۶۶۶۷	۵,۵
۰,۰۲۳۵۷۰۲۲۶	۵,۶۱۶۶۶۷	۵,۶۱۶۶۶۷	۵,۵۶۶۶۶۷
۰,۰۳۴۲۴۶۷۴۴	۶,۶۳۳۳۳۳	۶,۵۸۳۳۳۳	۶,۵۵
۰,۰۱۳۶۰۸۲۷۶	۷,۵	۷,۴۶۶۶۶۷	۷,۴۸۳۳۳۳

جدول ۲-۶: خطای اندازه گیری زاویه ی پراش در آزمایش پراش سوم لامپ هلیوم

خطا به کمک رابطه معرفی شده در گزارش کار	دفعه سوم	دفعه دوم	دفعه اول
۰,۰۱۳۶۰۸۲۷۶	۷,۵۵	۷,۵۸۳۳۳۳	۷,۵۶۶۶۶۷
۰,۰۰۷۸۵۶۷۴۲	۷,۹۸۳۳۳۳	۷,۹۶۶۶۶۷	۷,۹۸۳۳۳۳
۰,۰۲۳۵۷۰۲۲۶	۸,۳۵	۸,۳۵	۸,۳
۰,۰۰۷۸۵۶۷۴۲	۸,۵	۸,۴۸۳۳۳۳	۸,۵
۰,۰۰۷۸۵۶۷۴۲	۱۰	۹,۹۸۳۳۳۳	۹,۹۸۳۳۳۳
۰,۰۱۵۷۱۳۴۸۴	۱۱,۳۸۳۳۳	۱۱,۳۵	۱۱,۳۵

و می بینیم که در اکثر موارد خطای کاتوره ای از دقت اندازه گیری وسیله یعنی یک درجه کمتر است پس اندازه گیری های خوبی انجام داده ایم.

ضمناً در این سوال خواسته شده که خطای زاویه ی تابش را به دست بیاوریم، اما ما در این آزمایش ها، زاویه ی تابش را صفر لحاظ کردیم و داده ای برای زاویه ی تابش نداریم (یعنی در هنگام محاسبه ی زاویه ی پراش، زاویه ی تابش را اندازه نگرفتیم) پس خطای کاتوره ای را نمی توان به دست آورد.

ولی می توان به صورت سردستی گفت که چون دقت زاویه سنجی ما در حد دقیقه بوده است، پس دقت عمود بودن پرتو های نور از موازی ساز بر توری پراش (یعنی دقت زاویه تابش) هم برابر با یک دقیقه است. (توجه شود که این دقت برای هر طول موج یکسان است چرا که نورهای موجود در طیف قبل از برخورد با توری پراش، بردار موج یکسانی دارند).

آزمایش سوم: تعیین طول موج های لامپ کادمیم

خب ابتدا می خواهیم با کمک منحنی شماره ی ۱-۲ به طول موج های طیف لامپ کادمیم را حساب کنیم: معلوم است که بایستی زاویه ی پراش خوانده شده را در رابطه خط جاگذاری کنیم تا طول موج حاصل شود.

$$\sin(2.5) = 0.000009842520 \times \lambda_1 \longrightarrow \lambda_1 = 4431.72 \text{ \AA}$$

$$\sin(2.76) = 0.000009842520 \times \lambda_2 \longrightarrow \lambda_2 = 4892.29 \text{ \AA}$$

و با استفاده از رابطه ی توری پراش هم طول موج ها را حساب کردیم که در جدول ۲-۴ آمده و نتایج دقیقا مشابه بالا است.

جدول ۲-۴-۲: طول موج لامپ کادمیم که با رابطه پراش حاصل شده است.

λ_1	۴۴۳۱.۷
λ_2	۴۸۹۲.۳

نتیجه ی این دو روش دقیقا مشابه هم است و این خیلی هم عجیب نیست؛ چرا که برای به دست آوردن طول موج از دو روش دقیقا از یک رابطه استفاده کرده ایم و آن رابطه پراش است؛ توجه کنید که در روش بالا (یعنی برون یابی خطی) دقیقا داریم از رابطه ی پراش استفاده می کنیم یعنی رابطه طول موج بر حسب زاویه ی پراش.

محاسبه خطا:

خطای مربوط به زاویه ی پراش را در فایل اکسل محاسبه کرده ام و نتیجه را اینجا می آورم:

جدول ۲-۷: خطای اندازه گیری زاویه ی پراش در آزمایش پراش مرتبه اول لامپ کادمیم

خطا به کمک رابطه معرفی شده در گزارش کار	دفعه سوم	دفعه دوم	دفعه اول
---	----------	----------	----------

۰	۲,۵	۲,۵	۲,۵
۰,۰۰۷۸۵۶۷۴۲	۲,۷۵	۲,۷۵	۲,۷۵

و توجه می کنید مطابق حرف هایی که در بالا زده ام؛ اینجا نیز از خطای آماری زاویه تابش نمی توان سخنی گفت ولی مطابق قبل می توان گفت دقت عمود بودن پرتوهای نور از موازی ساز بر توری پراش (یعنی دقت زاویه تابش) هم برابر با یک دقیقه است. (برای هر طول موج)

برای محاسبه خطای نسبی و درصد خطای نسبی، ابتدا از جزوه آ فیزیک ۱، روابط را می آورم.

۱-۳- خطای نسبی و درصد خطای نسبی

حال با دو تعریف جدید آشنا می شویم:

خطای نسبی (انحراف نسبی)

$$\frac{x-X}{X} \cong \frac{x-X}{x} = \frac{\varepsilon}{x}$$

درصد خطای نسبی (درصد انحراف)

$$100 \times \frac{\varepsilon}{x}$$

خطای یک کمیت = مقدار اندازه گیری شده - مقدار واقعی آن کمیت یعنی: $\varepsilon = x - X$

تصویر ۳: تعریف خطای نسبی و درصد خطای نسبی

و مطابق تعریف بالا:

$$\delta\lambda_1 = -0.052$$

$$\delta\lambda_2 = -0.030$$

و درصد خطای نسبی برابر با:

$$\delta\lambda_1 = -5.2\%$$

$$\delta\lambda_2 = -3.0\%$$

برای یافتن خطای طول موج از رابطه $a(\sin \alpha - \sin i) = k\lambda$ استفاده می کنیم و از رابطه ی خطای کمیت های وابسته از جزوه آزمایشگاه فیزیک یک استفاده می کنیم:

$$\delta\lambda = a\sqrt{(\delta\alpha \cos(\alpha))^2 + (\delta i \cos(i))^2}$$

در رابطه بالا، چون زاویه تابش تقریباً صفر است، مقدار کسینوس آن برابر یک می شود و مقدار خطای آن را مطابق گفته بالا برابر با یک دقیقه در نظر می گیریم (اما توجه کنید که در رابطه بالا باید خطاها را بر حسب رادیان جاگذاری کنیم پس یک دقیقه را باید به رادیان تبدیل کنیم که می شود $0.00029 = \frac{1}{60} \times \frac{\pi}{180}$).

$$\delta\lambda_1 = 29.5 A$$

$$\delta\lambda_2 = 800 A$$

توجه کنید که خطای اول نادرست نیست، بلکه به این خاطر است که من زاویه ی پراش هر سه اندازه گیری را برابر به دست آوردم، شاید کمی عجیب به نظر برسد ولی به این خاطر که تصاویر این سه اندازه گیری کمی من را سردرگم کردند، من آخر سر قانع شدم که تصاویر همگی زاویه ی ۲.۵ درجه را نشان می دهند. (شاید بتوان این را جزء خطاهای آزمایشگر دسته بندی کرد).

عوامل ایجاد خطای سیستماتیک و راه رفع آن ها:

- تنظیم نبودن دستگاه طیف سنج، صفحه مدرج و تنظیم نبودن ورنیه که راه رفع آن تنظیم مجدد آنهاست.
- صفر نکردن زاویه ی تابش در حد دقت آزمایشگاه؛ که البته این کار ذاتاً خطای سیستماتیک نیست ولی وقتی که موقع نوشته رابطه توری پراش، زاویه ی تابش را صفر در نظر بگیریم، باعث ایجاد خطا در محاسبات می شود.
- یک مشاهده دیگر که من داشتم این بود که هرچه به پراش های مرتبه بالاتر می رویم، طول موج ها دقیق و دقیقتر می شوند؛ شاید به این علت است که وقتی که زاویه بیشتر پراکنده می شود، خواندن مقدار آن به کمک دستگاه طیف سنج راحت تر است. (از روی شهود می گویم: «اگر اندازه دهانه یک زاویه کم باز باشد، سخت می شود آن را اندازه گرفت ولی وقتی که دهانه های آن را امتداد دهیم به راحتی می توان با دقت آزمایشگاه آن را اندازه گیری کرد»). فلذا شاید اندازه گیری های مرتبه اول ما به این خاطر چندان دقیق نباشند و خطای ما در محاسبه ی طول موج لامپ کادمیم زیاد است.