

SURSE ETALON DE RADIAȚIE OPTICĂ. ETALOANE PRIMARE DE LUMINĂ UTILIZATE PÂNĂ LA ADOPTAREA CORPULUI NEGRU LA TEMPERATURA DE SOLIDIFICARE A PLATINEI CA ETALON PRIMAR

*Gheorghe P. ISPĂȘOIU **

Rezumat: *Articolul prezintă etaloanele de lumină utilizate până la realizarea corpului negru la temperatura de solidificare a platinei și utilizarea acestuia ca etalon primar de radiație optică.. Totodată, sunt prezentate unitățile de măsură materializate de lămpile etalon cu flacără și lămpile cu filament incandescent, care au servit la definirea unității de intensitate luminoasă lumânare internațională.*

Abstract: *In this review we are presenting a historical survey of the light intensity standards used before the establishment of the Platinum freezing point black-body as the primary standard for optical radiation. Also we are presenting the units resulting from the practical use of the standard lamps with flame as well as the standard lamps with incandescent filament which enabled the definition of the **international candle** light intensity unit.*

Cuvinte cheie: *lămpi etalon cu flacără, lămpi etalon cu incandescență, lumânare internațională, corpuri negre etalon de radiație optică, candelă.*

Key words: *standard lamps with flame, incandescence standard lamps, international candle, standard black-body for optical radiation, candela.*

1 Lumânări etalon

Primele surse de lumină utilizate ca etaloane au fost lumânările, ale căror caracteristici (substanță, condiții de întreținere etc.) au fost stabilite, de cele mai multe ori, prin grija Asociațiilor producătorilor de gaz de iluminat. Aceste etaloane au diferit de la o țară la alta: în Franța s-a utilizat lumânarea cu stearină, în Anglia – lumânarea cu spermanțetă, iar în Germania – lumânarea cu parafină.

Lumânările etalon cu stearină, spermanțetă și parafină au materializat unitatea de măsură a intensității luminoase, denumită atunci lumânare.

Intensitatea luminoasă a lumânărilor etalon a prezentat importante și rapide variații de la o utilizare la alta, întrucât depindea de puritatea substanței și de consumul acesteia, precum și de caracteristicile fitilului, înălțimea flăcării, starea atmosferică etc. Oricâte precauții s-ar fi luat la confecționarea, precum și în utilizarea lumânărilor etalon, intensitatea lor luminoasă nu putea fi menținută constantă. Diferența dintre valorile intensității luminoase a lumânărilor etalon de același tip depășea uneori 20 %.

1.1 Lămpi etalon cu flacără

Lumânările etalon au fost înlocuite, începând de la sfârșitul secolului al 18-lea, cu lămpi etalon cu flacără, a căror construcție și utilizare se făceau conform unor prescripții mult mai riguroase.

Lumina unei lămpi cu flacără, care se produce prin incandescența particulelor de cărbune ce se găsesc în suspensie în flacără, depindea de temperatura, forma și dimensiunile flăcării, precum și de starea atmosferică, respectiv de concentrația de oxigen și gaz carbonic din aer, de curenții de aer, presiunea atmosferică și starea higrometrică a aerului.

* Biroul Român de Metrologie Legală, Sos. Vitan Bârzești, Nr. 11, cod 75669, sector 4, București, tel. 332 09 54, fax. 332 06 15

1.1.1 Lampa etalon Carcel

Prima lampă etalon cu flăcără a fost lampa inventată de francezul Carcel, la începutul secolului al 19-lea. Această lampă, care a fost utilizată, începând din anul 1819, ca etalon de lumină în Franța, consuma într-o oră o cantitate de 42 g ulei de rapiță rafinat.

Intensitatea luminoasă a lămpii etalon inventată de Carcel, denumită, ca urmare, lampă etalon Carcel, avea prin definiție valoarea de 1 carcel ≈ 10 lumânări, respectiv 1 lumânare $\approx 0,12$ carcel.

Cu toate că nu asigura o reproductibilitate a intensității luminoase mai bună de 5 % (și aceasta datorită faptului că valorile intensității sale luminoase se modificau în mod apreciabil în timpul funcționării și depindeau de condițiile atmosferice, precum și de direcția de observare), lampa etalon Carcel a fost utilizată în Franța până în 1884, când a fost adoptat etalonul Violle.

1.1.2 Lampa etalon Hefner

Lumânarea etalon cu parafină, a cărei intensitate luminoasă era egală cu circa 0,15 carcel, a fost înlocuită în Germania, în 1884, la propunerea lui Hefner-Alteneck, cu lampa etalon cu acetat de amid pur, care a primit denumirea de lampă etalon Hefner sau etalon Hefner.

Intensitatea luminoasă a etalonului Hefner definea lumânarea Hefner [hefnerkerze, (simbol H.K.)] în condițiile în care flacăra avea înălțimea de 40 mm, presiunea atmosferică era de 760 mmHg, iar atmosfera conținea 8,8 L de vapori de apă și 0,75 L de gaz carbonic într-un metru cub de aer uscat, 1 lumânare Hefner era cu circa 10 % mai mică decât 1 carcel.

Diferența dintre valorile intensității luminoase a diferite lămpi etalon Hefner, alimentate în același condiții atmosferice, atinge adesea o valoare de 1 % și chiar 2 %. Reproducerea cu exactitate a lumânării Hefner depindea de caracteristicile constructive ale etalonului Hefner, precum și de puritatea combustibilului, înălțimea flăcării și condițiile atmosferice (presiune, concentrație de gaze carbonice și umiditate relativă a aerului).

Instabilitatea flăcării, slaba intensitate luminoasă și culoarea (mult mai roșie decât a lămpii etalon Carcel), precum și insuficienta exactitate de reproducere a rezultatelor măsurării cu lumânarea Hefner au făcut ca etalonul Hefner să nu fie pe deplin corespunzător pentru măsurări de mare exactitate.

1.1.3 Lampa etalon Vernon-Harcourt

Lumânarea etalon cu spermanțetă a cărei intensitate luminoasă era egală cu circa 0,13 carcel a fost utilizată în Anglia ca etalon de lumină până în 1887, când a fost înlocuită cu lampa etalon Vernon - Harcourt, denumită astfel după numele inventatorului.

Această lampă ardea un amestec de aer și de vapori de pentan și avea intensitatea luminoasă de 10 lumânări (englezești) în condiții atmosferice normale (presiunea de 760 mmHg și umiditatea aerului de 8 L de vapori de apă într-un metru cub de aer uscat).

Influența stării higrometrice a aerului asupra intensității luminoase a lămpii etalon Vernon - Harcourt era sensibil egală cu cea pentru lampa etalon Hefner, iar influența presiunii atmosferice era de circa 4 ori mai mare decât pentru acest etalon.

Temperatura de culoare a etalonului Vernon - Harcourt era de circa 1920 K, adică mai mare decât cea a etalonului Hefner și mai mică decât cea a lămpilor etalon cu incandescență.

Precizia de măsurare în condiții de reproductibilitate a intensității luminoase a lămpilor etalon Vernon - Harcourt era funcție de caracteristicile lor constructive, precum și de calitățile combustibilului și de condițiile atmosferice. Diferența dintre valorile intensității luminoase a două lămpi etalon Vernon - Harcourt de același tip constructiv, alimentate cu același combustibil, care funcționau în aceleași condiții atmosferice putea ajunge până la 2 % și chiar 4 %, întrucât cele mai mici abateri ale dimensiunilor arzătorului puteau modifica în mod apreciabil forma și temperatura curenților de gaz din jurul flăcării.

Nici unul din cele trei tipuri de etaloane de lumină cu flacără nu definea unitatea de intensitate luminoasă cu o exactitate satisfăcătoare, întrucât corecțiile de aplicat implicau eliminarea influenței variației condițiilor atmosferice (presiunea atmosferică, mișcarea și starea higrometrică a aerului etc.) asupra intensității luminoase a lor, din care cauză erau adesea insuficient de certe.

Culoarea lămpilor etalon cu flacără era diferită, lampa etalon Carcel avea lumina de culoare aproximativ identică cu cea a lămpilor cu filament de cărbune, iar lămpile etalon Hefner și Vernon - Harcourt aveau lumina de culoare roșiatică.

Etaloanelor cu flacără le era comun, de asemenea, neajunsul că nu aveau o funcționare și, implicit, o flacără constantă, ca urmare a faptului că înălțimea fitilului și nivelul combustibilului lor se modificau în permanență.

1.1.4 Etalonul Violle

Incertitudinea de măsurare pe care o generau etaloanele cu flacără în materializarea și în conservarea unității de intensitate luminoasă au făcut să se pună problema realizării unui tip de etalon primar de lumină care să satisfacă mai bine condițiile ce se impun unor astfel de etaloane.

Violle, studiind dependența radiației unui corp incandescent de natura suprafeței și temperatura acestuia, în vederea utilizării temperaturii de modificare a stării corpurilor pure (la presiunea atmosferică) pentru realizarea unui etalon de lumină, a constatat că cel mai indicat metal este, din acest punct de vedere, platina, al cărei punct de topire este suficient de ridicat. Platina avea, în plus, la punctul său de topire, aceeași distribuție spectrală a energiei radiante ca și lampa etalon Carcel.

Rezultatele obținute de Violle în operația de determinare a intensității luminoase a platinei, la punctul său de topire, prin comparație cu lampa etalon Carcel, l-au făcut să propună în 1881 și în 1884, ca unitate de măsură a luminii albe „cantitatea de lumină emisă în direcția normalei a suprafeței având aria de 1 cm^2 a unei băi de platină topită la temperatura sa de solidificare, pe care a găsit-o egală cu 2,08 carcel și a propus să fie denumită „violle”.

Propunerea de adoptare ca unitate de intensitate luminoasă a unității violle a fost ratificată, în 1884, de către Comisia Internațională pentru definirea unităților electrice.

Congresul Internațional al Electricienilor a definit, în 1889, o unitate practică de măsură a intensității luminoase egală, prin convenție, cu a 20-a parte din unitatea violle, respectiv cu 0,104 carcel, căreia i s-a dat denumirea de „lumânare zecimală”.

Etalonul Violle n-a fost mai bun, în ceea ce privește reproductibilitatea, față de lampa etalon Carcel, care, deși conservată ca etalon secundar de intensitate luminoasă, a continuat să constituie în Franța etalonul primar de lumină până în primii ani ai secolului trecut, când etaloanele cu flacără au început să fie înlocuite cu lămpi etalon cu filament incandescent de o construcție specială.

Etalonul Violle prezenta, de asemenea, inconvenientul utilizării unui dispozitiv de încălzire foarte complicat, precum și al necesității unei mase considerabile de platină. Inconveniente similare au prezentat și aparatele etalon realizate de Petavel, Siemens, Lummer și Kurlbaum pe baza unor principii aproape identice cu cel care a stat la baza etalonului Violle.

Rezultatele obținute în urma experimentării etaloanelor de lumină care se bazau pe radiația optică la punctul de solidificare al platinei au dus la concluzia că este practic imposibil ca acestea să fie realizate astfel încât să asigure o stabilitate și o reproductibilitate corespunzătoare a măsurărilor. Dificultățile pe care le prezenta măsurarea radiației optice totale au făcut ca exactitatea de măsurare asigurată de etaloane să fie nesatisfăcătoare.

1.1.5 Lămpi etalon cu filament incandescent

Lămpile etalon cu filament de cărbune, care au fost adoptate ca etalon primar în locul lămpilor cu flacără, au servit la definirea și punerea în practică a unității de intensitate luminoasă până la realizarea corpului negru la temperatura de solidificare a platinei; după aceea, ele au continuat să fie utilizate ca etaloane secundare sau ca etaloane de comparație.

Intensitatea luminoasă a lămpilor cu filament de cărbune, primele lămpi cu filament incandescent care au fost utilizate ca etaloane primare de lumină, era, de exemplu, remarcabil de

constantă timp de câteva zeci de ore de funcționare a acestora, dacă diferența de potențial la borne se menținea constantă cu o precizie de $\pm 0,01$ %, iar dacă tensiunea electrică varia cu ± 1 %, atunci intensitatea luminoasă varia cu ± 6 %. În plus, culoarea lămpilor etalon cu filament de cărbune era mai albă decât cea a etaloanelor cu flacără. Acestor avantaje li se adaugă și avantajul care rezultă din faptul că utilizarea lămpilor electrice este simplă și nu implică nici o corecție pentru eliminarea influenței variației stării atmosferice.

Valoarea numerică a intensității luminoase a lămpilor etalon primar cu filament de cărbune, a căror temperatură de culoare este, în condiții de funcționare la tensiunea electrică nominală, de circa 2050 K, a fost determinată prin comparație cu lămpi etalon primar cu flacără.

Lămpile etalon primar cu filament de cărbune s-au utilizat, ca orice etalon primar de lumină, doar pentru etalonarea și verificarea periodică a lămpilor etalon secundar de intensitate luminoasă, care au fost utilizate, la rândul lor, doar pentru etalonarea și verificarea periodică a lămpilor etalon de lucru de intensitate luminoasă.

Lumânările - unități de măsură a intensității luminoase, care erau definite de lămpile etalon primar cu filament de cărbune, difereau, la începutul secolului al 20-lea, de la o țară la alta, cu o valoare ce depășea erorile de măsurare fotometrice propriu-zise. Biroul Național de Etaloane (N.B.S., în prezent N.I.S.T.) din S.U.A., a cărui activitate în domeniul fotometriei a început în 1903, a propus, ca urmare, în 1909, pe baza rezultatelor obținute în cadrul comparării etaloanelor secundare de intensitate luminoasă ale S.U.A., Marii Britanii și Franței, să modifice etaloanele primare de lumină ale acestor state, respectiv unitățile lor de intensitate luminoasă, astfel încât să se obțină o unitate unică pentru intensitatea luminoasă, care să fie denumită **lumânare internațională**.

Propunerea de a se adopta lumânarea internațională ca unitate de măsură a intensității luminoase cu utilizare internațională a fost aprobată de Comisia Internațională de Iluminat (C.I.E.) în 1921.

Lumânarea internațională a fost adoptată până în 1928 de numeroase țări, între care S.U.A., Franța, Marea Britanie, Olanda, Italia, Japonia, Elveția și U.R.S.S., deoarece această unitate de măsură nu diferea practic de **lumânarea zecimală**.

Lumânarea Hefner, care era cu 10 % mai mică decât lumânarea zecimală, a fost utilizată, totuși, până în 1948, atât în Germania, cât și în alte țări din Europa, care au avut relații economice mai strânse cu Germania. Între aceste țări se afla și România, deși legea din 1922 pentru aplicarea Sistemului Metric de măsuri și greutatea în România, prevedea că „unitatea de măsură legală a intensității luminoase este lumânarea internațională”.

Etalonul primar de intensitate luminoasă, constituit dintr-un grup de lămpi cu filament de cărbune, nu avea, însă, o bază fizică, deși diferența dintre lumânările internaționale ale Laboratoarelor de fotometrie din S.U.A., Marea Britanie și Franța nu depășea 1 %. Se simțea, de aceea, nevoia să se realizeze un etalon primar de lumină, bine fundamentat teoretic, care să asigure o reproductibilitate a măsurărilor satisfăcătoare în toate Laboratoarele naționale, echipate cu utilaje corespunzătoare pentru măsurări fotometrice.

2 Necesitatea adoptării corpului negru ca etalon primar de lumină la temperatura de solidificare a platinei

Renunțarea la lămpile etalon primar de intensitate luminoasă, cu filament de cărbune, se impunea cu absolută necesitate, întrucât aceste tipuri de etaloane de lumină nu satisfăceau condițiile ce se cer pentru un etalon primar, mai ales în ceea ce privește conservarea lor și stabilitatea caracteristicilor electrice și fotometrice. Etalonul primar de lumină trebuie să fie nu numai ușor reproductibil și să-și mențină aceste caracteristici în timp, ci și să se utilizeze cu cât mai multă ușurință; operațiile auxiliare trebuie să fie reduse la minimum.

Soluția optimă a definirii unui etalon primar practic de lumină a fost găsită abia după realizarea primului corp negru, în 1895, de către Wien și Lummer, care s-au bazat în lucrările lor pe definiția teoretică dată acestui tip de radiator termic, în 1860, de către Kirchhoff, care a utilizat, de altfel, pentru prima dată în fizică, noțiunea de **corp negru**.

Pe baza rezultatelor obținute de Wien și Lummer, Blondel a propus, în 1896, să se realizeze un etalon primar de lumină sub forma unei incinte închise, care să fie menținută la temperatura de topire a platinei. A apărut, în acest fel, posibilitatea de a defini etalonul primar de lumină, respectiv etalonul primar de intensitate luminoasă prin luminanța unui corp negru adus la o temperatură bine determinată, deși realizarea acestui nou tip de etalon implică dificultăți destul de mari: asigurarea unei temperaturi cât mai uniforme și efectuarea unei deschideri cât mai mică posibil a incintei, precum și măsurarea cât mai exactă a ariei suprafeței acesteia.

Încercări de realizare a corpului negru etalon de lumină au fost întreprinse, la începutul secolului trecut, în mod independent, de către diferiți cercetători din S.U.A., Germania și Franța. Aceștia au urmărit realizarea noului tip de etalon primar de intensitate luminoasă fie sub forma propusă de Blondel, fie sub o formă în care realizarea cavității termoradiante să se facă pe cale electrică.

x
x x

Istoria trecerii la utilizarea pe plan internațional de la unitatea de intensitate luminoasă **lumânare internațională** la unitatea **lumânare nouă**, pentru care s-a propus denumirea de **candelă**, începe la 1 ianuarie 1940.

Pe baza rezultatelor obținute în încercările efectuate de laboratoarele de fotometrie din S.U.A., Marea Britanie, Franța, Germania și Japonia, Comitetul Consultativ de Fotometrie a propus, în prima sa sesiune, care a avut loc în 1937, ca „începând de la 1 ianuarie 1940, unitatea de intensitate luminoasă să fie astfel încât luminanța corpului negru la temperatura de solidificare a platinei să fie egală cu 60 de unități de intensitate luminoasă pe centimetru pătrat și să se denumească **lumânare nouă**.”

Decizia de adoptare a candelii ca unitate internațională, pregătită de Comisia Internațională de Iluminat (CIE) și, după 1937, de către Comitetul Internațional de Măsuri și Greutăți (CIPM), care a promulgat-o în 1946, a fost ratificată de cea de-a 9-a Conferință Generală de Măsuri și Greutăți (CGPM) (1948), care a hotărât, totodată, ca această unitate de măsură a intensității luminoase să fie denumită internațional **candelă** (cu simbolul cd) și să aibă definiția următoare: „Candela este intensitatea luminoasă, în direcția perpendicularei, a unei suprafețe cu aria de 1/600 000 dintr-un metru pătrat a unui corp negru la temperatura de solidificare a platinei, la presiunea atmosferică de 101 325 newtoni pe metru pătrat”.

Între cele două unități de măsură, candelă și lumânare internațională, care erau materializate cu lămpi electrice cu filament de cărbune și, respectiv, cu radiatoare Planckiene (corpuri negre) la temperatura de solidificare a platinei există relația: 1 candelă (etalon internațional) = 0,98 cd.

Amendarea definiției din 1946 candelii a fost făcută de cea de-a 13-a CGPM (1967-1968).

În 1979, cea de-a 16-a CGPM a adoptat, prin Rezoluția 3, pentru unitatea de măsură candelă; definiția următoare: Candela este intensitatea luminoasă, într-o direcție dată, a unei surse care emite radiația monocromatică cu frecvența de 540×10^{12} hertz și care are o intensitate radiantă în acea direcție de 1/683 dintr-un watt pe steradian.

Această definiție a făcut posibilă eliminarea dificultăților existente în realizarea radiatorului Planckian (corpul negru) la temperaturi înalte și măsurarea, de exemplu, a puterii optice de radiație optică cu largă utilizare în numeroase domenii ale opticii: pirometrie, radiometrie, spectroradiometrie, fotometrie, spectrofotometrie, colorimetrie etc. Și, laboratoare care dispun de un radiator integral la o temperatură mai înaltă de 1000 °C îl utilizează în lucrările lor de cercetare.

Despre istoricul realizării radiatorului Planckian la temperatura de solidificare a platinei sau la alte temperaturi înalte, ca și despre modalitățile de punere în practică a celor două definiții ale candelii, sunt de așteptat noi lucrări de „istorie a etaloanelor și unităților de măsură” fotometrice și radiometrice, implicat cu privire la adoptarea și utilizarea lor în România și în alte țări.

NOTĂ – La elaborarea acestui articol am avut în vedere documente publicate de Biroul Internațional de Măsuri și Greutăți (BIPM) [1] și Organizația Internațională de Standardizare (ISO) [2], precum și procese verbale ale (lucrărilor) Comitetului Consultativ de Electricitate și Fotometrie [5-8] și ale

Comitetului Consultativ de Fotometrie [9], procese verbale ale ședințelor Comitetului Internațional de Măsură și Greutăți (CIPM) [10, 11], rapoarte ale Conferințelor Generale de Măsură și Greutăți (CGPM) – cea de-a 9-a (1948) [12], cea de-a 13-a (1967-1968) [13] și cea de-a 16-a (1979) [14]. Au constituit o bază teoretică și au prezentat date experimentale utile lucrările unor autori de prestigiu în domeniul fotometriei din SUA [3] și Franța [4, 15]. Lucrarea [16], punct de plecare în ideea publicării acestui articol în revista „Metrologie”, se încheie cu trimitere la referința [17], și ea determinantă în această idee. Sunt dați în această lucrare factorii de conversie exprimați cu 7 cifre semnificative. Astfel, exprimată în unitatea **candelă** (candela în U.S.A), unitatea **lumânare internațională** [(respectiv unitatea **candela** (international standard)] are valoarea numerică 0,981 6667.

Prezentăm, ca o sinteză a celor relatate, valori ale unor unități ale intensității luminoase exprimate în unitatea SI candelă (cd):

lumânare zecimală [bougie decimale (Franța)]	1,022 5694
lumânare nouă [bougie nouvelle (Franța)]	1
candele (new)	1
candela (etalon internațional) [candle international standard]	0,981 6667
carcel	0,102 1505
lumânare Hefner [hefnerkerze (H.C) Germania]....	1,090 5302
violle	0,094
lumen/steradian [lm/Ω]	1
lumen-metru pătrat/steradian [$\text{lm}\cdot\text{m}^2/\Omega$].....	1
watt/steradian (la $\nu = 540 \times 10^{12}$ Hz)	0,001 4641

Rezultatele acestea constituie dovezi ale corectitudinii trecerii de la unitățile de măsură ale intensității luminoase materializate cu lămpi etalon cu flacără la lămpi etalon cu incandescență și, apoi, la radiatoare Planckiene, dar și o dovadă a interesului față de această problemă.

REFERINȚE

- [1] BIPM, SI Brochure, 8th edition, 2006
- [2] ISO, International Vocabulary of basic and general terms in metrology (VIM), Third edition, 2006
- [3] Burges, G.C, Proposition concernant l'étalon primaire de lumière, Procès-Verbaux du Comité Consultatif d'Électricité, t.14, 1931, pp 249-257
- [4] Fleury, P., Etalons Photométriques, Paris, 1932, 122 p
- [5] Phisikalisch-Technische Reinchanstalt, Communication au sujet de l'unité de lumière (présentée au Comité Consultatif d'Électricité et de Photométrie), Procès-Verbaux du Comité Consultatif d'Électricité et de Photométrie, t.16, 1933, pp 240-242
- [6] National Bureau of Standards, Travaux au National Bureau of Standards sur l'étalon de lumière de Waidner et Burges (depuis la réunion du Comité Consultatif d'Électricité et de Photométrie, t.16, 1933, pp 254-255
- [7] National Physical Laboratory, Extrait du rapport sur l'étalon primaire de lumière (proposée par le Bureau of Standards), Procès-Verbaux du Comité Consultatif d'Électricité et de Photométrie, t.16, 1933, pp 256-260
- [8] National Bureau of Standards, Procédure proposée pour l'étabilsment d'une système international cohérent d'unités photométriques, Procès-Verbaux du Comité Consultatif d'Électricité et de Photométrie, t.16, 1933, pp 228-239
- [9] Comité Consultatif de Photométrie, Procès-Verbaux des séances, t.19, 1933, p.7
- [10] Comité International des Poids et Mesures, Procès-Verbaux du CIPM, 1937, t.18, pp 64 et 236
- [11] Comité International des Poids et Mesures, Procès-Verbaux des séances du CIPM, t.20, 1946, p.119
- [12] La 9^e Conférence Général des Poids et Mesures (1948), Comptes Rendus des séances de la CGPM, p.64
- [13] La 13^e Conférence Général des Poids et Mesures (1967/1968), Comptes Rendus des séances de la CGPM, p.104
- [14] La 16^e Conférence Général des Poids et Mesures (1979), Rezolution 3

[15] Debure, M., L'étalon primaire de lumière, Lux No 3, pp 83-87 et No 4, pp 117-123

[16] Ispășoiu, Gheorghe, Surse etalon de radiație optică. Referat de doctorat, decembrie 1972, 83 p, 88 referințe bibliografice

[17] Young, A. Richard and Glover, J. Thomas, Measure for Measure, S.U.A, June 2000

- Articolul a fost primit în data de 23 aprilie 2006 și a fost acceptat în data de 25 mai 2006
- Revizia științifică: prof.univ.dr.ing. Fănel IACOBESCU



- Consilier tehnic al BRML
- Membru al Consiliului Științific al BRML-INM
- Președinte al CT 58 - Metrologie de pe lângă BRML-INM
- Secretar general de redacție al revistei Metrologie

Gheorghe P. ISPĂȘOIU^{*)}

^{*)} C.s.I fiz. Gheorghe P. Ispășoiu desfășoară activitate la BRML, de la 15 mai 2001, și are responsabilitățile specificate. Anterior, respectiv de la 1 octombrie 1958, a desfășurat cercetare științifică la Institutul Național de Metrologie, având, succesiv, gradul științific de cercetător metrolog (1958), cercetător științific (1960), cercetător științific principal (1963), cercetător principal III (1970), cercetător principal II (1978) și cercetător principal I (1990).