

طرح يك گرما سنج تابشی

دکتر عمادالدین فقاهاستی

گروه فیزیک دانشگاه تهران

چکیده

گرماسنجی ویژه تعیین پارامترهای اپتیکی مواد برای کاربردهای گرماتابشی، دارای دو محفظه مشابه برای نمونه های مورد مقایسه، طرح و ساخته شده است. ویژگیها، دیاگرام تبادل گرما میان نمونه ها و محفظه ها و محیط، و روش محاسبات مربوط شرح داده شده، و سنجش هائی بمنظور ارزیابی کارائی دستگاه انجام گرفته و نتایج ارائه شده است.

Design of a Radiation Calorimeter

Dr. Emad - eddin Feghahati

Physics Department, Teheran University

Abstract

A radiation calorimeter for measurement of optical properties, such as absorptivity and emissivity, of materials for the purpose of thermo - radiation process studies, has been designed and constructed. The apparatus consists of two similar cavities where two samples under comparison are held by glass rods. The cavities, with polished thick aluminum walls and convex glass covers, can be evacuated so that the heat transfer to and out of the samples is practically limited to radiation processes.

The particular design features are;

1. High thermal capacity of the cavity walls makes them to remain practically at room temperature during a measurement which normally takes a few minutes.
2. The samples are held in similar positions.
3. Irradiation is nearly uniform over the sample surface.
4. There is no heat transfer between the samples under comparison.

These features make the heat transfer diagram for the samples fairly simple, and accordingly the calculations are straightforward.

Test experiments carried out proved the convenience of the use of this calorimeter.

۱- مقدمه

در رابط با بهره‌برداری گرمائی از انرژی خورشیدی تاکنون مواد بسیاری بعنوان جذب کننده نور برای اندودن سطح گیرنده‌ها آزمایش شده، و تجسس در اینباره هنوز ادامه دارد. بدیهی است که اساسی‌ترین ویژگی برای ماده‌ای که باین منظور بکار می‌رود داشتن ضریب جذب بالا در ناحیه طیف خورشیدی است. یک ویژگی مطلوب دیگر کوچک بودن ضریب گسیل در ناحیه زیر سرخ است، که تشعشع ضعیف بوده و اتلاف انرژی از این راه کم باشد. در مسئله ایجاد سرما از راه تشعشع، برعکس مورد بالا، ضریب گسیل نزدیک بواحد در ناحیه زیر سرخ مطلوب است. علاوه بر دو پارامتر یادشده، اطلاعات در باره برخی دیگر از پارامترهای مربوط به مواد، مثلاً ضریب عبور یا ضریب بازتاب نیز اغلب در فنون گرما تابشی مورد نیاز می‌شود.

ماده‌ای که ویژگیهای اپتیکی آن برای ناحیه‌های مختلف طیف تابشی خیلی متفاوت باشد، در اصطلاح دانش و فن شناسی تابشها، ماده‌گزیننده نامیده می‌شود، و هدف از سنجش پارامترهای اپتیکی در بسیاری از موارد تعیین چنین گزینندگی است.

توسل به روش فیزیکی معمولی یا اسپکتروفوتومتری برای تعیین پارامترهای یاد شده مستلزم کاربرد وسائل آزمایشگاهی نسبتاً گران قیمت و کار طولانی است، در حالیکه، اطلاعات تفصیلی حاصل از آن چندان در فن شناسی گرغ تابشی ضروری نیست. اطلاعات لازم در این زمینه را میتوان با روش سریعتری از بررسی گرم شدن تکه فلزی که در معرض تابش طیف انتخاب شده قرار گرفته و چگونگی سرد شدن آن پس از قطع تابش نور، بدست آورد. چنین سنجش در یک گرماسنج تابشی انجام می‌گیرد. نوع متداول آن که بگرماسنج خورشیدی معروف است (Coulson, 1975; willart et al, 1978) محافظه‌ای است که در آن برای نمونه مورد آزمایش (معمولاً بصورت قرص) و یک نمونه شاهد (بصورت حلقه‌ای که دور نمونه اصلی قرار می‌گیرد) جاسازی شده، و بالای آنرا نیمکره‌ای شیشه‌ای پوشانده است. نمونه‌ها روی پایه‌های عایق قرار می‌گیرند و هوای محفظه تخلیه میشود تا جذب و دفع انرژی عملاً تنها از راه تابش صورت گیرد. تغییرات دمای نمونه‌ها و قسمت‌های مختلف دستگاه، توسط ترمو کوپل‌های مناسب اندازه‌گیری و ثبت می‌شود که از تحلیل آنها اطلاعات لازم بدست آید.

در این مقاله یک گرماسنج تابشی دارای دو محفظه جداگانه مشابه برای نمونه اصلی و شاهد، طرح و ساخته شده در گروه فیزیک دانشگاه تهران، معرفی شده است و ویژگیها، روش کاربرد و محاسبات مربوط مورد بحث قرار گرفته است.

۲- شرح دستگاه

تصویر دستگاه در شکل ۱ دیده می‌شود. هر یک از محفظه‌ها که بطور شمائی در شکل ۲ نشان داده شده، از آلومینیم صیقلی و بشکل استوانه‌ای است که قطر بیرونی، قطر درونی، ارتفاع و عمق آن بترتیب ۱۵، ۹، ۵ و ۳ سانتیمتر است، و بدلیل کلفتی زیاد دیواره دارای ظرفیت گرمائی زیاد می‌باشد. در هر محفظه سه عدد پایه شیشه‌ای نوک تیز برای قراردادن نمونه‌ها که ممکن است بشکل قرص، مربع یا هر شکل دیگری باشند، نصب شده است. سیم‌های یک ترموکول از داخل دیواره گذشته و نوک آن در حفره‌ای بعمق ۱/۵ میلی‌متر که در پشت هر نمونه ایجاد شده با آن در تماس قرار می‌گیرد. پتانسیل خروجی ترموکوپل‌ها پس از تقویت اندازه‌گیری می‌شوند و ممکن است به‌ثباتی داده شوند. یک شیشه ساعتی روی محفظه را می‌پوشاند و لبه آن بیک O رینگ کائوچوئی قرار می‌گیرد تغییرات دمای شیشه نیز توسط ترموکوپلی که به آن چسبانده می‌شود اندازه‌گیری می‌شود. دو محفظه توسط لوله‌ای بهم راه دارند و میتوان آنها را به یک پمپ تخلیه هوا متصل کرد. دستگاه را می‌توان حول دو محور افقی و عمودی چرخاند و آنرا رو بخورشید قرار داد. هرگاه اندازه نمونه‌ها کوچکتر از دهانه محفظه باشد، باقیمانده دهانه توسط یک ورقه آلومینیمی بدون تماس با نمونه پوشانده می‌شود تا از ورود نور خورشید بداخل محفظه زیر نمونه، جلوگیری شود.

ویژگیهای عمده این دستگاه عبارتند از:

۱- ظرفیت گرمائی زیاد محفظه‌ها و صیقلی بودن سطح آنها سبب می‌شود که در طی یک آزمایش که معمولاً چند دقیقه طول می‌کشد، دمای دیواره‌ها بیش از ۱/۱ تا ۲/۲ درجه تغییر نکند، یعنی دیواره‌ها عملاً در دمای محیط باقی می‌مانند.

۲- نمونه اصلی و شاهد در شرایط یکسان قرار می‌گیرند و در نتیجه مقایسه صحیح‌تر و آسانتر انجام می‌گیرد.

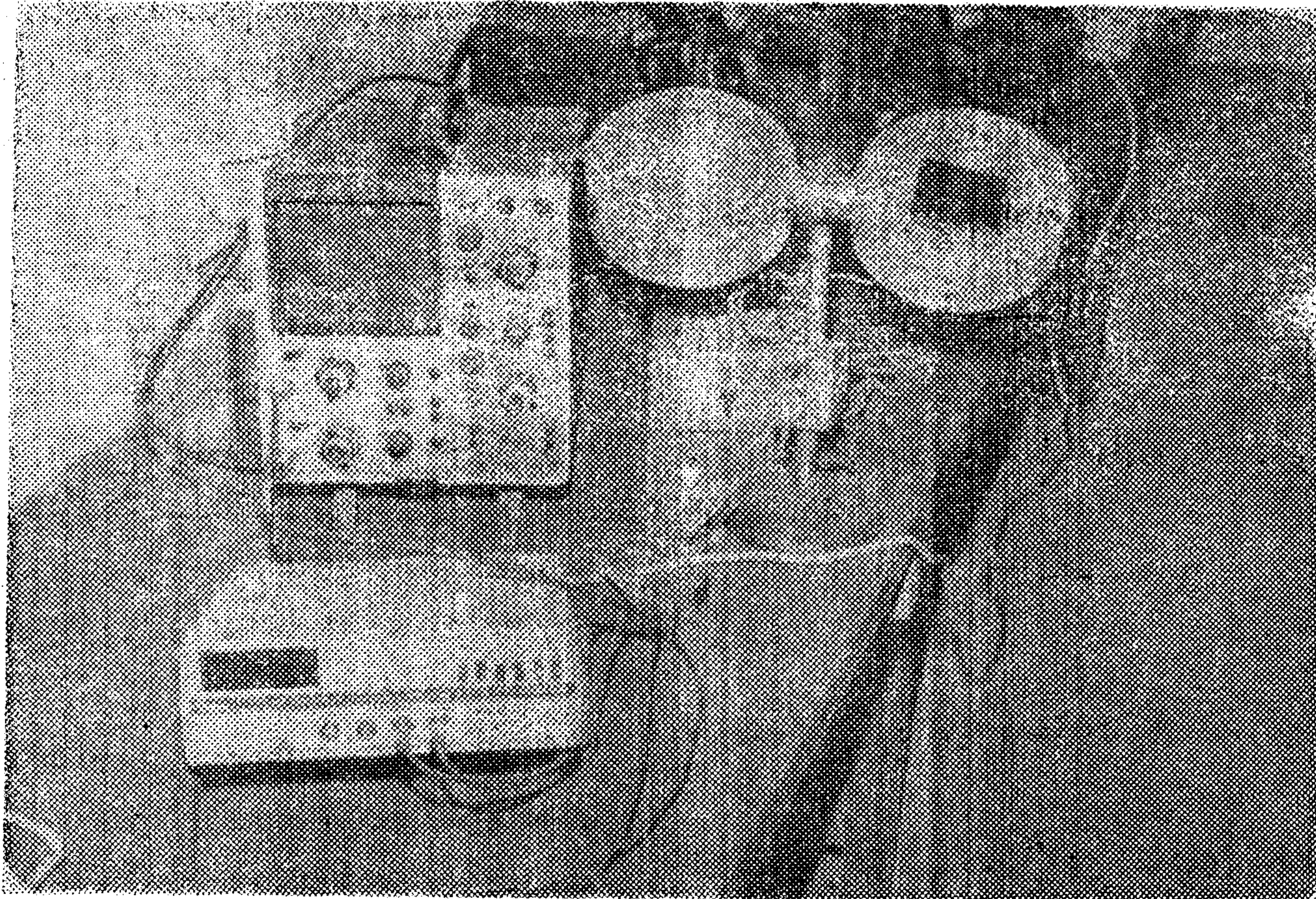
۳- بسبب تحذب کم شیشه پوشش، توزیع نور در سطح نمونه‌ها تقریباً یکنواخت است.

۴- انتقال گرما میان نمونه اصلی و شاهد وجود ندارد

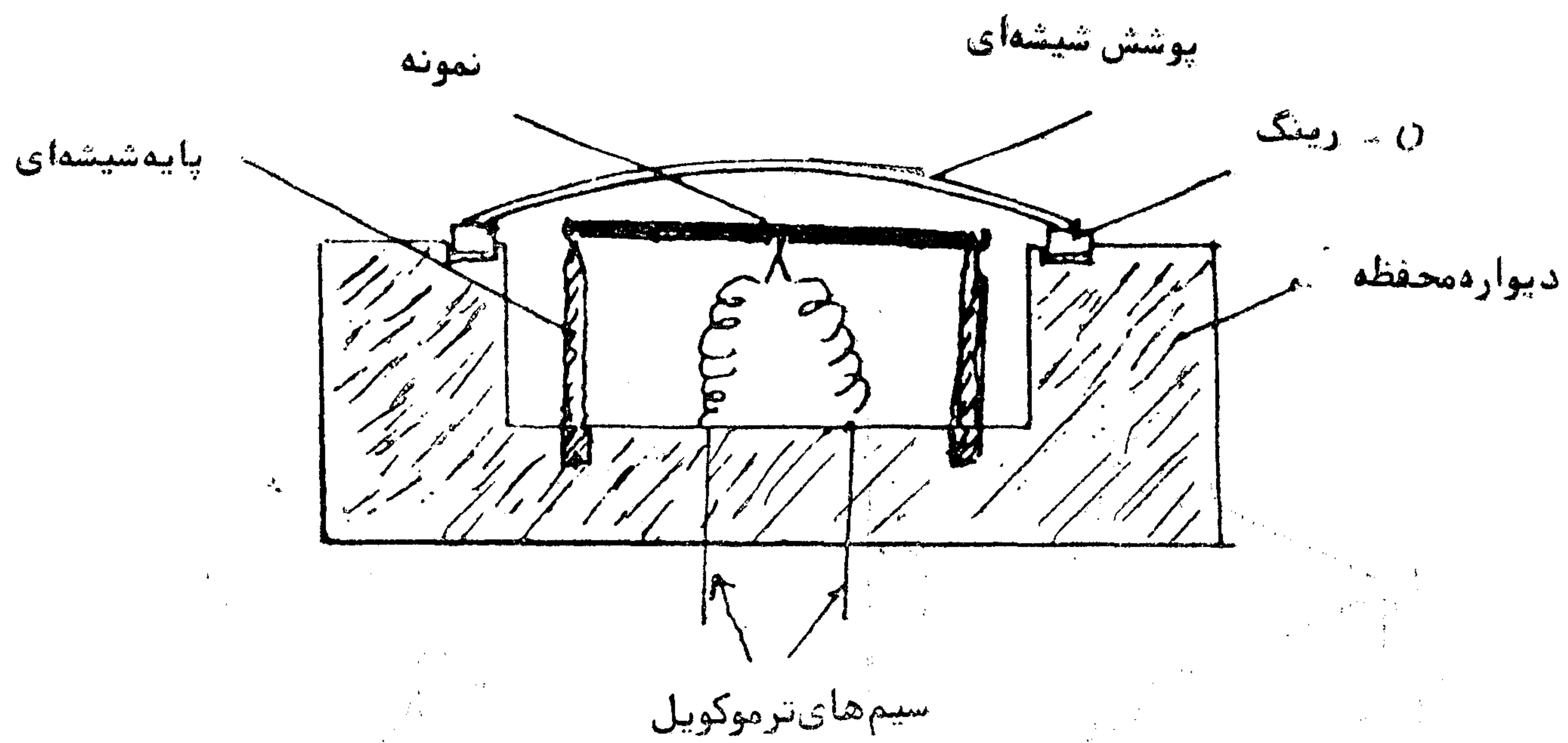
این ویژگیها سبب تسهیل قابل ملاحظه‌ای در محاسبات می‌شوند و انتظار میرود که در مجموع دقت سنجش‌ها را نیز بالا ببرند

۳- روش کار و محاسبه

در آزمایش‌های مربوط به تعیین ضریب جذب طیف خورشیدی، نمونه و شاهد که روی آنها با مواد مورد نظر اندود شده، و سطح زیرین آنها مانند سطح داخل محفظه‌ها صیقلی است، در دو محفظه قرار داده شده و تخلیه هوا حداقل تا فشار ۱/۱ میلی‌متر جیوه انجام می‌شود.



شکل ۱- تصویر دستگاه



شکل ۲- شمای محفظه

بنابہ دیاگرام بالا موازنه انرژی برای نمونه یا معادله زیر بیان می شود:

$$q_s - (q + q' + q_{cond}) = mc \frac{dT_p}{dt} \quad (1)$$

واز قسمت چپ دیاگرام رابطه زیر بدست می آید.

$$R_p = \left(\frac{E_{bG} - E_{bO}}{q R_1} - 1 \right) R_e + \frac{E_{bP} - E_{bG}}{q} \quad (2)$$

که در آن R_e مقاومت معادل موازی R_1 و $(R_3 + R_g)$ است. R_p با رابطه

$$R_p = \frac{1 - \epsilon_p}{\epsilon_p A_p} \quad (3)$$

به ضریب گسیل ϵ_p نمونه و مساحت A_p آن مربوط است.

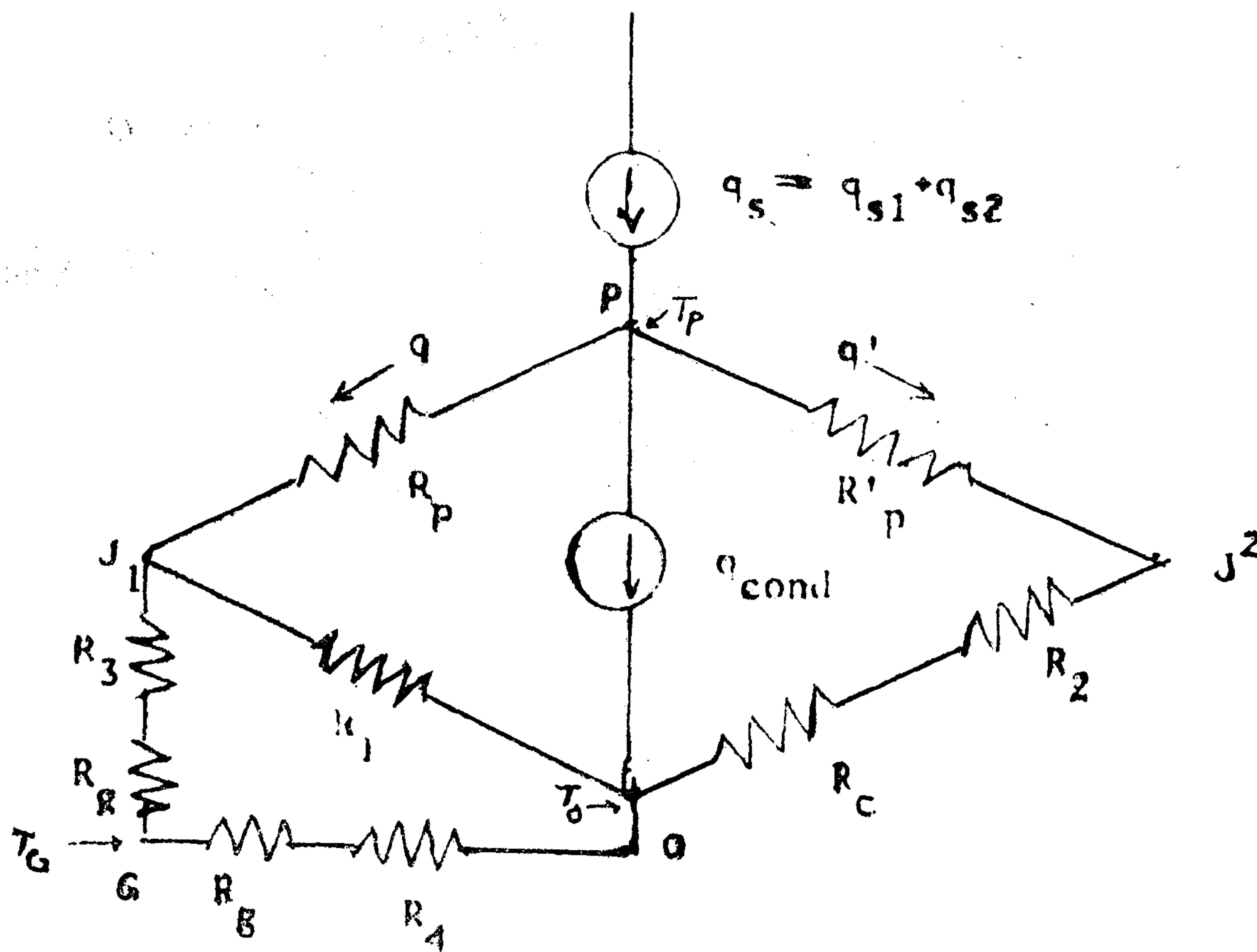
الف. تعیین ضریب گسیل در دماهای مختلف

در آزمایش های تعیین ضریب گسیل زیر سرخ $q_s = 0$ است و اگر بتوان $(q' + q_{cond})$ را تعیین کرد، q از رابطه (۱) بدست آمده و در (۲) قرار داده می شود. برای تعیین $(q' + q_{cond})$ کافی است که بجای نمونه اصلی از یک نمونه که هردو طرف آن صیقلی بوده و مساحت آن نصف مساحت نمونه اصلی است استفاده شود. این نمونه را تا دمای مناسبی گرم کرده و در محفظه قرار می دهیم. بدیهی است که انتقال انرژی از چنین نمونه در هر دما برابر با $(q' + q_{cond})$ رابطه (۱) خواهد بود.

در چنین فشار، انتقال گرما از راه کنوکسیون عملاً از میان می رود. انتقال بسیار کم از راه رسانش که ممکن است باقی بماند در محاسبه منظور می شود. محفظه ها رویه خورشید قرار داده شده و در یک لحظه مانعی که در برابر دستگاه است برداشته می شود تا نمونه ها در معرض نور قرار گیرند، و تغییرات پتانسیل های خروجی ثبت می شود. سپس با استفاده از مشخصات ترموکوپل ها، منحنی های تغییرات دمای نمونه ها بر حسب زمان بدست آمده، و از روی آنها، بروشی که در زیر خواهد آمد ضریب جذب تعیین می شود.

ضریب گسیل زیر سرخ از بررسی منحنی سرد شدن نمونه، در حالیکه در تاریکی قرار گرفته است، بدست می آید. دیاگرام انتقال انرژی میان نمونه و محیط در هر دو نوع آزمایش یکی است، جز اینکه در مورد دوم انتقال انرژی بنمونه از راه تابش مستقیم از بیرون وجود ندارد.

روش محاسبه متداول در چنین مسائل برای استفاده از دیاگرام معادل الکتریکی است (Holman, 1981). دیاگرام معادل برای این دستگاه نسبتاً ساده است و در شکل ۳ دیده می شود. در این دیاگرام q_s توان انتقال یافته بنمونه از راه تابش مستقیم است. شاخه های PJ_1O و PJ_1G بترتیب انتقال انرژی میان نمونه و شیشه سرپوش و میان سطح زیرین نمونه و محفظه را بیان می کند. شاخه GO انتقال انرژی میان شیشه و محیط بیرون و q_{cond} انتقال گرما بصورت رسانش از راه سیم های ترموکوپل، پایه های شیشه ای و هوای رقیق باقیمانده در فضای محفظه را نشان می دهد. شرح نمادها در نام گذاریها در آخر مقاله آمده است.



شکل ۳- دیاگرام تبادل گرما

$$q_{s1} = \alpha_p A_p t_{ssG} \phi_1 \quad (1)$$

که در آن t_{ssG} ضریب عبور شیشه برای طیف خورشیدی و α_p ضریب جذب نمونه است. برای تعیین α_p بهتر است از شیب منحنی گرم شدن نمونه در شرایطی که $T_p = T_G = 0$ است، استفاده کنیم در این شرایط $q + q' + q_{cond} = 0$ می شود و فوراً از رابطه (۱) بدست می آید. اگر نمونه استاندارد در دسترس باشد می توان ϕ_1 رایاری آن تعیین نمود. در غیر این صورت باید از یک شیدسنج استفاده نمود و یا با توجه به وضع جغرافیائی و شرایط جوی محل و زمان آزمایش به محاسبه نظری توسل جست. (Kreith et al., 1978)

ج- تعیین ضریب عبور و ضریب بازتاب

برای این منظور کافی است که نور اولیه را بزرگ محفظه و نور عبور کرده یا بازتابیده را بر محفظه دیگر بنابانیم و اثر آنها را مقایسه کنیم. بهتر است در این سنجش ها از تخلیه هوا صرف نظر شود و پوشش شیشه ای برداشته شود، ولی دمای نمونه و محفظه در حدود دمای محیط باشد تا کموکسیون و رسانش ناچیز باشد.

د- کاربرد

رنگ سیاه ۶۰ کارخانه آلومین قزوین، که بطریق الکترولیز بر روی ورقه های آلومینیم بوجود آورده می شود، برای آزمایش انتخاب شد. در تعیین ضریب گسیل زیر سرخ دو روش آخری بکار برده شد. برای این منظور لازم بود که شیشه پوشش قبلا گرم شود بطوریکه دمای آن در آغاز مرحله سرد شدن بالاتراز دمای نمونه باشد. تغییرات دمای نمونه و شیشه در یک آزمایش در شکل ۴ دیده می شود. در همان شکل تغییرات qR_1 و $(E_{bG} - E_{bO})$ نیز بر حسب زمان رسم شده است. E_{bG} و q با استفاده از تغییرات T_p و T_G محاسبه شده و R_1 که ضریب عبور شیشه مربوط است، مستقلا تعیین شده است. این دو منحنی یکدیگر را در ثانیه ۳۳ قطع می کنند، و از شیب منحنی T_p در این لحظه مقدار $(q + q' + q_{cond})$ برابر (0.33 ± 0.2) ژول بر ثانیه بدست می آید $(q' + q_{cond})$ با روشی که در بالا گفته شد تعیین شده و در شرایط مربوط برابر با (0.4 ± 0.1) ژول بر ثانیه است از آنجا q بدست آمده و R_p و ϵ_p برای دمای حدود $338^\circ K$ معین می شوند.

$$q = 0.29 \frac{\text{ژول}}{\text{ثانیه}} \quad R_p = 226 \quad \epsilon_p = 0.07 \pm 0.05$$

تخمین خطای سنجش ها از تکرار آزمایش و ملاحظات آماری نتیجه شده است.

لازم است R_1 و R_e نیز معین بشوند. R_1 را که بضریب عبور شیشه مربوط است می توان مستقلا تعیین کرد. تعیین R_e مشکل تر است. ولی لازم به یادآوری است که این دو کمیت یکبار برای همیشه با زاء دماهای مختلف نمونه و شیشه تعیین می شوند، و اگر اینها معلوم باشند R_p از رابطه (۲) و سپس ϵ_p از رابطه (۳) معین می شود.

یک روش جالب این است که آزمایش را طوری ترتیب دهیم که در یک لحظه در ضمن سرد شدن نمونه، پرانتز در طرف راست رابطه (۲) صفر شود. در این صورت R_e از معادله حذف شده و چنین خواهیم داشت:

$$R_p = \frac{E_{bP} - E_{bG}}{q} \quad (4)$$

یک راه عملی دیگر این است که ترتیبی دهیم که در یک لحظه دمای شیشه برابر بادمای نمونه بشود. در این حالت انتقال انرژی میان آنها وجود نخواهد داشت و q با رابطه ساده زیر بیان خواهد شد:

$$q = \epsilon_p A_p t_{iG} E_{bP} \quad (5)$$

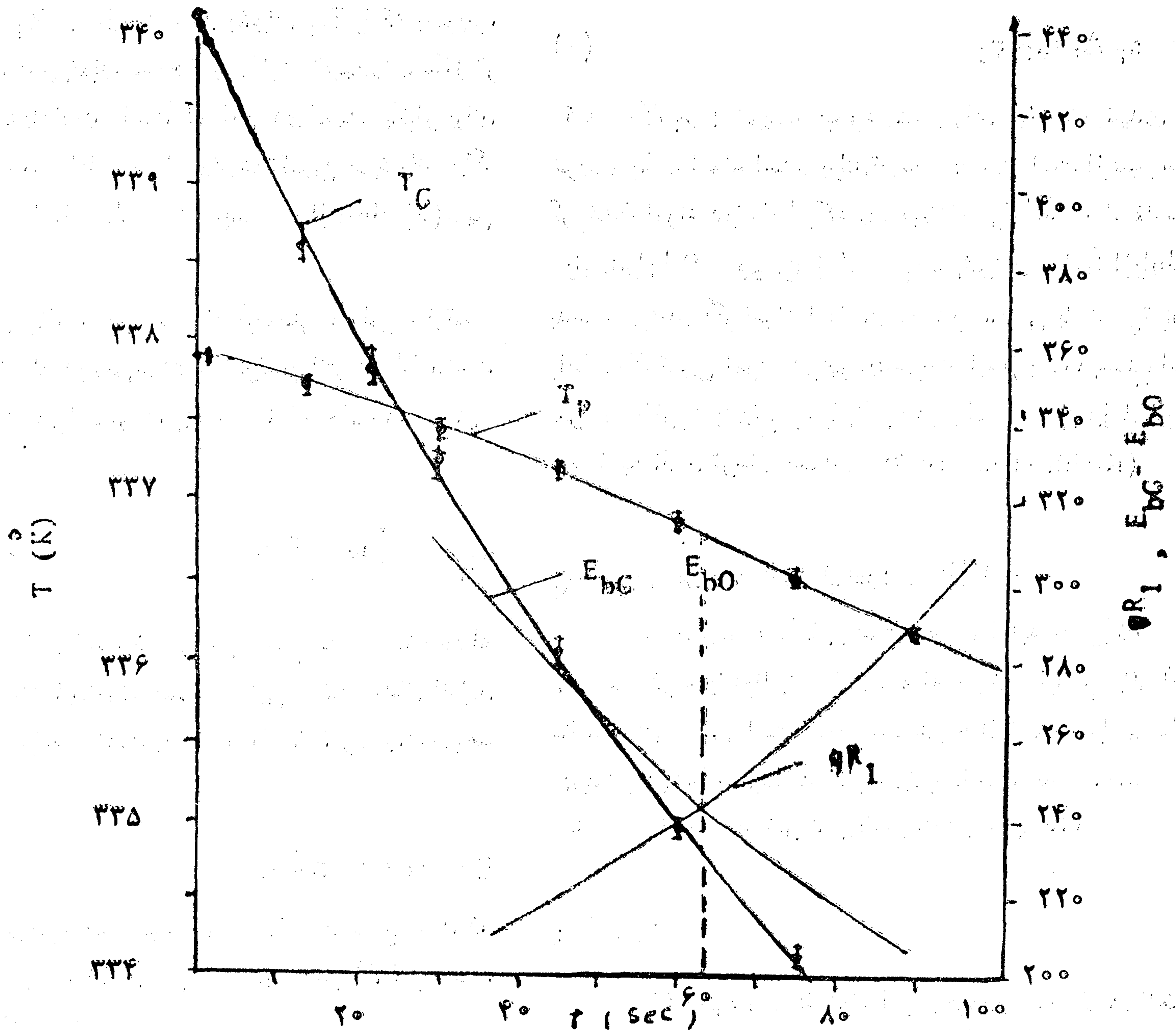
در این رابطه t_{iG} ضریب عبور شیشه برای طیف زیر سرخ است که میان نمونه و محیط بیرون تبادل می یابد. در تعیین آن لازم است نکات زیر در نظر گرفته شود:

- ۱- بازتاب های مکرر که میان نمونه و شیشه بوجود می آید در مقدار t_{iG} موثر است و باید بحساب آورده شود.
- ۲- مقدار این ضریب تا حدی تابع دمای نمونه و ممکن است اندکی نیز تابع دمای شیشه و محیط بیرون باشد.
- ۳- لازم است مقدار موثر این ضریب درست برای وضع هندسی ویژه نمونه و شیشه تعیین بشود.

چنانکه در کاربرد خواهیم دید هر دو روش اخیر عملی می باشند.

ب- تعیین ضریب جذب برای طیف خورشیدی

در این مورد باید q_s را در رابطه (۱) حفظ کرد. جزء q_{s1} مربوط به جذب تابش مستقیم توسط سطح بالائی نمونه و q_{s2} که اغلب میتوان از آن صرف نظر کرد و یا آنرا بطور تقریبی محاسبه نمود، مربوط به تابشی است که از درزهای اطراف نمونه گذشته، وارد محفظه شده، و پس از بازتاب، قسمتی از آن توسط سطح زیرین نمونه جذب می شود. q_{s1} یا رابطه زیر به چگالی فلوی ϕ_1 انرژی خورشیدی مربوط است:



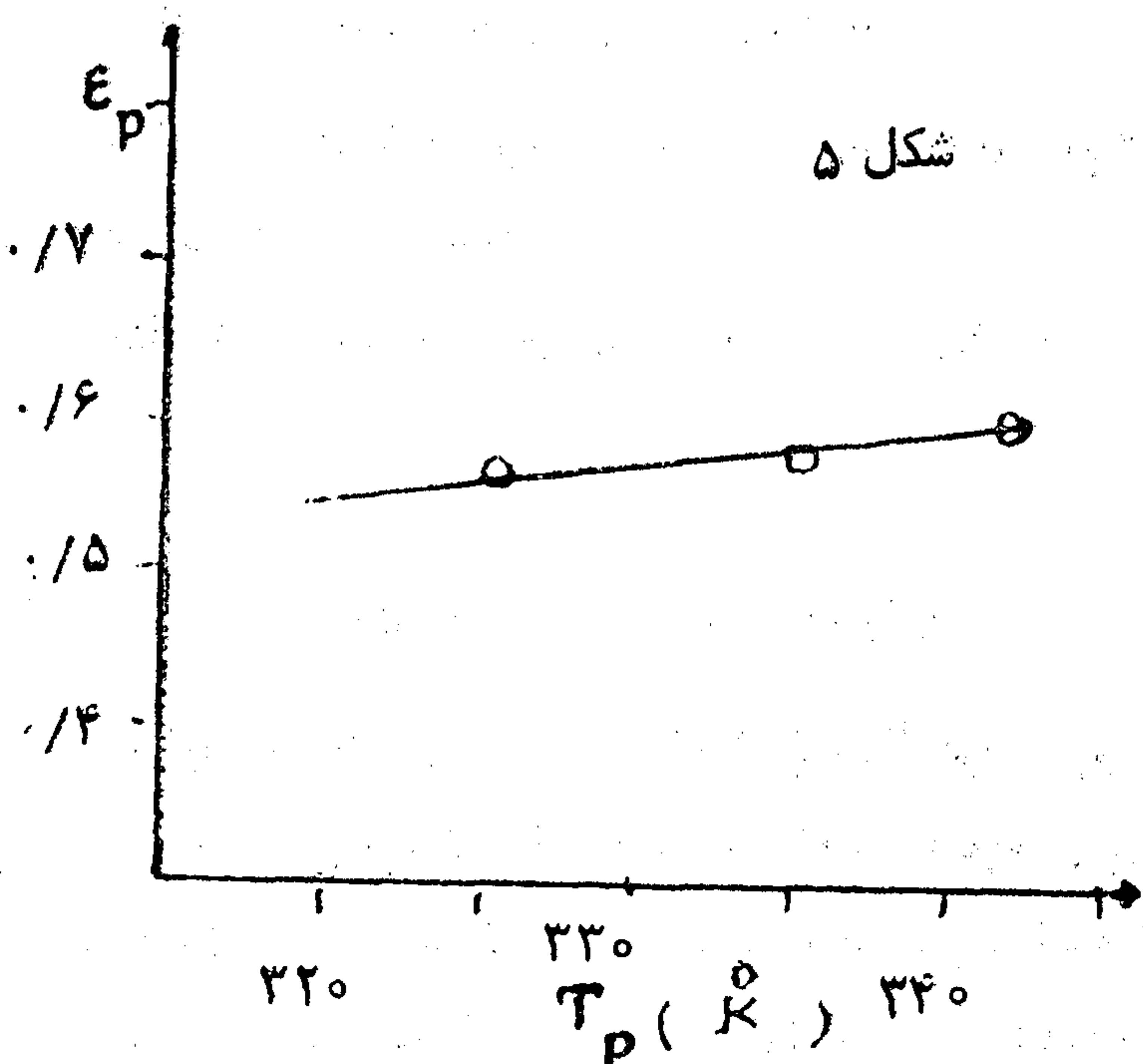
شکل ۴- تغییرات دمای نمونه و شیشه بالای محفظه در یک آزمایش سرد شدن

اگر روش دوم را بکار برده و از محل تلاقی منحنی های T_G و T_p استفاده کنیم، و برای ضریب عبور شیشه مقدار $(.34 \pm .2\%)$ که مستقلاً در شرایط هندسی و دمائی مربوط بدست آمده قرار دهیم $\epsilon_p = .60 \pm .5\%$ حاصل می شود. تفاوت دو نتیجه در حدود خطای سنجشهاست شکل ۵ تغییر ملایم ϵ_p را بر حسب دما نشان میدهد. منحنی شکل ۶ که بوسیله یک اسیلوسکوپ بدست آمده گرم شدن نمونه را در اثر تایش مستقیم نور نشان میدهد. حداکثر شیب منحنی با کمی تأخیر تقریباً در لحظه $t = 1/5$ حاصل شده است. ϕ_1 از راه نظری محاسبه شده و t_{sgG} نیز مستقلاً تعیین شده و α_p از رابطه (۶) حساب شده است.

$$\alpha_p = .12 \pm .05$$

چنانکه می بینیم ماده انتخاب شده تا حدی گزیننده است.

آزمایش های بالا برای رنگ سیاه مات اسپری تجارתי تکرار شد. گزینندگی چندان محسوس نبود و ϵ_p برای زیرسرخ و α_p برای طیف خورشیدی بترتیب در حدود $.8$ و $.9$ بدست آمدند



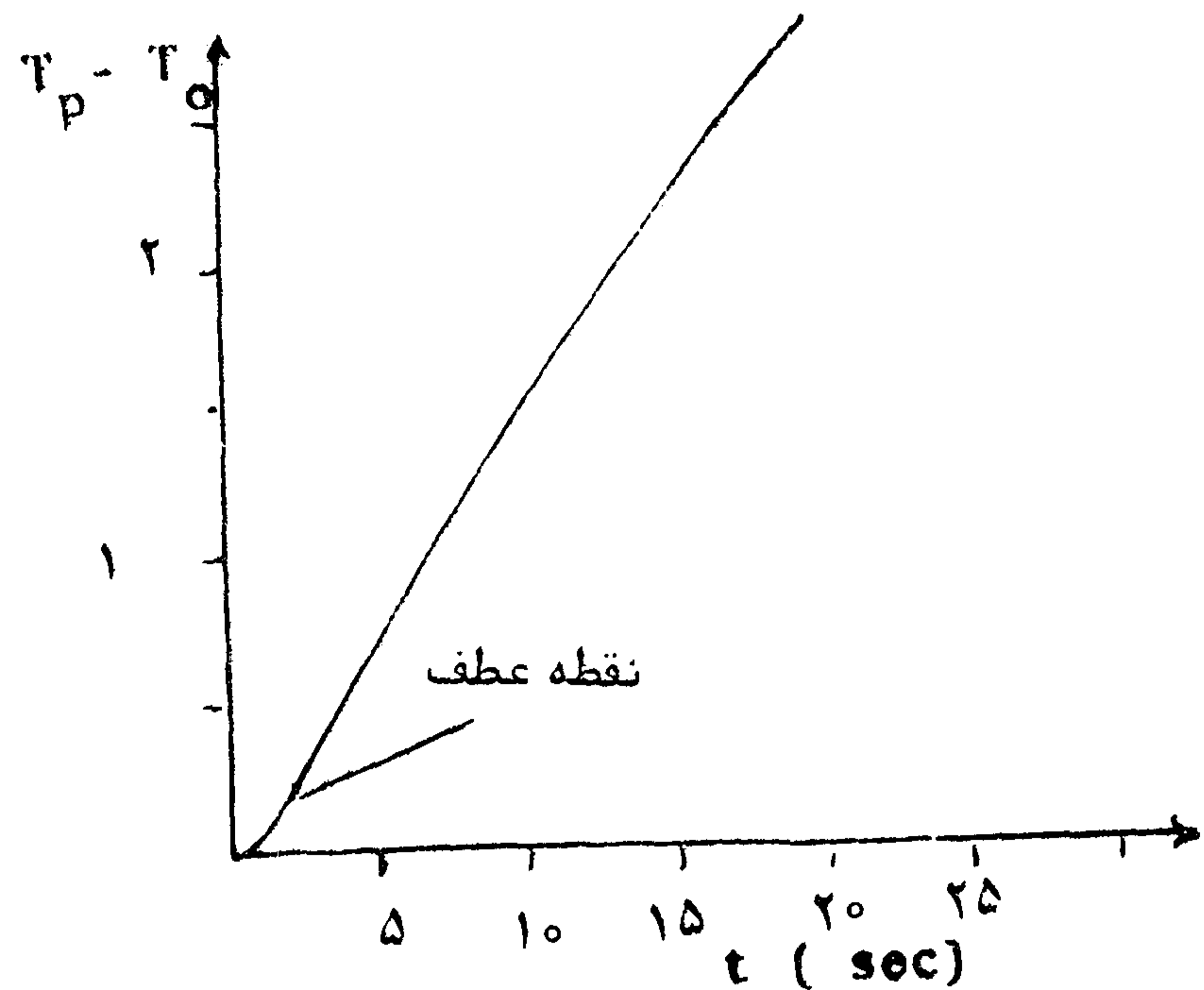
شکل ۵- تغییرات ملایم ضریب گسیل یک نمونه بر حسب دما

۵- نتیجه گیری

آزمایش های انجام شده و نتایج بدست آمده نشان دادند که میتوان دستگاه را به آسانی برای سنجش پارامترهائی مانند ضریب گسیل، ضریب عبور و ضریب بازتاب بکار برد. دقت نتایج در درجه اول بستگی به دقت تعیین تغییرات دما دارد. تحلیلی در این مورد در یک گزارش دیگر ارائه خواهد شد.

نمادهای بکار برده شده

- T_P : دمای مطلق نمونه $E_{bP} = \sigma T_P^4$
 T_G : دمای مطلق شیشه $E_{bG} = \sigma T_G^4$
 T_O : دمای مطلق محیط $E_{bO} = \sigma T_O^4$
 σ : ضریب استفان - بولتزمن
 R_p, R'_p, R_G, R_C : مقاومت تشعشی سطوح مختلف
 R_1, R_2, R_3, R_4 : مقاومت تشعشی فضای میان قسمت های مختلف
 t_{iG} : جرم نمونه m : ضریب عبور شیشه برای زیرسرخ
 t_{ssG} : گرمای ویژه نمونه c : ضریب عبور شیشه برای طیف خورشیدی
 J_1, J_2 : پتانسیل های فرضی در اتصال شمائی
 مقاومت ها



شکل ۶- منحنی گرم شدن یک نمونه در تابش مستقیم نور

خورشید.

References

Calanotti S. et al, (1975) The Radiative Cooling of Selective Surfaces, *Solar Energy*, **17**, 83 - 89.
 Coulson K. L., (1975) *Solar and Terrestrial Radiation*, Academic Press.
 Holman J. P., (1981) *Heat Transfer*, McGraw - Hill.
 Kreith F., Kreider J. F., (1978) *Principles of Solar Engineering*, McGraw - Hill, 41 - 57.
 Willart H., and Gamon R. B., (1978) The Measurement of Optical Properties of Selective Surfaces Using a Solar Calorimeter, *Solar Energy*, **21**, 193 - 199.