

**ПОЛИХРОМАТИЧЕСКАЯ ПИРОМЕТРИЯ**

Дубас Л.Г.

НИИ «Курчатовский Институт», Истра,  
e-mail: sudarih@gmail.com

В данной работе разработана достаточно реальная техника радиометрической пирометрии измерений спектрально-полухроматической температуры. Данный подход полухроматической пирометрии отличается от яркостной, цветовой или монохроматической спектральной пирометрии [1-4] потому что, например, основан на методе интерполяции значений смещений обратной температуры с некоторыми весовыми коэффициентами [4,5].

Радиометрические методы регистрации и измерения теплового излучения и его температуры могут применяться как при сравнительно средних температурах, так и при высоких температурах. Здесь развивается техника радиометрического измерения температуры, с целью уменьшения погрешности и повышение точности бесконтактного измерения. Единица температуры является одной из основных естественных единиц при измерении физических величин [6]. Следует отметить, что кроме термодинамической температуры возможна также дополнительная дисперсия вириального импульса движения частиц, определяющая кинетическую энергию частиц и вириал, который иначе вычисляется.

Под спектрально-полухроматическим пирометром здесь понимается радиометрический термометр обобщенного спектрального отношения, для которого ниже указаны [4] вычислительные формулы многоряда. Измерение и вычисление этого многоряда соответствует многоярусной радиометрической температуре.

Преобразуем формулу Планка к уравнению для измеряемой обратной температуры [4]:

$$B = \sum_{j=s,t} \{ (Bp - Bn) + Bm + \ln[K_{Kb}(B)/K_{Kb}(Bm)] [C(1/\lambda - 1/\lambda_o)] \} gj + A;$$

$$1/B = T; \sum_{j=s,t} (gj) = 1; \lambda_o = \lambda_o(j); C = 14387.8 \mu m \cdot K; \quad (1)$$

$$Bp = Bp(B); Bn = Bn(Bm); s \leq t; s = \min \{j\}; t = \max \{j\}; Bm = Bm(j); K_K = K(\lambda, Bm)/K(\lambda_o, Bm),$$

$$a(s, t) = |A|/B; A(s, t) = \sum_{j=s,t} \{ \ln [ \{ K_K(B)/K_K(Bm) \} / \{ K_{Kb}(B)/K_{Kb}(Bm) \} ] : [C(1/\lambda - 1/\lambda_o)] \} gj.$$

Здесь:  $T$  – температура;  $B$  – вещественная обратная температура;  $Bp$  – реально измеренная обратная температура;  $Bm$  – обратная агентевая (agentive) температура теплового

агента;  $Bn$  – измеренная обратная агентевая температура;  $\lambda$  – длина волны;  $\lambda_o$  – отсчетная длина волны;  $K_K$  – спектральное отношение;  $K_K(B)/K_K(Bm)$  – тепловое отношение спектральных отношений;  $\sum_j$  – знак суммирования рядов по натуральным числам;  $gj$  – весовые коэффициенты;  $j$  – натуральное число;  $s, t$  – минимальное и максимальное значения используемых натуральных чисел;  $\{Bm(j), \lambda_o(j)\}$  – множество обратных агентевых температур с отсчетными рекоинными (reckoning) длинами волн [4],  $a(s, t)$  – модуль методической относительной погрешности;  $A(s, t)$  – погрешность измерения обратной температуры;  $K$  – коэффициент преобразования (радиометрический фактор) для теплового излучения, определяемый умножением коэффициента излучения объекта на коэффициент передачи теплового излучения в среде наблюдения;  $K_b$  – модельное приближенное значение с ограниченной погрешностью для коэффициента  $K$ . Измерение приближительной радиометрической температуры позволяет использовать некоторое модельное значение  $K_b$  в радиометрическом коэффициенте  $K$  и некоторое усреднение логарифмического значения.

Такой метод называют многорядной техникой, выполненной в операциях с предварительным или дополнительным обнаружением состояния системы. Здесь предполагается усреднение на спектре и на образцах значений обратной температуры с некоторыми весовыми коэффициентами. Действительная обратная температура определяется взвешенной интерполяцией на образцах обратных агентевых температур и отсчетных рекоинных длин волн [4,5].

Давайте предположим, что модуль методической относительной погрешности в (1) является незначительным, и тогда получим следующее выражение.

$$B = \sum_{j=s,t} (Bp - Bn) gj + Bm; \sum_{j=s,t} \{ \ln [ K_{Kb}(B)/K_{Kb}(Bm) ] : [C(1/\lambda - 1/\lambda_o)] \} gj \ll B; a \ll 1. \quad (2)$$

Здесь необходимые  $gj$  – весовые коэффициенты могут быть получены с использованием усреднения и интерполяции.

В данной статье используются те же самые формулы (1) и (2), которые приведены в работе [4], однако полагается иное физическое направление, связанное с использованием вместо комбинации одной рекоинной длины волны и двух агентевых температур другой комбинации; двух агентевых температур и трех рекоинных длин волн.

Последнее допускается в работе [4], однако более детально и подробно это не рассматривается. Кроме того следует уточнить, что под отсчетными рекоинными длинами волн могут

пониматься эффективные длины волн, которые состоят из множества конкретных длин волн.

Например, мы теоретически исследуем методическую погрешность температурного измерения при нагревании вольфрама с некоторой цветовой температурой в световой лампе с регистрацией измеренного спектра тепловой радиации в диапазоне длин волн 360-1100 нм.

Оптическое устройство состоит из трех спектрометров HR2000+ (<http://oceanoptics.com/>) в трех диапазонах: 1) 360-490 нм, 2) 486-688 нм, 3) 686-1100 нм, причем для каждого диапазона используется спектральная дифракционная решетка с числом штрихов на мм соответственно: 1) 1800, 2) 1200, 3) 600.

Выберем три отсчетные рекогносцированные длины волн, равные 404 нм, 700 нм, 904 нм и две агентевые температуры, определяемые нагреванием вольфрама с цветовой температурой равной ~2800К и с цветовой температурой ~3100К в источниках света HL-2000-LL и HL-3-CAL (<http://oceanoptics.com/>), с соответствующими цветовыми температурами.

Выбор трех отсчетных длин волн связан с использованием материала вольфрама [1], для которого логарифм коэффициента излучения с некоторой погрешностью можно аппроксимировать полиномом пятой степени по длине волн в диапазоне 360-1100 нм.

Результат измерения пирометрической температуры зависит от того, насколько точно установлено соответствие между спектральной цветовой и спектральной полихроматической температурой соответствующего источника света. Кроме того, мы будем считать для простоты, что относительной погрешностью справочного коэффициента излучения [1] можно пренебречь.

По аналогии с [4] для упрощения задачи будем считать, что поглощение электромагнитного излучения в оптическом тракте среды измерения является незначительным. Также мы будем считать, что статистическая погрешность измерений невелика. Кроме того, мы будем считать, что существует точная аппаратная зависимость измерений выходного сигнала от интенсивности входного света.

После вычислений мы можем получить методическую систематическую погрешность измерения температуры вольфрама при цветовой температуре  $T_c = \sim 3100\text{K}$ , при условии использования агентевой цветовой температуры  $T_c = \sim 2800\text{K}$ .

Методическая систематическая относительная погрешность радиометрической температуры (2) будет вычислена для четырехъярусного многоряда  $\{t = 4\}$  при следующих условиях: 2)  $s = 2$ ,  $\lambda_o = 404$  нм, 3)  $s = 3$ ,  $\lambda_o = 700$  нм, 4)  $s = 4$ ,  $\lambda_o = 904$  нм.

Вычислим систематическую относительную погрешность [5] для обратной температуры исследуемого материала в предположении, что

весовые коэффициенты равны следующим величинам.

$$g_2 = 1,874; g_3 = -1,248; g_4 = 0,374; \\ g_2 + g_3 + g_4 = 1; a \approx 0,0007. \quad (3)$$

Методическая систематическая относительная погрешность радиометрической температуры (2) может быть вычислена для семиярусного многоряда  $\{t = 7\}$  при следующих условиях: 2)  $s = 2$ ,  $\lambda_o = 404$  нм,  $T_c = \sim 2800\text{K}$ , 3)  $s = 3$ ,  $\lambda_o = 404$  нм,  $T_c = \sim 3100\text{K}$ , 4)  $s = 4$ ,  $\lambda_o = 700$  нм,  $T_c = \sim 2800\text{K}$ , 5)  $s = 5$ ,  $\lambda_o = 700$  нм,  $T_c = \sim 3100\text{K}$ , 6)  $s = 6$ ,  $\lambda_o = 904$  нм,  $T_c = \sim 2800\text{K}$ , 7)  $s = 7$ ,  $\lambda_o = 904$  нм,  $T_c = \sim 3100\text{K}$ .

Вычислим систематическую относительную погрешность [5] для измерения с цветовой температурой  $T_c = \sim 2940\text{K}$  исследуемого материала в предположении, что весовые коэффициенты равны следующим величинам.

$$g_2 = 0,937; g_3 = 0,937; g_4 = -0,624; \\ g_5 = -0,624; g_6 = 0,187; g_7 = 0,187; \quad (4)$$

$$g_2 + g_3 + g_4 + g_5 + g_6 + g_7 = 1; a \approx 0.$$

Здесь семиярусный подход с  $\{t = 7\}$  предоставляет интересную систематическую относительную погрешность при ограниченном разбросе величин весовых коэффициентов в сравнении с четырехъярусным подходом (3).

Также для количественной оценки коэффициента излучения можно использовать метод пирометра [1]. Предположим гипотетически, что для твердотельного вольфрама, который служит в качестве источника света в осветительной лампе устойчивым способом можно использовать совместно и метод пирометра для измерения вышеуказанного радиометрического коэффициента и метод термометра для измерения действительной температуры. Тогда это означало бы возможность совместного измерения излучательной способности и общей температуры предмета.

Здесь следует отметить, что в общем случае выбор метода пирометра в сравнении с другими справочными альтернативными методами измерения может привести к иной неопределенности численных значений и возможно к увеличенной погрешности измерения общей температуры. Однако этот подход может быть приемлемым при отсутствии дополнительной справочной информации о радиометрическом коэффициенте.

Погрешность результата измерения радиометрической температуры зависит от того, насколько температурные зависимости оптических свойств изучены для данного объекта и данного измерительного оптического тракта и, как измерительная шкала может быть откалибрована непосредственно в экспериментах.

Кроме того должны быть приняты во внимание излучательная способность поверхности

и объема для предметов, включающих микро-частицы и/или наночастицы. Наряду с тепловым излучением, также может быть возбуждено характеристическое излучение (например, атомные линии излучения). Последнее следует, однако, игнорировать, чтобы получить достоверные данные измерений для термодинамической температуры.

#### Заключение

Теоретические оценки методической относительной погрешности измерения температуры показывают принципиальную возможность создания спектрального полихроматического пирометра, который, вероятно, может обеспечить пониженную погрешность измерений в сравнении с монохроматическим спектральным пирометром. Необходимые значения для весовых коэффициентов могут быть определены с использованием справочной литературы. Например, выбор трех спектральных дифракционных решеток: 1) 1800 штрих/мм, 2) 1200 штрих/мм, и 3) 600 штрих/мм – гипотетически является

приемлемым для измерения полихроматической температуры в оптикоспектральном устройстве высокого спектрального разрешения.

#### Список литературы

1. Латыев Л.Н., и др. Излучательные свойства твердых материалов / под ред. А.Е. Шейндлина. – М.: Энергия, 1974. – 471 с.
2. Дубас Л.Г. Бесконтактная термопирометрия для плотного вещества. // Журнал технической физики, – 2013. – Т. 83. № 1. – С. 134-139; URL: <http://journals.ioffe.ru/jtf/2013/01/p134-139.pdf> (дата обращения: 16.03.16).
3. Дубас Л.Г. Термофизические основы радиометрических измерений температуры // Издание РАЕ, Успехи современного естествознания. – 2012. – № 10. – С. 73-77; URL: <http://www.natural-sciences.ru/pdf/2012/10/15.pdf> (дата обращения: 16.03.16).
4. Dubas L.G. Pyrometry technique of measuring radiometric temperature // Edition of RANH, European Journal of Natural History. – 2013. – № 1. – P. 27-28. URL: <http://world-science.ru/euro/pdf/2013/1/12.pdf> (дата обращения: 16.03.16).
5. Г. Корн, Т. Корн. Справочник по математике. – М.: Наука, 1973. – 832 с.
6. Dubas L.G. Quark mass unit. Edition of RANH, European Journal of Natural History. – 2013. – № 3. – P. 77-78. URL: <http://world-science.ru/euro/pdf/2013/3/38.pdf> (дата обращения: 16.03.16).

### Философские науки

#### ГУМАНИТАРНОЕ РАЗВИТИЕ ОБУЧАЮЩИХСЯ В ФИЛОСОФСКОМ ОБЩЕСТВЕ

Баранова И.А., Быкова Е.В., Муравьев В.В.,  
Напеденина А.Ю., Трубочанинова М.М.

ФГБОУ ВО «Московский технологический университет», Москва, e-mail: [napedenina@mirea.ru](mailto:napedenina@mirea.ru)

Развитие компетенций, имеющих гуманитарную направленность, является актуальной задачей при построении процесса обучения с разными категориями лиц [1, 4, 6, 11, 14, 15], при этом одним из наиболее важных направлений является развитие общей культуры мышления и способности формулировать собственные мысли [7, 19, 22, 29, 30, 31, 32, 33]. Проведенное исследование потребностей потенциальных работодателей [20, 24, 36, 39, 46, 55], системный анализ современных методов организации производства [41, 42, 43, 45] и способов работы по развитию персонала [5, 35, 51, 54] позволяет с уверенностью выделить стратегическое объединение кадрового консалтинга и аудита [25, 40, 44, 47] и современных представлений о наукометрическом описании получаемых результатов [21, 23, 28, 34, 48, 57].

Создание в учебных заведениях первичных организаций Российского философского общества, к работе в которых активно привлекаются обучающиеся, позволяет дополнить учебные планы мероприятиями, в ходе которых преподаватели в наиболее комфортной для себя форме способны передать знания, умения и навыки работы с текстом и мыслью [27, 37, 56], а также заинтересовать молодых людей в проведении организационной работы, в ходе выполнения

которой развиваются не только управленческие навыки, но и навык критического восприятия чужой и своей мысли [2, 3, 8, 9, 12, 13, 18, 26, 38, 49, 50, 52, 53], получение независимых оценок результата [3, 10, 16, 17].

Экономическое моделирование, проведенное в соответствующей области, показало, что наиболее эффективным с точки зрения повышения мотивации обучающихся является выбор отношения величин ежегодного взноса преподавателей к обучающимся за членство в философском обществе в диапазоне от двух с половиной до трех раз. При этом имеются ограничения на минимальную величину взноса, которая для обучающегося должна быть больше одного обеда в студенческой столовой, но не должна превосходить двухдневных затрат на трехразовое питание. Дополнительным фактором, устойчиво входящим в состав наиболее популярных по результатам опросов, является материальное подтверждение членства в философском обществе, выраженное как в виде вручаемого удостоверения, так и подтвержденное размещением соответствующих персональных данных на страницах официальных источников информации в сети Интернет и (менее актуально на несколько позиций в рейтинге) на страницах печатных изданий, распространяемых Российским философским обществом или его первичными организациями, имеющими статус самостоятельных обществ.

#### Список литературы

1. Акимова Т.И., Мельников Д.Г., Назаренко М.А. Применение принципа постоянного улучшения систем менеджмента качества в учебном процессе // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований – 2014. – № 3-1. – С. 126–128.