

UME 'DE KANDELA 'NIN OLUŞTURULMASI

Midiya Hacıyeva

TÜBİTAK, Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME), P.K. 21, 41470 Gebze/KOCAELİ

Özet:

UME 'de ışık şiddetinin SI birimi Kandela, önce bir grup akkor lambalar üzerinden Ulusal Standartı olarak (belirsizlik 2σ , $\pm 7 \times 10^{-3}$), daha sonra Mutlak Kriyojenik Radyometre 'nin kurulması ve çalıştırılmasıyla Birincil Standard olarak (belirsizlik 2σ , $\pm 2 \times 10^{-3}$) iki aşamada oluşturulacaktır.

1. Giriş

SI ışık şiddeti birimi olan Kandela (cd) 1948 'den 1979 'a kadar platinin donma noktası $T_{pt} = 2042 \text{ K}$ 'de çalışan siyah-cisim terimleriyle tanımlanmaktaydı. 1960 'lı yılların sonu ve 1970 'li yılların öncesinde kandela'nın siyah-cisim esasına dayalı olarak gerçekleştirilmesi sırasında güçlükler yaşanmaktaydı. Bunun nedenleri arasında,

- standartın gerçekleştirilmesindeki belirsizliğin büyük olması,
- standartın izlenebilirliğinin iyi sağlanamaması,
- standartın çalışma sıcaklığının ($T=2042 \text{ K}$) düşük olması (ışık ölçümleri, genellikle yüksek sıcaklıklı (2500 K ve üstü) kaynaklarla yapılıyor) vs. gibi faktörler bulunmaktaydı.

Dolayısıyla bir yandan yüksek sıcaklıktaki siyah-cisim, mutlak radyometre veya bu problemleri çözebilecek herhangi bir başka yöntem temeline dayanan, öte yandan fotometrik ve radyometrik nicelikler arasında kesin bağıntı kurabilecek yeni bir tanıma gerek duyulmaktaydı.

1970 'li yıllarda fotometrik niceliklerin spektraradyometrik değerlerden veya tersinin hesaplanmasını mümkün kılan yüksek doğruluklu mutlak spektraradyometri temelinde fotometrik sistemin kurulmasına gösterilen çabalar sonucu, CGPM (the Conference Generale des Poids et Mesures) 1979 'da Kandela 'nın yeni tanımını kabul etti.

Yeni tanıma göre " Kandela, belli bir yönde ışınım şiddeti $1/683$ watt/steradyan'a eşit, 540×10^{12} Hz frekanslı tekrenkli ışınım yayımlayan kaynağın aynı

yönde ışık şiddetidir."

Bu tanım, ulusal laboratuvarlara kendileri için uygun buldukları herhangi bir radyometrik yöntemle Kandela'yı gerçekleştirmekte serbestlik tanıdı ve ulusal laboratuvarlar [1-5] çeşitli yöntemlerle kendi Kandela ölçeklerini oluşturdular.

UME optik laboratuvarında bu yöntemler birer birer incelenerek Kandela standartının nasıl oluşturulacağı saptandı. Seçilen yöntem aşağıda anlatılmıştır.

2. Ulusal Standart

Işık şiddeti ulusal standartımızı ilk aşamada, Almanya'nın birincil standartıyla karşılaştırılarak kalibre edilmiş 6 adet Osram WI 41/G standart lambaları oluşturmaktadır. Kandela'nın gerçekleştirilmesi çalışmalarında bu lambaların kullanılması CCPR (the Comite Consultatif de Photometrie et Radiometrie) tarafından uygun görülmüştür. Ulusal standartın muhafaza edilmesi, diğer lambalara transferiyle I. ve II. seviye çalışma standartlarının oluşturulması için laboratuvarımızda özel ölçüm düzeneği kurulmuştur.

Düzeneği oluşturan ana elemanlar OSRAM WI 41/G standart lamba seti, ışık yönlendiricileri, 6,5 m 'lik optik masa ve sıcaklık kontrollü hassas fotometredir. Lamba akımı, standart direnç üzerindeki voltaja göre ayarlanıp sayısal voltmetreden okunur. Lamba kararlı DC güç kaynağından beslenir. Lamba ile fotometre arası ölçüm mesafesi 0,5 ile 5,5 metre arasında değişebilir.

Ölçüm öncesi diyot laser yardımıyla sistem ayarlanarak, lamba flamanının merkeziyle fotometrenin giriş deliğinin merkezinin optik masaya paralel bir eksenin üzerinde olması ve flamanın bulunduğu yüzeyin bu eksene dikey durması sağlanır.

Ulusal standartı oluşturan kalibre edilmiş 6 'lık lamba setindeki her bir lamba için $S = T/I$ kıyaslama katsayısı ölçülür. Burada T, fotometrenin tepkisi (amper, A), I, ışık şiddeti (Kandela, cd) değeridir. Her lambadan en az 10 ölçüm alınarak kıyaslama katsayısının ortalama değeri S_{ort} bulunur. Tüm ölçümler lamba flamanının yüzeyi ile fotometre deliğinin yüzeyi arasındaki belli bir mesafede yapılır (en az 1,5 m). Daha sonra birinci seviye çalışma standartını oluşturacak diğer 6 adet Osram Wi 41/G lambalardan her biri sırasıyla çalıştırılır. Ölçüm mesafesi ve lambaların konumu değişmemelidir. Fotometreden en az 10 fotoakım değeri alınır ve T_{ort} bulunur. Lambaların ışık şiddeti değeri $I(cd) = T_{ort}/S$ olarak bulunur. Ölçümleri 3 kere daha

tekrarlayıp, $I_{ölç}(cd) = (I_1 + I_2 + I_3)/3$ hesaplanır. Böylelikle, her lamba için voltaj ve akımına karşılık ışık şiddeti değeri belirlenmiş olur.

Bu işlemler sonucu ulusal standartın birinci seviye çalışma standartına transferi gerçekleştirilmiş olur.

3. Birincil Standart

Fotometrik ve radyometrik nicelikler arasındaki bağıntı, yeni tanıma göre aşağıdaki denklemle verilir:

$$I_v = K_m \int I_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda$$

burada,

I_v : Kaynağın ışık şiddeti,

$I_{e,\lambda}$: Kaynağın spektral ışınım şiddeti,

$V(\lambda)$: CIE 'nin ışık etkisi fotopik spektral fonksiyonu,

K_m : Sabit olup, $V(\lambda)$ fonksiyonunun maksimum değer aldığı 555 nm dalgaboylu ışınım gücünün 1 Watt 'ına karşılık olan Lümen 'lerin sayısına eşittir. Yeni tanıma göre $K_m = 683 \text{ lm/W}$ 'dır.

Spektral duyarlılığı $V(\lambda)$ fonksiyonuna kesin uyan ve sınırlayıcı delik alanı a (m^2) olan ideal fotometreden d (m) uzaklıkta yerleştirilmiş, ışık şiddeti I_v (cd), ışınım şiddeti ise $I_{e,\lambda}$ ($\text{Wsr}^{-1}\text{nm}^{-1}$) olan bir kaynak düşünelim (Şekil 1).

Tanıma göre,

$$I_v = 683 \int I_{e,\lambda} \cdot s(555) \cdot s(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$\phi_{e,\lambda} = \frac{I_{e,\lambda}}{w}$$

burada,

$$w = \frac{d^2}{a}$$

olduğundan,

$\phi_{e,\lambda}$, birimi Wnm^{-1} olan spektral ışınım akısıdır. Gerçek fotometrenin ise $V(\lambda)$ eğrisine yakın $s_n(\lambda)$ göreceli spektral duyarlılığı ve 555 nm 'de $s(555)$ birim/Watt ($V(\lambda)$

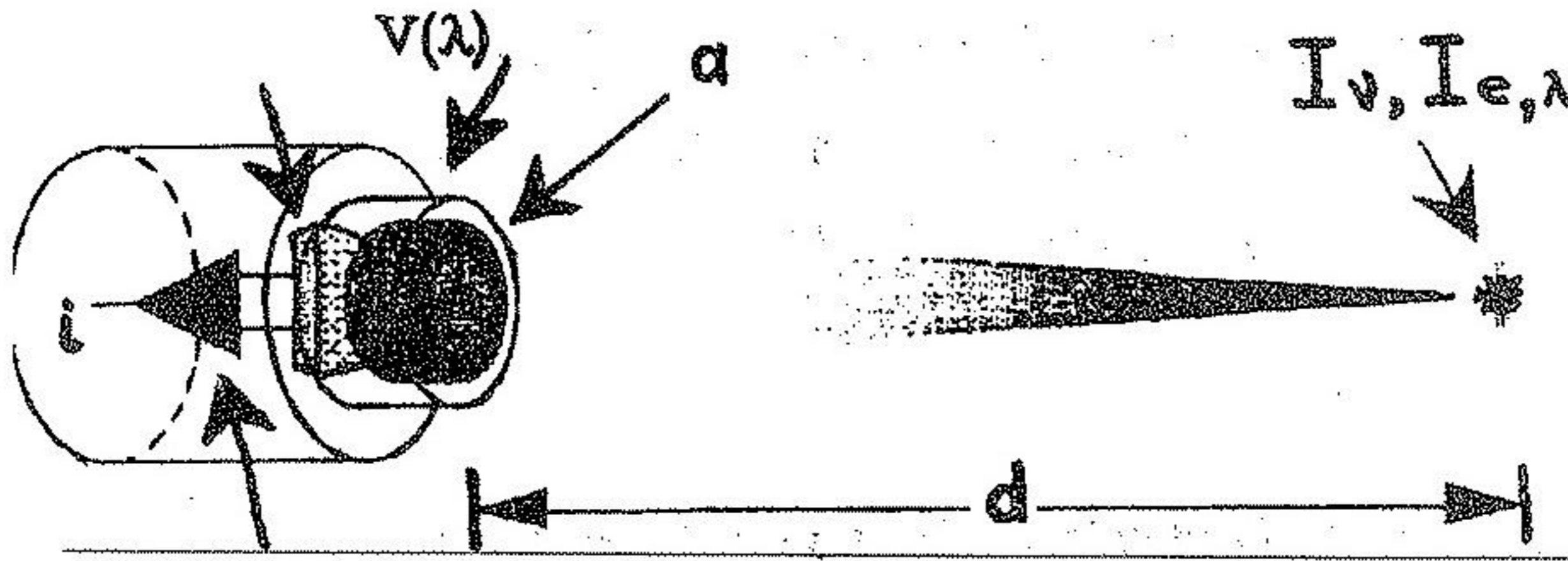
fonksiyonunun tepesi) mutlak duyarlılığı vardır. Bu yüzden, fotometrenin çıktısı, yüzeyi $\phi_{e,\lambda}$ akısı ile ışınlatıldığında

$$i = \int \phi_{e,\lambda} s(555) s_n(\lambda) d\lambda$$

Böyle ise,

$$I_v = 683 \frac{d^2}{a} F \frac{i}{s(555)}$$

burada F terimine renk düzeltme faktörü denir (CCF- color correction factor) ve



Şekil 1. Kandela ölçüm diyagramı

$$F = \frac{\int \phi_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda}{\int \phi_{e,\lambda} s(\lambda)_n d\lambda}$$

olarak tanımlanır. CCF gerçek fotometrenin göreceli spektral duyarlılığı $s(\lambda)$ 'nin $V(\lambda)$ fonksiyonundan sapmasını hesaba katmış olur.

Özetle, Kandela'nın yeni tanımına göre gerçekleştirilmesi için aşağıdaki ölçümlerin yapılması gerekir:

1. Fotometrenin mutlak $s(555)$ ve göreceli $s_n(\lambda)$ spektral duyarlılıklarının ölçülmesi.
2. Fotometrenin göreceli spektral duyarlılığını, lambanın göreceli spektral güç dağılımını ve $V(\lambda)$ fonksiyonunu bilerek CCF 'ün hesaplanması.
3. Katı açı içinde istenmeyen ışığın girmesi önlenerek kalibre edilecek ışık

kaynağının fotometre ile ölçülmesi.

4. Fotometrenin sınırlayıcı delik alanının ve kaynak-fotometre mesafesinin ölçülmesi.

Fotometrenin mutlak duyarlılığı, Eylül-95 'de laboratuvarında kurulup, çalıştırılacak olan Oxford Instruments üretimi mutlak kriyojenik radyometre ile şiddeti kararlı hale getirilmiş 543,2 nm dalgaboylu ($V(\lambda)_{max}$ 'a yakın) He-Ne lazeri kullanarak ölçülecektir. Bu yolla mutlak kalibre edilmiş fotometreler grubu Kandela birincil standartını oluşturacaktır. Yukarıda sıralanan diğer ölçümlerin yapılmasıyla standart lambalar birincil standart üzerinden kalibre edilecektirler.

Sonuç

Işık şiddeti SI birimi Kandela'nın bir grup kalibre edilmiş standart lamba üzerinden Ulusal Standartı UME 'de oluşturulmuştur.

Kandela'nın birincil olarak UME'de oluşturulması için uygun yöntem belirlenmiş olup, ön çalışmalar sürmektedir.

Kaynaklar

1. W.R Blevin and B. Steiner, "Redefinition of the Candela and the Lumen," Metrologia 11, 97-104, (1975).
2. T.M. Goodman and P.J.Key, "The NPL Radiometric Realization of the candela" Metrologia 25, 29-40, (1988).
3. L.P.Boivin, A.A. Gaertner, and D.S. Gignac, "Realization of the New Candela (1979) at NRC," Metrologia 24, 139-152, (1987).
4. C.L. Cromer, G. Eppeldauer, J.E. Hardis, T.C. Larson and A.C. Parr, "The NIST Detector-Based Photometric Scale", Submitted to Applied Optics, April 23, 1992
5. "Principles Governing Photometry", Metrologia, 19,97-101, (1983).