به نام خداوند جان و خرد

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

هدف آزمایش :

بررسی تابش جسم سیاه و بستگی آن به دما

تهیه و تنظیم گزارش :

* امیررضا حکیمی ۴۰۳۱۱۴۰۲

شکوه شریعتمداریان ۴۰۳۱۱۰۲۵

امیرمحمد عبداللّه پور ۴۰۳۱۱۰۳۲

تئوری کار :

در نیمه دوم قرن نوزدهم ، مطالعه تابش حرارتی یکی از مسائل بنیادی فیزیک کلاسیک بود که در مرز ترمودینامیک و الکترومغناطیس قرار داشت . گوستاو کیرشهف در سال‌های ۱۸۵۹ تا ۱۸۶۰ نشان داد که در حالت تعادل گرمایی ، نسبت توان گسیل به جذب برای هر جسم تنها تابعی از دما و طول موج است و به جنس ماده وابسته نیست. او برای توصیف این رفتار ، مفهوم «جسم سیاه» را معرفی کرد ؛ جسمی ایده‌آل که تمام تابش فرودی را جذب کرده و بیشترین توان تابشی ممکن را در یک دمای مشخص گسیل می‌کند . در عمل ، حفره‌های کوچک در کوره‌ها به‌عنوان تقریب جسم سیاه استفاده می‌شوند، زیرا تابش خروجی از دهانه آن‌ها بسیار نزدیک به تابش جسم سیاه است.

در ادامه، یوزف استفان در سال ۱۸۷۹ بر اساس داده‌های تجربی نشان داد که توان تابشی کل با توان چهارم دمای مطلق متناسب است و لودویگ بولتزمن این رابطه را از دیدگاه ترمودینامیکی اثبات کرد. این قانون به صورت تابش واحد سطح بیان می‌شود :

$$R = \sigma T^4$$

که در آن R توان تابشی واحد سطح، T دمای مطلق (کلوین) و σ ثابت استفان–بولتزمن برابر با $5.67\times10^{-8}\ \frac{W}{m^2.K^4}$ است. با این حال، این رابطه فقط توان کل تابش را توضیح می‌داد و اطلاعاتی درباره توزیع انرژی بر حسب طول موج ارائه نمی‌کرد. در اواخر قرن نوزدهم، با پیشرفت طیف‌سنجی، ویلهلم وین رابطه جابه‌جایی بیشینه طیف را ارائه کرد :

$$\lambda_{max}.T = b \quad , \quad b = 2.898\times10^{-3}\,mK$$

اما نظریه کلاسیک در توضیح کامل طیف تابش شکست خورد و قانون رایلی–جینز در ناحیه فرابنفش به واگرایی انرژی منجر شد که به «فاجعه فرابنفش» معروف است. این تناقض بنیادی در سال ۱۹۰۰ توسط ماکس پلانک حل شد. او فرض کرد انرژی نوسانگرهای الکترومغناطیسی فقط به صورت گسسته قابل تبادل است :

$$E = h\nu$$

بر اساس این فرض و استفاده از آمار بولتزمن، میانگین انرژی یک نوسانگر به دست می‌آید:

$$\overline{E} = \frac{h\frac{c}{\lambda}}{e^{\frac{h\frac{c}{\lambda}}{kT}} - 1}$$

و در نهایت قانون تابش پلانک برای چگالی انرژی تابشی به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$u(\lambda) = \frac{8\pi hc\lambda^{-5}}{e^{\frac{h\frac{c}{\lambda}}{kT}} - 1}$$

این رابطه پایه‌گذار فیزیک کوانتومی شد و نشان داد که انرژی تابش ماهیت گسسته دارد.

شرح آزمایش :

این آزمایش بررسی تجربی رابطه $R = \sigma T^4$ و تایید وابستگی توان تابشی به دمای مطلق است، برای این منظور از یک کوره حرارتی مجهز به المنت داخلی استفاده می شود که به عنوان تقریب جسم سیاه یا جسم خاکستری عمل می‌کند، جسم خاکستری به جسمی گفته می‌شود که ضریب گسیلندگی آن کمتر از یک بوده اما در بازه وسیعی از طول موجها تقریبا ثابت در نظرگرفته می‌شود.

در طول آزمایش، ولتاژ و جریان ورودی به المنت کوره به صورت تدریجی و مرحله ای افزایش داده شد تا دمای سیستم به آرامی بالا رفته و در هر مرحله فرصت کافی برای رسیدن به حالت تعادل حرارتی فراهم شود، این کار از یجاد نوسانات شدید دما جلوگیری کرده و باعث افزایش دقت اندازه گیری‌ها می شود . در هر مرحله پس از پایدار شدن شرایط، دما، داخل کوره توسط ترموکوپل اندازه گیری می شود و تابش خروجی از دهانه کوره توسط آشکارساز ترموپیل ثبت می گردد .

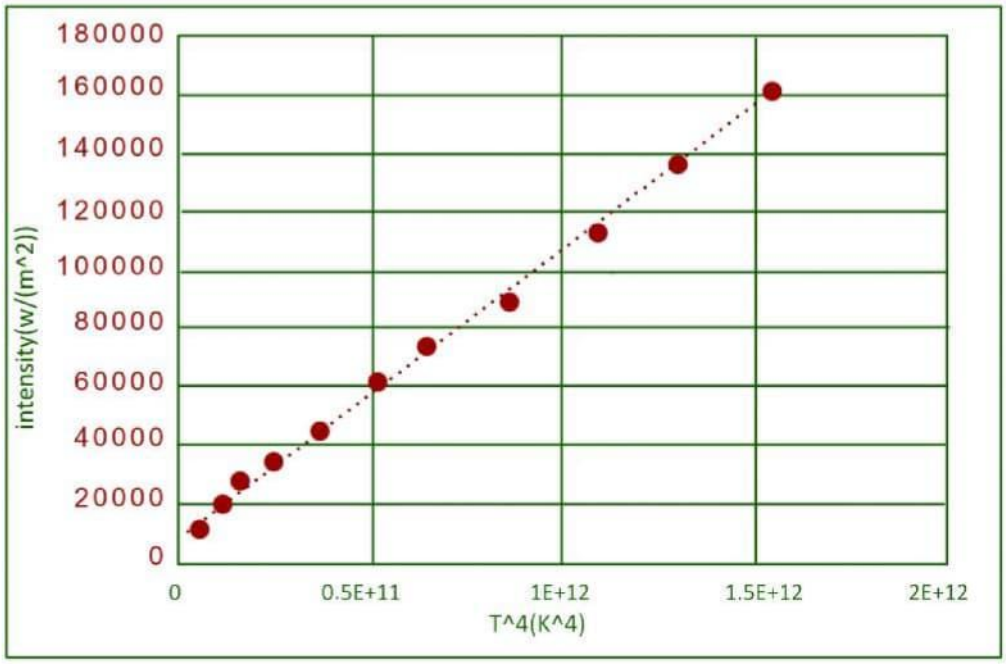
تابش خروجی از دهانه کوره پس از تنظیم دقیق توسط دیافراگم ، در راستای مستقیم به آشکارساز ترموپیل هدایت می شود . این هم‌راستاسازی برای جلوگیری از خطای زاویه‌ای و اطمینان از دریافت بیشترین شدت تابش انجام می شود. فاصله بین کوره و آشکارساز در تمام مراحل ثابت نگه می داریم تا تغییرات اندازه‌گیری تنها ناشی از تغییر دما باشد.

در هر مرحله از افزایش دمای کوره ، مقدار خروجی ترموپیل به عنوان نماینده شدت تابش ثبت می شود این مقدار با نماد R در نظر گرفته می‌شود . سپس دمای اندازه گیری شده از سلسیوس به کلوین از طریق رابطه ی زیر به دست می آید ؛

$$T_k = T_c + 273$$

سپس نمودار توان تابشی (R) بر حسب توان چهارم دما (T^4) رسم می کنیم .که انتظار می رود رابطه ی خطی زیر را داشته باشیم :

$$R = \sigma T^4$$



داده های به دست آمده را در جدول زیر قرار می دهیم :

I(A)	V(v)	R_T	T(K)	$\sigma(\frac{W}{K^4}) \times 10^{-7}$
0.2	0.44	1586.419	312	1.6741
0.4	0.88	2746.914	358.6	1.6611
0.6	1.32	5972.222	413.4	2.0488
0.9	1.48	10802.469	472.6	2.1654
1.2	1.64	20524.691	582	1.7889
1.5	1.80	27037.037	631	1.7054
1.7	2.24	34135.802	705	1.3818
2	2.28	45185.185	779	1.2270
2.2	2.40	61473.765	847	1.1944
2.4	2.44	73094.136	896	1.1340
2.6	2.51	88950.617	964	1.0300
2.7	2.64	112584.88	1023	1.0279
2.9	2.70	135462.96	1068	1.0412
3	2.78	161018.51	1116	1.0380

نظریه کوانتومی تابش جسم سیاه را توضیح دهید و همچنین ناتوانی فیزیک کلاسیک در توصیف جسم سیاه را شرح دهید.

تابش جسم سیاه یکی از مسائل مهمی بود که باعث شد فیزیک کلاسیک در توصیف پدیده های میکروسکوپی با مشکل جدی مواجه شود ، در چارچوب فیزیک کلاسیک و بر اساس نظریه الکترومغناطیس ماکسول به همراه اصل نقسیم مساوی انرژی ، فرض می شود هر مُد نوسانی میدان الکترومغناطیسی درون یک حفره در تعادل گرمایی دارای انرژی متوسط kT باشد ، با در نظر گرفتن تعداد مُدهای ممکن در بازه طول موجی ، نتیجه ای به نام قانون رایلی- جینز به دست می آید؛

$$u(\lambda) = 8\pi\lambda^{-4}kT$$

این رابطه در ناحیه طول موج های بلند با نتایج آزمایشگاهی هم خوانی دارد . اما در ناحیه فرابنفش پیش بینی می کند که چگالی انرژی به سمت بی نهایت افزایش پیدا کند، این نتیجه غیرواقعی که به (فاجعه فرابنفش)، معروف شد ، نشان داد که فرضیات فیزیک کلاسیک در این مسئله ناکافی هستند .

برای رفع این تناقض ، ماکس پلانک در سال ۱۹۰۰فرض جدیدی ارائه داد. او بیان کرد که انرژی نوسانگرهای الکترومغناطیسی نمی تواند به صورت پیوسته تغییر کند، بلکه فقط در بسته های گسسته ای به نام کوانتوم با مقدار،

$$E = h\nu$$

مبادله می‌شود ، با استفاده از این فرض و به کارگیری آمار بولتزمن ، پلانک توانست قانون صحیح تابش جسم سیاه را به دست آورد ؛

$$u(\lambda) = \frac{8\pi hc\lambda^{-5}}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

این رابطه با تمام داده های تجربی سازگار بود و مشکل فاجعه فرابنفش را برطرف کرد، در واقع، این نتیجه نشان داد که انرژی در مقیاس میکروسکوپی پیوسته نیست، بلکه به صورت گسسته تبادل می‌شود و همین موضوع پایه گذار شکل گیری فیزیک کوانتومی شد .