

Documents préparatoires (1982) en vue d'une
nouvelle définition du mètre

Ce document réunit :

- 1.- Les projets des Résolutions A et B qui seront présentés en octobre 1983 à la 17^e Conférence Générale des Poids et Mesures pour la nouvelle définition du mètre.

Le texte de la Résolution A est celui de la Recommandation M 1 (1982) du CCDM amendé par le CCU et le CIPM.

- 2.- Deux extraits du rapport de la 7^e session du CCDM tel qu'il sera publié.

- a) La Recommandation M 2 (1982) du CCDM dans sa forme finale après amendements par le CCU et le CIPM, avec la liste des radiations recommandées. Cette Recommandation ne peut pas entrer en vigueur avant que les Résolutions A et B aient été adoptées par la CGPM.
- b) L'Annexe M 4 de ce rapport qui contient les données utilisées pour établir la liste des radiations recommandées et la bibliographie commentée correspondante.

Décembre 1982

Bureau International des Poids et Mesures
F-92310 SEVRES

Projet de Résolution A

La Dix-septième Conférence Générale des Poids et Mesures,

CONSIDERANT

que la définition actuelle ne permet pas une réalisation du mètre suffisamment précise pour tous les besoins ;

que les progrès réalisés dans l'asservissement des lasers permettent d'obtenir des radiations plus reproductibles et plus faciles à utiliser que la radiation étalon émise par une lampe à krypton 86 ;

que les progrès réalisés dans la mesure des fréquences et des longueurs d'onde de ces radiations ont abouti à des déterminations concordantes de la vitesse de la lumière dont l'exactitude est limitée principalement par la réalisation du mètre dans sa définition actuelle ;

que les valeurs des longueurs d'onde déterminées à partir de mesures de fréquence et d'une valeur donnée de la vitesse de la lumière ont une précision supérieure à celle qui peut être obtenue par comparaison avec la longueur d'onde de la radiation étalon du krypton 86 ;

qu'il y a avantage, notamment pour l'astronomie et la géodésie, à maintenir inchangée la valeur de la vitesse de la lumière recommandée en 1975 par la 15^e Conférence Générale des Poids et Mesures, dans sa Résolution 2 ($c = 299\ 792\ 458\ \text{m/s}$) ;

qu'une nouvelle définition du mètre a été envisagée sous diverses formes qui ont toutes pour effet de donner à la vitesse de la lumière une valeur exakte, égale à la valeur recommandée, et que cela n'introduit aucune discontinuité appréciable de l'unité de longueur, compte tenu de l'incertitude relative de $\pm 4 \times 10^{-9}$ des meilleures réalisations du mètre dans sa définition actuelle ;

que ces diverses formes, faisant appel soit au trajet parcouru par la lumière dans un intervalle de temps spécifié, soit à la longueur d'onde d'une radiation de fréquence mesurée ou de fréquence spécifiée, ont fait l'objet de consultations et de discussions approfondies, qu'elles ont été reconnues équivalentes et qu'un consensus s'est dégagé en faveur de la première forme ;

que le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre est dès maintenant en mesure de donner des instructions pour la mise en pratique d'une telle définition, instructions qui pourront inclure l'emploi de la radiation orangée du krypton 86 utilisée jusqu'ici comme étalon et qui pourront être complétées ou révisées par la suite ;

DECIDE

1° Le mètre est la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de $1/299\ 792\ 458$ de seconde.

2° La définition du mètre en vigueur depuis 1960, fondée sur la transition entre les niveaux $2p_{10}$ et $5d_5$ de l'atome du krypton 86, est abrogée.

Projet de Résolution B

La Dix-septième Conférence Générale des Poids et Mesures,

INVITE le Comité International des Poids et Mesures

à établir des instructions pour la mise en pratique de la nouvelle définition du mètre ;

à choisir des radiations qui puissent être recommandées comme étalons de longueur d'onde pour la mesure interférentielle des longueurs et à établir des instructions pour leur emploi ;

à poursuivre les études entreprises pour améliorer ces étalons.

Mise en pratique de la définition du mètre dans l'hypothèse de l'adoption par la CGPM d'une définition conforme à la Recommandation M 1 (1982)

Recommandation M 2 (1982)

Le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre

recommande

- que le mètre soit réalisé par l'une des méthodes suivantes :

a.- au moyen de la longueur \underline{l} du trajet parcouru dans le vide par une onde électromagnétique plane pendant la durée \underline{t} ; cette longueur est obtenue à partir de la mesure de la durée \underline{t} , en utilisant la relation $\underline{l} = \underline{c} \underline{t}$ et la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide $c = 299\ 792\ 458 \text{ m/s}$;

b.-au moyen de la longueur d'onde dans le vide $\underline{\lambda}$ d'une onde électromagnétique plane de fréquence \underline{f} ; cette longueur d'onde est obtenue à partir de la mesure de la fréquence \underline{f} , en utilisant la relation $\underline{\lambda} = \underline{c}/\underline{f}$ et la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide $c = 299\ 792\ 458 \text{ m/s}$;

c.- au moyen de l'une des radiations de la liste ci-dessous, radiations pour lesquelles on peut utiliser la valeur donnée de la longueur d'onde dans le vide ou de la fréquence, avec l'incertitude indiquée, pourvu que l'on observe les conditions spécifiées et le mode opératoire reconnu comme approprié ;

- et que dans tous les cas les corrections nécessaires soient appliquées pour tenir compte des conditions réelles telles que diffraction, gravitation ou imperfection du vide.

Les valeurs numériques ci-dessous doivent être considérées comme provisoires en ce qui concerne le dernier chiffre significatif ; la liste ne sera définitive qu'après adoption et publication par le CIPM.

LISTE DES RADIATIONS RECOMMANDÉES, 1982

Dans cette liste, les valeurs de la fréquence f et de la longueur d'onde λ d'une même radiation devraient être liées exactement par la relation $\lambda f = c$, avec $c = 299\ 792\ 458$ m/s mais les valeurs de λ sont arrondies.

1.- Radiations de lasers asservis sur des raies d'absorption saturée*

1.1.- Molécule absorbante CH_4 , transition v_3 , P(7), composante $F_2^{(2)}$.

$$\begin{aligned} \text{Les valeurs } f &= 88\ 376\ 181\ 608 \quad \text{kHz} \\ \underline{\lambda} &= 3\ 392\ 231\ 397,0 \quad \text{fm} \end{aligned}$$

avec une incertitude globale relative estimée de $\pm 1,3 \times 10^{-10}$ [qui résulte d'un écart-type estimé de $0,44 \times 10^{-10}$ en valeur relative] s'appliquent à la radiation émise par un laser à He-Ne asservi à l'aide d'une cellule à méthane, située à l'intérieur ou à l'extérieur du laser, lorsque les conditions suivantes sont respectées dans la cellule :

pression du méthane ≤ 3 Pa,
puissance surfacique moyenne sur l'axe transportée par les**
faisceaux, dans un seul sens, à l'intérieur de la cavité**
 $\leq 10^4 \text{ W/m}^2$,
rayon de courbure des surfaces d'onde ≥ 1 m,
différence relative de puissance entre les deux ondes qui se
propagent en sens inverse l'une de l'autre $\leq 5\%$.

1.2.- Molécule absorbante $^{127}\text{I}_2$, transition 17-1, P(62), composante o.

$$\begin{aligned} \text{Les valeurs } f &= 520\ 206\ 808,51 \quad \text{MHz} \\ \underline{\lambda} &= 576\ 294\ 760,27 \quad \text{fm} \end{aligned}$$

avec une incertitude globale relative estimée*** de $\pm 6 \times 10^{-10}$ [qui résulte d'un écart-type estimé de 2×10^{-10} en valeur relative] s'appliquent à la radiation émise par un laser à colorant (ou à la radiation émise par un laser à He-Ne et doublée en fréquence) asservi à l'aide d'une cellule à iodé, située à l'intérieur ou à l'extérieur du laser, ayant un point froid à la température de $6^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$.

1.3.- Molécule absorbante $^{127}\text{I}_2$, transition 11-5, R(127), composante i.

$$\begin{aligned} \text{Les valeurs } f &= 473\ 612\ 214,8 \quad \text{MHz} \\ \underline{\lambda} &= 632\ 991\ 398,1 \quad \text{fm} \end{aligned}$$

avec une incertitude globale relative estimée de $\pm 1 \times 10^{-9}$ [qui résulte d'un écart-type estimé de $3,4 \times 10^{-10}$ en valeur relative] s'appliquent à la radiation émise par un laser à He-Ne asservi à l'aide d'une cellule à iodé intérieure au laser, lorsque les conditions suivantes sont respectées :

température des parois de la cellule comprise entre 16 °C et 50 °C avec un point froid à 15 °C ± 1 °C, puissance moyenne transportée par les faisceaux dans un seul sens, à l'intérieur de la cavité ** 20 mW ± 5 mW, modulation de la fréquence, amplitude de crête à creux 6 MHz ± 1 MHz.

1.4.- Molécule absorbante $^{127}\text{I}_2$, transition 9-2, R(47), composante o.

Les valeurs $\underline{f} = 489\ 880\ 355,1$ MHz
 $\underline{\lambda} = 611\ 970\ 769,8$ fm

avec une incertitude globale relative estimée de $\pm 1,1 \times 10^{-9}$ [qui résulte d'un écart-type estimé de $3,7 \times 10^{-10}$ en valeur relative] s'appliquent à la radiation émise par un laser à He-Ne asservi à l'aide d'une cellule à iodé, située à l'intérieur ou à l'extérieur du laser, ayant un point froid à la température de - 5 °C ± 2 °C.

1.5.- Molécule absorbante $^{127}\text{I}_2$, transition 43-0, P(13), composante a_3 (quelquefois dénommée composante s).

Les valeurs $\underline{f} = 582\ 490\ 603,6$ MHz
 $\underline{\lambda} = 514\ 673\ 466,2$ fm

avec une incertitude globale relative estimée de $\pm 1,3 \times 10^{-9}$ [qui résulte d'un écart-type estimé de $4,3 \times 10^{-10}$ en valeur relative] s'appliquent à la radiation émise par un laser à Ar⁺ asservi à l'aide d'une cellule à iodé, située à l'intérieur ou à l'extérieur du laser, ayant un point froid à la température de - 5 °C ± 2 °C.

Notes

* Chacune de ces radiations peut être remplacée, sans perte d'exactitude, par une radiation correspondant à une autre composante de la même transition, ou par une autre radiation, lorsque la différence de fréquence correspondante est connue avec une exactitude suffisante. Des détails sur les méthodes d'asservissement sont décrits dans de nombreuses publications scientifiques ou techniques. Des exemples de conditions expérimentales considérées comme convenables sont décrits, pour telle ou telle radiation, dans des publications dont les références peuvent être obtenues auprès des laboratoires membres du CCDM ou auprès du BIPM.

** La puissance transportée par les faisceaux, dans un seul sens, à l'intérieur de la cavité, est obtenue en divisant la puissance de sortie par le facteur de transmission du miroir de sortie.

*** Cette incertitude, de même que les valeurs de f et de λ , est fondée sur la moyenne pondérée de deux déterminations seulement. Cependant, la plus précise de ces deux déterminations a été obtenue exclusivement par multiplication et mélange de fréquences à partir de la radiation précédente (paragraphe 1.1).

2.- Radiations de lampes spectrales

2.1.- Radiation correspondant à la transition entre les niveaux $2p_{10}$ et $5d_5$ de l'atome de ^{86}Kr .

La valeur $\lambda = 605\ 780\ 210,2\ \text{fm}$

avec une incertitude globale relative estimée de $\pm 4 \times 10^{-9}$ [qui résulte d'un écart-type estimé de $1,3 \times 10^{-9}$ en valeur relative] s'applique à la radiation émise par une lampe utilisée dans les conditions recommandées par le CIPM (Procès-Verbaux CIPM, 49^e session, 1960, pp. 71-72 et Comptes Rendus 11^e CGPM, 1960, p. 85).

2.2.- Les radiations des atomes de ^{86}Kr , ^{198}Hg et ^{114}Cd recommandées par le CIPM en 1963 (Comité Consultatif pour la Définition du Mètre, 3^e session, 1962, pp. 18-19 et Procès-Verbaux CIPM, 52^e session, 1963, pp. 26-27) avec les valeurs indiquées pour leur longueur d'onde et pour l'incertitude correspondante.

ANNEXE M 4

Données utilisées pour établir la liste
des radiations recommandées, 1982

Cette Annexe a été établie à partir du Document CCDM/82-4 en tenant compte des données nouvelles communiquées à la 7^e session du CCDM.

Les nombres entre crochets renvoient à la bibliographie commentée, à la fin de cette Annexe.

Les valeurs des fréquences (et des longueurs d'onde) des radiations de lasers peuvent être influencées par certaines conditions expérimentales telles que la pression et la pureté du milieu absorbant, la puissance transportée par les faisceaux à travers ce milieu, la géométrie des faisceaux, ainsi que par d'autres effets, extérieurs au laser lui-même, liés au dispositif d'asservissement. Cette influence reste à l'intérieur des limites d'incertitude indiquées si l'on se place dans le domaine des conditions expérimentales correspondant à l'ensemble des données utilisées ci-dessous.

1.1.- Transition ν_3 ; P(7) composante $F_2^{(2)}$ de la molécule CH_4
($\lambda \approx 3,39 \mu\text{m}$)

Les déterminations absolues de fréquence ont donné :

NBS, 1972 [1]	$f_{\text{CH}_4} = (88\ 376\ 181\ 627 \pm 50) \text{ kHz}$
NPL, 1976 [2]	608 \pm 43
VNIIFTRI (IMPR), 1979 [3,7]	596,4 \pm 10
NRC, 1979 [4]	570 \pm 200
NPL, 1980 [5]	616 \pm 3
LPTF, 1980 [6]	618 \pm 13,8
VNIIFTRI (IMPR), 1981 [7]	603,4 \pm 1,4
LPTF, 1981 [8]	612 \pm 11
IT (Novosibirsk), 1981 [9]	603,0 \pm 3,0

Les déterminations dont l'incertitude est supérieure à ± 20 kHz ne sont pas retenues pour le calcul de la moyenne ; on a calculé une moyenne non pondérée.

Moyenne $f_{\text{CH}_4} = 88\ 376\ 181\ 608,1 \text{ kHz.}$

Ecart-type de la moyenne $3,5 \text{ kHz.}$

L'incertitude due au défaut de reproductibilité de fréquence de la radiation émise par un laser asservi sur l'absorption saturée du méthane est évaluée à ± 5 kHz.

Ecart-type correspondant $1,7 \text{ kHz.}$

Incertitude composée (écart-type)
soit en valeur relative $3,9 \text{ kHz,}$
 $0,44 \times 10^{-10}.$

Une détermination relative (NRC, 1977 [10]) donne

$$f_{\text{CH}_4} = 88\ 376\ 181\ 611 \text{ kHz.}$$

Valeur adoptée :

$$\begin{aligned} f_{\text{CH}_4} &= 88\ 376\ 181\ 608 \text{ kHz,} \\ \text{écart-type} &\quad 3,9 \text{ kHz,} \\ \text{écart-type relatif} &\quad 0,44 \times 10^{-10}. \end{aligned}$$

On en déduit, pour la longueur d'onde correspondante :

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{CH}_4} &= 3\ 392\ 231\ 397,0 \text{ fm,} \\ \text{écart-type} &\quad 0,15 \text{ fm,} \\ \text{écart-type relatif} &\quad 0,44 \times 10^{-10}. \end{aligned}$$

(La valeur recommandée par le CCDM, 5^e session, Recommandation M 1 (1973), était

$$\lambda_{\text{CH}_4} = 3\ 392\ 231,40 \times 10^{-12} \text{ m,}$$

avec une incertitude relative estimée à $\pm 4 \times 10^{-9}$, qui résulte d'un écart-type relatif estimé de $1,3 \times 10^{-9}$.)

1.2.- Transition 17-1 ; P(62), composante o, de la molécule $^{127}\text{I}_2$ ($\lambda \approx 576 \text{ nm}$)

1.2.1.- Détermination de la fréquence de cette composante uniquement à l'aide de mesures de fréquences

$$\begin{aligned} \text{NBS, 1982 [11]} \quad f_o &= 520\ 206\ 808,535 \text{ MHz} \\ \text{écart-type relatif} &\quad 1,5 \times 10^{-10}. \end{aligned}$$

1.2.2.- Détermination de la fréquence f_o à partir de f_i (voir 1.3)

La valeur suivante a été obtenue pour le rapport de la fréquence f_o de cette transition à la fréquence notée ci-après f_i :

$$\begin{aligned} \text{NPL, 1982 [12]} \quad f_o/f_i &= 1,098\ 381\ 317\ 26 \\ \text{écart-type relatif} &\quad 1 \times 10^{-10}. \end{aligned}$$

En utilisant la valeur de f_i et son écart-type (voir 1.3.4), on obtient

$$\begin{aligned} f_o &= 520\ 206\ 808,362 \text{ MHz} \\ \text{écart-type relatif} &\quad 3,5 \times 10^{-10}. \end{aligned}$$

1.2.3.- Valeur moyenne de la fréquence f_o

A l'aide des valeurs de f_o données en 1.2.1 et 1.2.2, on calcule une moyenne pondérée (voir, dans la liste des radiations recommandées, 1982, la Note **)

$$f_o = 520\ 206\ 808,508 \text{ MHz.}$$

Le calcul de l'écart-type de cette moyenne conduit, en tenant compte de la pondération, à la valeur 0,063 MHz. Etant donné le petit nombre de déterminations, le CCDM a estimé prudent de calculer l'écart-type sans tenir compte de la pondération ; on obtient 0,106 MHz.

Valeur adoptée

$$f_0 = 520\ 206\ 808,51 \text{ MHz}, \\ \text{écart-type } 0,11 \text{ MHz}, \\ \text{écart-type relatif } 2,0 \times 10^{-10};$$

d'où

$$\lambda_0 = 576\ 294\ 760,27 \text{ fm}, \\ \text{écart-type } 0,12 \text{ fm}, \\ \text{écart-type relatif } 2,0 \times 10^{-10}.$$

1.3.- Transition 11-5 ; R(127), composante i, de la molécule $^{127}\text{I}_2$ ($\lambda \approx 633 \text{ nm}$)

1.3.1.- Détermination de la fréquence de cette composante à partir de f_{CH_4}

On peut déterminer le rapport de cette fréquence f_i à celle du méthane de façon indirecte en utilisant une autre radiation (autre composante de la même transition ou bien autre transition de $^{127}\text{I}_2$ ou $^{129}\text{I}_2$) ; si f_x est la fréquence de cette radiation et λ_x sa longueur d'onde dans le vide, on détermine f_i/f_{CH_4} par la mesure de $\lambda_{\text{CH}_4}/\lambda_x$ et on calcule le rapport cherché en tenant compte de la différence des fréquences :

$$\frac{f_i}{f_{\text{CH}_4}} = \frac{f_x}{f_{\text{CH}_4}} + \frac{f_i - f_x}{f_{\text{CH}_4}} = \frac{\lambda_{\text{CH}_4}}{\lambda_x} + \frac{f_i - f_x}{f_{\text{CH}_4}}$$

A partir des valeurs

NBS, 1976 [13]	$f_i/f_{\text{CH}_4} = 5,359\ 048\ 173\ 77 \times (1 \pm 0,22 \times 10^{-9})$
NPL, 1982 [12]	$172\ 57 \times (1 \pm 0,2 \times 10^{-9})$
PTB, 1982 [14]	$174\ 3 \times (1 \pm 0,35 \times 10^{-9})$

on obtient les valeurs de f_i correspondantes

NBS, 1976	$f_i = 473\ 612\ 214\ 651 \text{ kHz}$
NPL, 1982	545
PTB, 1982	698

On dispose aussi des valeurs suivantes, de moindre précision ; elles ne sont pas retenues.

NPL, 1979 [15]	$f_i/f_{\text{CH}_4} = 5,359\ 048\ 172\ 54 \times (1 \pm 1,5 \times 10^{-9})$
PTB, 1979 [16]	$186 \times (1 \pm 2 \times 10^{-9})$
VNIIM (IMM), 1981 [17]	$164\ 69 \times (1 \pm 3,6 \times 10^{-9})$

1.3.2.- Détermination de la fréquence f_i à partir de la fréquence de la transition R(12) du CO₂ ($\lambda \approx 9,3 \mu\text{m}$)

A partir de la valeur

$$\text{NPL, 1978 [18]} \quad f_i/f_{\text{CO}_2} = 14,719\ 388\ 536 \times (1 \pm 0,4 \times 10^{-9})$$

et en prenant la valeur donnée

$$f_{\text{CO}_2} = (32\ 176\ 079\ 482 \pm 14) \text{ kHz},$$

on obtient $f_i = 473\ 612\ 215\ 461 \times (1 \pm 0,6 \times 10^{-9}) \text{ kHz.}$

On dispose aussi de la valeur suivante, de moindre précision, non retenue

$$\text{NPL, 1974 [19]} \quad f_i/f_{\text{CO}_2} = 14,719\ 388\ 548 \times (1 \pm 1,4 \times 10^{-9})$$

1.3.3.- Détermination de la fréquence f_i uniquement à l'aide de mesures de fréquences

$$\begin{array}{ll} \text{NBS, 1982 [20]} & f_i = 473\ 612\ 214\ 789 \text{ kHz} \\ & \text{écart-type relatif} \quad \quad \quad 1,6 \times 10^{-10}. \end{array}$$

1.3.4.- Valeur moyenne de la fréquence f_i

L'ensemble des valeurs de f_i indiquées en 1.3.1, 1.3.2 et 1.3.3 donne :

$$\begin{array}{ll} \text{Moyenne non pondérée} & f_i = 473\ 612\ 214\ 829 \text{ kHz.} \\ \text{Ecart-type de la moyenne} & 163 \text{ kHz.} \end{array}$$

Valeur adoptée :

$$\begin{array}{ll} f_i = & 473\ 612\ 214,8 \text{ MHz,} \\ \text{écart-type} & 0,16 \text{ MHz,} \\ \text{écart-type relatif} & 3,4 \times 10^{-10}; \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{d'où} & \lambda_i = 632\ 991\ 398,1 \text{ fm,} \\ & \text{écart-type} \quad \quad \quad 0,22 \text{ fm,} \\ & \text{écart-type relatif} \quad 3,4 \times 10^{-10}. \end{array}$$

(La valeur recommandée par le CCDM, 5^e session, Recommandation M 1 (1973), était

$$\lambda_i = 632\ 991,399 \times 10^{-12} \text{ m,}$$

avec une incertitude relative estimée à $\pm 4 \times 10^{-9}$, qui résulte d'un écart-type relatif estimé de $1,3 \times 10^{-9}.$)

1.4.- Transition 9-2 ; R(47), composante o, de la molécule $^{127}\text{I}_2$
($\lambda \approx 612 \text{ nm}$)

Les valeurs suivantes ont été obtenues pour le rapport de la fréquence f'_o de cette transition à la fréquence notée ci-dessus f_i :

LHA-BIPM, 1979 [21]	$f'_o/f_i = 1,034\ 349\ 072\ 88 \times (1 \pm 3 \times 10^{-10})$
BIPM, 1979 [22]	$072\ 21 \times (1 \pm 3,6 \times 10^{-10})$
PTB, 1980 [23]	$072\ 57 \times (1 \pm 3,4 \times 10^{-10})$
NPL, 1982 [12]	$072\ 43 \times (1 \pm 1 \times 10^{-10})$
BIPM, 1982 [24]	$071\ 90 \times (1 \pm 2,1 \times 10^{-10})$

Moyenne non pondérée $f'_o/f_i = 1,034\ 349\ 072\ 40$.

Ecart-type de la moyenne $1,6 \times 10^{-10}$.

On en déduit

$$f'_o = 489\ 880\ 355,1 \text{ MHz},$$

écart-type $0,18 \text{ MHz}$,
écart-type relatif $3,7 \times 10^{-10}$;

d'où

$$\lambda'_o = 611\ 970\ 769,8 \text{ fm},$$

écart-type $0,23 \text{ fm}$,
écart-type relatif $3,7 \times 10^{-10}$.

(La valeur indiquée par le CCDM, 6^e session, 1979, était

$$\lambda'_o = 611\ 970\ 771 \text{ fm},$$

avec une incertitude relative estimée à $\pm 4 \times 10^{-9}$, qui résulte d'un écart-type de $1,3 \times 10^{-9}$.)

1.5.- Transition 43-0 ; P(13), composante a_3 (quelquefois dénommée composante s) de la molécule $^{127}\text{I}_2$ ($\lambda \approx 515 \text{ nm}$)

Les valeurs suivantes ont été obtenues pour le rapport de la fréquence f_{a_3} de cette transition à la fréquence f_i :

BIPM, 1979 [25]	$f_{a_3}/f_i = 1,229\ 889\ 317\ 61 \times (1 \pm 4,3 \times 10^{-10})$
PTB, 1979 [26]	$318\ 15 \times (1 \pm 5 \times 10^{-10})$
NPL, 1982 [12]	$316\ 88 \times (1 \pm 1 \times 10^{-10})$
BIPM, 1982 [27]	$316\ 88 \times (1 \pm 2,5 \times 10^{-10})$

Moyenne non pondérée $f_{a_3}/f_i = 1,229\ 889\ 317\ 38$.

Ecart-type de la moyenne $3,1 \times 10^{-10}$.

On en déduit

$$f_{a_3} = 582\ 490\ 603,6 \text{ MHz},$$

écart-type $0,25 \text{ MHz}$,
écart-type relatif $4,3 \times 10^{-10}$.

d'où

$$\lambda_{a_3} = 514\ 673\ 466,2 \text{ fm},$$

écart-type $0,22 \text{ fm}$,
écart-type relatif $4,3 \times 10^{-10}$.

(La valeur indiquée par le CCDM, 6^e session, 1979, était

$$\lambda_{a_3} = 514\ 673\ 467\ \text{fm},$$

avec une incertitude relative estimée à $\pm 4 \times 10^{-9}$, qui résulte d'un écart-type de $1,3 \times 10^{-9}$.)

2.1.- Transition $2p_{10}-5d_5$ de l'atome ^{86}Kr ($\lambda \approx 606\ \text{nm}$)

Soit f_{Kr} la fréquence de la radiation correspondant à cette transition et émise dans les conditions recommandées par le CIPM [28, 29] ; d'après la définition du mètre (1960) [29] et compte tenu de la valeur expérimentale moyenne obtenue à partir de λ_{Kr} [30] pour la longueur d'onde de la radiation correspondant à la composante i de la transition 11-5 ; R(127) de la molécule $^{127}\text{I}_2$, on peut calculer le rapport

$$\begin{aligned} f_{\text{Kr}}/f_i &= (\lambda_i)_{\text{Kr}} \times (1/\lambda_{\text{Kr}}) \\ &= 632\ 991\ 398,5 \times 10^{-15} \times 1\ 650\ 763,73 = 1,044\ 919\ 242\ 05 \end{aligned}$$

d'où $f_{\text{Kr}} = 494\ 886\ 516,5\ \text{MHz}$

et $\lambda_{\text{Kr}} = 605\ 780\ 210,2\ \text{fm}.$

L'incertitude relative sur ces trois valeurs, estimée à $\pm 4 \times 10^{-9}$, est la conséquence de l'incertitude observée dans la réalisation de la précédente définition du mètre (1960), cette incertitude pouvant être caractérisée par un écart-type relatif de $1,3 \times 10^{-9}$.

(Selon cette définition, la radiation étalon avait pour longueur d'onde

$$\lambda_{\text{Kr}} = 605\ 780\ 210,6\ \text{fm},$$

avec une incertitude relative estimée à l'époque à $\pm 1 \times 10^{-8}$.)

BIBLIOGRAPHIE COMMENTEE

[1] EVENSON (K.M.), WELLS (J.S.), PETERSEN (F.R.), DANIELSON (B.L.), DAY (G.W.), BARGER (R.L.) and HALL (J.L.), Speed of light from direct frequency and wavelength measurements of the methane stabilized laser. Phys. Rev. Lett., 29, No. 19, 1972, pp. 1346-1349.

[2] BLANEY (T.G.), EDWARDS (G.J.), JOLLIFFE (B.W.), KNIGHT (D.J.E.) and WOODS (P.T.), Absolute frequencies of the methane-stabilized He-Ne laser ($3.39 \mu\text{m}$) and the CO_2 , R(32) stabilized laser ($10.17 \mu\text{m}$). J. Phys. D : Appl. Phys., 9, 1976, pp. 1323-1330.

[3] DOMNIN (Y.S.), KOSHELJAEVSKY (N.B.), TATARENKO (V.M.) and SHUMJATSKY (P.S.), Precise frequency measurements in submillimeter and infrared region. IEEE Trans. Instrum. Meas., IM 29, No. 4, 1980, pp. 264-267.

[4] BAIRD (K.M.), SMITH (D.S.) and WHITFORD (B.G.), Confirmation of the currently accepted value 299 792 458 metres per second for the speed of light. Opt. Commun., 31, No. 3, 1979, pp. 367-368.

[5] KNIGHT (D.J.E.), EDWARDS (G.J.), PEARCE (P.R.) and CROSS (N.R.), Measurement of the frequency of the $3.39 \mu\text{m}$ methane-stabilized laser to ± 3 parts in 10^{11} . IEEE Trans. Instrum. Meas., IM 29, No. 4, 1980, pp. 257-264.

[6] CLAIRON (A.), DAHMANI (B.) and RUTMAN (J.), Accurate absolute frequency measurements on stabilized CO_2 and He-Ne infrared lasers. IEEE Trans. Instrum. Meas., IM 29, No. 4, 1980, pp. 268-272.

[7] DOMNIN (Y.S.), KOSHELJAEVSKY (N.B.), TATARENKO (V.M.) and SHUMJATSKY (P.S.), Measurement of the frequency of a He-Ne/ CH_4 laser. JETP Letters, 34, No. 4, 1981, pp. 167-170.

[8] Laboratoire Primaire du Temps et des Fréquences (France), Rapport d'activité, 1981, pp. 24-31.

[9] CHEBOTAYEV (V.P.), Optical time scale. J. Phys. (Paris), Colloque C8, 42, suppl. au N° 12, 1981, pp. C8-505-512.

[10] WHITFORD (B.G.) and SMITH (D.S.), Frequency of the methane-stabilized He-Ne laser at $3.39 \mu\text{m}$ measured relative to the $10.17 \mu\text{m}$ R(32) transition of the CO_2 laser. Opt. Commun., 20, No. 2, 1977, pp. 280-283.

[11] NBS measurement of frequencies in the visible and near I.R. Document CCDM/82-30.

Ce document donne la valeur 520 206 808 547 kHz ; cette valeur a été diminuée de 12 kHz à la demande des représentants du NBS à la 7^e session du CCDM.

[12] NPL, Laser wavelength measurements. Document CCDM/82-34.

Dans ce document, toutes les valeurs doivent être corrigées de $3,5 \times 10^{-11}$ en valeur relative ; en effet, la fréquence du laser à $\lambda \approx 633$ nm doit être augmentée car la température du queusot de la cuve à iodine était de 16 °C au lieu de 15 °C, température de référence retenue pour ce type de laser.

On a considéré que les incertitudes indiquées correspondent à un écart-type.

[13] LAYER (H.P.), DESLATTES (R.D.) and SCHWEITZER (W.G.), Laser wavelength comparison by high resolution interferometry. Applied Optics, 15, No. 3, 1976, pp. 734-743.

Cette publication donne

$$\lambda_{\text{CH}_4} / \lambda_{129\text{I}_2, k, 4^\circ\text{C}} = 5,359\ 049\ 260\ 6 \times (1 \pm 2 \times 10^{-10}).$$

En tenant compte des mesures effectuées au NML et au NPL, on admet

$$f_{127\text{I}_2, i, 15^\circ\text{C}} - f_{129\text{I}_2, k, 4^\circ\text{C}} = (- 96\ 050 \pm 50) \text{ kHz},$$

soit

$$(f_{127\text{I}_2, i, 15^\circ\text{C}} - f_{129\text{I}_2, k, 4^\circ\text{C}}) / f_{\text{CH}_4} = (- 1,086\ 83 \pm 0,000\ 58) \times 10^{-6}.$$

[14] BÖNSCH (G.), Wavelength comparison between methane and iodine stabilized He-Ne lasers. Document CCDM/82-41.

[15] NPL, 1979. Résultat non publié communiqué par W.R.C. Rowley : $\lambda_{\text{CH}_4} / \lambda_{127\text{I}_2, d, 18^\circ\text{C}} = 5,359\ 050\ 040\ 4 \times (1 \pm 1,5 \times 10^{-9})$.

En tenant compte des mesures effectuées au cours de diverses comparaisons internationales, on admet

$$f_{127\text{I}_2, i, 15^\circ\text{C}} - f_{127\text{I}_2, d, 18^\circ\text{C}} = (- 165\ 074 \pm 4) \text{ kHz},$$

soit

$$(f_{127\text{I}_2, i, 15^\circ\text{C}} - f_{127\text{I}_2, d, 18^\circ\text{C}}) / f_{\text{CH}_4} = (- 1,867\ 86 \pm 0,000\ 05) \times 10^{-6}.$$

[16] BÖNSCH (G.), Wavelength comparisons. Document CCDM/79-20.

[17] KAPRALOV (V.P.), MALYSHEV (G.M.), PAVLOV (P.A.), PRIVALOV (V.E.), FOFANOV (Y.A.) and ETSIN (I.S.), Measurement of the wavelength ratio of lasers stabilized by saturated absorption in iodine and methane. Opt. Spectrosc. (USSR), 50, 1981, pp. 34-37.

Cette publication donne

$$\lambda_{\text{CH}_4} / \lambda_{127\text{I}_2, d} = 5,359\ 050\ 033 \pm 3,55 \times 10^{-9} \text{ (pour un niveau de confiance de 0,95).}$$

A partir de

$$f_{127\text{I}_2, i} - f_{127\text{I}_2, d} = (- 165\ 114 \pm 2) \text{ kHz (Document CCDM/82-29)}$$

on calcule

$$(f_{127\text{I}_2, i} - f_{127\text{I}_2, d}) / f_{\text{CH}_4} = (- 1,868\ 31 \pm 0,000\ 02) \times 10^{-6}.$$

[18] BLANEY (T.G.), BRADLEY (C.C.), EDWARDS (G.J.), KNIGHT (D.J.E.), WOODS (P.T.) and JOLLIFFE (B.W.), Absolute frequency measurement of the R(12) transition of CO₂ at 9.3 μm. Nature, 244, No. 5417, 1973, p. 504.

Cette publication donne
 $f_{CO_2} = (32\ 176\ 079\ 482 \pm 28)$ kHz.

BLANEY (T.G.), BRADLEY (C.C.), EDWARDS (G.J.), JOLLIFFE (B.W.), KNIGHT (D.J.E.), ROWLEY (W.R.C.), SHOTTON (K.C.) and WOODS (P.T.), Measurement of the speed of light : I. Introduction and frequency measurement of a carbone dioxide laser. Proc. R. Soc. Lond. A, 355, 1977, pp. 61-88.

Cette publication rectifie comme suit la valeur précédente en donnant la fréquence au centre de la raie, l'incertitude a été réévaluée :

$$f_{CO_2} = (32\ 176\ 079\ 472 \pm 14)$$
 kHz.

Toutefois, pour la détermination de f_i à partir du rapport f_i/f_{CO_2} mesuré au NPL, à la demande du représentant de ce laboratoire, on doit prendre

$$f_{CO_2} = (32\ 176\ 079\ 482 \pm 14)$$
 kHz.

WOODS (P.T.), SHOTTON (K.C.) and ROWLEY (W.R.C.), Frequency determination of visible laser light by interferometric comparison with upconverted CO₂ laser radiation. Applied Optics, 17, 1978, pp. 1048-1054.

Cette publication donne
 $f_{127I_2,d,18^\circ C}/f_{CO_2} = 14,719\ 393\ 666 \times (1 \pm 0,4 \times 10^{-9})$.

Au moyen de la valeur de
 $f_{127I_2,d,18^\circ C} - f_{127I_2,i,15^\circ C}$ donnée en [15], on calcule

$$(f_{127I_2,i,15^\circ C} - f_{127I_2,d,18^\circ C})/f_{CO_2} = (-5,130\ 33 \pm 0,000\ 12) \times 10^{-6}$$

[19] JOLLIFFE (B.W.), ROWLEY (W.R.C.), SHOTTON (K.C.), WALLARD (A.J.) and WOODS (P.T.), Accurate wavelength measurement on up-converted CO₂ laser radiation. Nature, 251, No. 5470, 1974, pp. 46-47.

Cette publication donne la valeur
 $\lambda_{CO_2} = 9\ 317\ 246\ 348$ fm, obtenue par la mesure du rapport $\lambda_{CO_2}/\lambda_{127I_2,d,18^\circ C}$ et en utilisant pour $\lambda_{127I_2,d,18^\circ C}$ la valeur 632 991 178,3 fm, déduite de la valeur recommandée pour la composante i : 632 991 399 fm (Procès-Verbaux CIPM, 62^e session, 1973, p. 112) et de la valeur
 $f_{127I_2,d} - f_{127I_2,i} = 165\ 114$ kHz (Document CCDM/82-29).

On peut donc recalculer le rapport
 $f_{127} I_2, d, 18^\circ C / f_{CO_2} = \lambda_{CO_2} / \lambda_{127} I_2, d, 18^\circ C = 14,719\ 393\ 678$;

l'incertitude indiquée pour la valeur mesurée de ce rapport est $1,4 \times 10^{-9}$.

Pour se ramener à la composante i , on termine le calcul comme ci-dessus en [18].

[20] NBS measurement of frequencies in the visible and near I.R.
Document CCDM/82-30.

Ce document donne la valeur 473 612 214 789 kHz, qui a été modifiée à la demande des représentants du NBS lors de la 7^e session du CCDM. La valeur initiale a été confirmée par lettre de J.A. Hall du 27 septembre 1982 ; l'incertitude a été portée à 76 kHz (écart-type).

[21] BENNETT (S.J.), CEREZ (P.), HAMON (J.) and CHARTIER (A.), Wavelength of a helium-neon laser stabilized by saturated absorption in iodine at 612 nm. Metrologia, 15, 1979, p. 125.

Cette publication donne la valeur $\lambda'_i = 611\ 970\ 458,6$ fm, obtenue par la mesure du rapport λ'_i / λ_i et en utilisant pour λ_i la valeur recommandée. On peut donc recalculer le rapport
 $f'_i / f_i = \lambda_i / \lambda'_i = 1,034\ 349\ 599\ 89$.

L'incertitude relative indiquée pour la valeur mesurée de ce rapport est 3×10^{-10} (écart-type).

On admet
 $f'_o - f'_i = (- 249\ 600 \pm 40)$ kHz (Document CCDM/82-29), soit
 $(f'_o - f'_i) / f_i = (- 0,527\ 01 \pm 0,000\ 08) \times 10^{-6}$.

[22] Procès-Verbaux CIPM, 68^e session, 1979, p. 33.

La radiation de référence est la même que ci-dessus ; on a trouvé $\lambda'_i = 611\ 970\ 459,0$ fm, ce qui donne
 $f'_i / f_i = 1,034\ 349\ 599\ 22$; l'incertitude relative indiquée pour la valeur mesurée de ce rapport est $3,6 \times 10^{-10}$ (écart-type).

[23] BÖNSCH (G.), Wellenlängenvergleich von J_2 -stabilisierten He-Ne-Lasern mit 612 nm und 633 nm Wellenlänge. PTB-Jahresbericht, 1980, p. 139.

Ce document donne le rapport
 $f_i / f'_o = \lambda'_o / \lambda_i = 0,966\ 791\ 605\ 0 \times (1 \pm 3,4 \times 10^{-10})$.

[24] Document CCDM/82-19a et Procès-Verbaux CIPM, 71^e session, 1982 (à paraître).

Ce document donne :
 $\lambda_d / \lambda'_o = f'_o / f_d = 1,034\ 348\ 711\ 3 \times (1 \pm 2,1 \times 10^{-10})$.

On peut calculer f'_o/f_i par la relation
 $f'_o/f_i = [1 - (f_i - f_d)/f_i] \times f'_o/f_d$
avec $f_i - f_d = - 165\ 114$ kHz (Document CCDM/82-29)
et $f_i = 473\ 612\ 214,8$ MHz.

[25] Procès-Verbaux CIPM, 68^e session, 1979, p. 32.

On donne la valeur $\lambda_{a_3} = 514\ 673\ 466,9$ fm, obtenue à partir de la valeur recommandée de λ_i ; on peut donc recalculer le rapport $f_i/f_{a_3} = \lambda_{a_3}/\lambda_i$; l'incertitude relative indiquée pour la valeur de ce rapport est $4,3 \times 10^{-10}$ (écart-type).

[26] BÖNSCH (G.), Wavelength comparisons. Document CCDM/79-20.

Ce document donne
 $\lambda_{a_3}/\lambda_i = 0,813\ 081\ 295\ 4 \times (1 \pm 5 \times 10^{-10})$.

[27] Document CCDM/82-19a et Procès-Verbaux CIPM, 71^e session, 1982 (à paraître).

Ce document donne
 $\lambda_{a_3}/\lambda_d = f_d/f_{a_3} = 0,813\ 081\ 579\ 7 \times (1 \pm 2,9 \times 10^{-10})$.

On peut calculer f_{a_3}/f_i par la relation
 $f_{a_3}/f_i = [1 - (f_i - f_d)/f_i] / (f_d/f_{a_3})$
avec $f_i - f_d = - 165\ 114$ kHz (Document CCDM/82-29)
et $f_i = 473\ 612\ 214,8$ MHz.

[28] Procès-Verbaux CIPM, 49^e session, 1960, pp. 71-72.

[29] Comptes Rendus 11^e CGPM, 1960, p. 85.

[30] CCDM, 5^e session, 1973, p. M 15.

(novembre 1982)

ENGLISH VERSION

Draft Resolution A

The Seventeenth Conférence Générale des Poids et Mesures,

CONSIDERING

that the present definition does not allow a sufficiently precise realization of the metre for all requirements ;

that progress made in the stabilization of lasers allows radiations to be obtained that are more reproducible and easier to use than the standard radiation emitted by a krypton 86 lamp ;

that progress made in the measurement of the frequency and wavelength of these radiations has resulted in concordant determinations of the speed of light whose accuracy is limited principally by the realization of the present definition of the metre ;

that wavelengths determined from frequency measurements and a given value for the speed of light have a reproducibility superior to that which can be obtained by comparison with the wavelength of the standard radiation of krypton 86 ;

that there is an advantage, notably for astronomy and geodesy, in maintaining unchanged the value of the speed of light recommended in 1975 by the 15th Conférence Générale des Poids et Mesures in its Resolution 2 (c = 299 792 458 m/s) ;

that a new definition of the metre has been envisaged in various forms all of which have the effect of giving the speed of light an exact value, equal to the recommended value, and that this introduces no appreciable discontinuity into the unit of length, taking into account the relative uncertainty of $\pm 4 \times 10^{-9}$ of the best realizations of the present definition of the metre ;

that these various forms, making reference either to the path travelled by light in a specified time interval or to the wavelength of a radiation of measured or specified frequency, have been the object of consultations and deep discussions, have been recognised as being equivalent and that a consensus has emerged in favour of the first form ;

that the Comité Consultatif pour la Définition du Mètre is now in a position to give instructions for the practical realization of such a definition, instructions which could include the use of the orange radiation of krypton 86 used as standard up to now, and which may in due course be extended or revised.

DECIDES

The metre is the length of the path travelled by light in vacuum during a time interval of 1/299 792 458 of a second.

The definition of the metre in force since 1960, based upon the transition between the levels $2p_{10}$ and $5d_5$ of the atom of krypton 86 is abrogated.

Draft Resolution B

The Seventeenth Conférence Générale des Poids et Mesures,

INVITES the Comité International des Poids et Mesures

to establish instructions for the practical realization
of the new definition of the metre ;

to choose radiations which can be recommended as
standards of wavelength for interferometric length measurement
and to establish instructions for their use ;

to pursue studies undertaken to improve these standards.

Practical realization of the definition of the metre
on the assumption that the CGPM adopts a definition
which conforms to Recommendation M 1 (1982).

Recommendation M 2 (1982)

The Comité Consultatif pour la Définition du Mètre

recommends

- that the metre be realized by one of the following methods :

- a.- by means of the length \underline{l} of the path travelled in vacuum by a plane electromagnetic wave in a time \underline{t} ; this length is obtained from the measured time \underline{t} , using the relation $\underline{l} = \underline{c} \underline{t}$ and the value of the speed of light in vacuum $\underline{c} = 299\ 792\ 458$ m/s ;
- b.- by means of the wavelength in vacuum $\underline{\lambda}$ of a plane electromagnetic wave of frequency \underline{f} ; this wavelength is obtained from the measured frequency \underline{f} , using the relation $\underline{\lambda} = \underline{c}/\underline{f}$ and the value of the speed of light in vacuum $\underline{c} = 299\ 792\ 458$ m/s ;
- c.- by means of one of the radiations from the list below, whose stated wavelength in vacuum, or whose stated frequency, can be used with the uncertainty shown, provided that the given specifications and accepted good practice are followed ;

- and that in all cases any necessary corrections be applied to take account of actual conditions such as diffraction, gravitation, or imperfection in the vacuum.

The following numerical values must be regarded as provisional concerning the last digit ; the list will only become official and will be published after his approval by CIPM.

LIST OF RECOMMENDED RADIATIONS, 1982

In this list, the values of the frequency f and of the wavelength λ should be related exactly by the relation $\lambda f = c$, with $c = 299\ 792\ 458\ \text{m/s}$ but the values of λ are rounded.

1.- Radiations of lasers stabilized by saturated absorption*

1.1.- Absorbing molecule CH_4 , transition v_3 , P(7), component $F_2^{(2)}$.

The values $f = 88\ 376\ 181\ 608\ \text{kHz}$
 $\lambda = 3\ 392\ 231\ 397.0\ \text{fm}$

with an estimated overall relative uncertainty of $\pm 1.3 \times 10^{-10}$ [which results from an estimated relative standard deviation of 0.44×10^{-10}] apply to the radiation of a He-Ne laser stabilized with a cell of methane, within or external to the laser, subject to the conditions :

methane pressure $< 3\ \text{Pa}$
mean one-way axial intracavity surface power density **
 $< 10^4\ \text{Wm}^{-2}$
radius of wavefront curvature $> 1\ \text{m}$
inequality of power between counter-propagating waves
 $< 5\ \%$.

1.2.- Absorbing molecule $^{127}\text{I}_2$, transition 17-1, P(62), component o.

The values $f = 520\ 206\ 808.51\ \text{MHz}$
 $\lambda = 576\ 294\ 760.27\ \text{fm}$

with an estimated *** overall relative uncertainty of $\pm 6 \times 10^{-10}$ [which results from an estimated relative standard deviation of 2×10^{-10}] apply to the radiation of a dye laser (or frequency-doubled He-Ne laser) stabilized with a cell of iodine, within or external to the laser, having a cold-finger temperature of $6\ ^\circ\text{C} \pm 2\ ^\circ\text{C}$.

1.3.- Absorbing molecule $^{127}\text{I}_2$, transition 11-5, R(127), component i.

The values $f = 473\ 612\ 214.8\ \text{MHz}$
 $\lambda = 632\ 991\ 398.1\ \text{fm}$

with an estimated overall relative uncertainty of $\pm 1 \times 10^{-9}$ [which results from an estimated relative standard deviation of $3,4 \times 10^{-10}$] apply to the radiation of a stabilized He-Ne laser containing an iodine cell, subject to the conditions :

cell-wall temperature between $16\ ^\circ\text{C}$ and $50\ ^\circ\text{C}$ with a cold finger temperature of $15\ ^\circ\text{C} \pm 1\ ^\circ\text{C}$
one-way intracavity beam power ** $20\ \text{mW} \pm 5\ \text{mW}$
frequency modulation amplitude, peak to peak,
 $6\ \text{MHz} \pm 1\ \text{MHz}$.

1.4.- Absorbing molecule $^{127}\text{I}_2$, transition 9-2, R(47), component o.

The values $f = 489\ 880\ 355.1$ MHz
 $\underline{\lambda} = 611\ 970\ 769.8$ fm

with an estimated overall relative uncertainty of $\pm 1.1 \times 10^{-9}$ [which results from an estimated relative standard deviation of 3.7×10^{-10}] apply to the radiation of a He-Ne laser stabilized with a cell of iodine, within or external to the laser, having a cold-finger temperature of $-5\ ^\circ\text{C} \pm 2\ ^\circ\text{C}$.

1.5.- Absorbing molecule $^{127}\text{I}_2$, transition 43-0, P(13), component a_3 (sometimes called component s).

The values $f = 582\ 490\ 603.6$ MHz
 $\underline{\lambda} = 514\ 673\ 466.2$ fm

with an estimated overall relative uncertainty of $\pm 1.3 \times 10^{-9}$ [which results from an estimated relative standard deviation of 4.3×10^{-10}] apply to the radiation of an Ar⁺ laser stabilized with a cell of iodine, within or external to the laser, having a cold-finger temperature of $-5\ ^\circ\text{C} \pm 2\ ^\circ\text{C}$.

Notes

* Each of these radiations can be replaced, without degrading the accuracy, by a radiation corresponding to another component of the same transition or by another radiation, when the frequency difference is known with sufficient accuracy. Details of methods of stabilization are described in numerous scientific and technical publications. References to appropriate articles, illustrating accepted good practice for a particular radiation, may be obtained by application to a member laboratory of the CCDM, or to the BIPM.

** The one-way intracavity beam power is obtained by dividing the output power by the transmittance of the output mirror.

*** This uncertainty, and the frequency and wavelength values, are based on the weighted mean of only two determinations. The more precise of the two, however, was a measurement dependent only on frequency mixing and multiplication techniques relative to the radiation in 1.1 above.

2.- Radiations of spectral lamps

2.1.- Radiation corresponding to the transition between the levels 2p_{10} and 5d_5 of the atom of ^{86}Kr .

The value $\underline{\lambda} = 605\ 780\ 210.2$ fm

with an estimated overall relative uncertainty of $\pm 4 \times 10^{-9}$ [which results from an estimated relative standard deviation of 1.3×10^{-9}] applies to the radiation emitted by a lamp

operated under the conditions recommended by the
CIPM(Procès-Verbaux CIPM, 49th session, 1960, pp. 71-72 and
Comptes Rendus 11th CGPM,
1960, p. 85).

2.2.- Radiations of the atoms ^{86}Kr , ^{198}Hg and ^{114}Cd recommended by
the CIPM in 1963 (CCDM, 3rd session, 1962, pp. 18-19 and
Procès-Verbaux CIPM, 52nd session, 1963, pp. 26-27), with
the values indicated for the wavelengths and uncertainties.

APPENDIX M 4

Source data for the list
of recommended radiations, 1982

This Appendix has been derived from Document CCDM/82-4 taking into account the new data presented at the 7th meeting of the CCDM.

The numbers in brackets refer to the bibliography and notes at the end of this Appendix.

Values of frequency (and wavelength) may be influenced by certain experimental conditions such as the pressure and the purity of the absorbing medium, the power transported by the beam through the medium, the beam geometry as well as by other effects originating outside the laser itself and related to the servo-system. The magnitude of these influences will remain inside the limits of uncertainty indicated provided that the conditions of operation lie within the domain of the ensemble of those of the measurements referred to below.

1.1.- Transition ν_3 ; P(7) component $F_2^{(2)}$ of the molecule CH_4
($\lambda \approx 3.39 \mu\text{m}$)

Absolute frequency determinations :

NBS, 1972 [1]	$f_{\text{CH}_4} = (88\ 376\ 181\ 627 \pm 50) \text{ kHz}$
NPL, 1976 [2]	608 ± 43
VNIIFTRI (IMPR), 1979 [3,7]	596.4 ± 10
NRC, 1979 [4]	570 ± 200
NPL, 1980 [5]	616 ± 3
LPTF, 1980 [6]	618 ± 13.8
VNIIFTRI (IMPR), 1981 [7]	603.4 ± 1.4
LPTF, 1981 [8]	612 ± 11
IT (Novosibirsk), 1981 [9]	603.0 ± 3.0

The determinations whose uncertainty is greater than ± 20 kHz have not been taken into account to calculate the mean ; the mean is not weighted.

Mean $f_{\text{CH}_4} = 88\ 376\ 181\ 608.1 \text{ kHz.}$

Standard deviation of the mean 3.5 kHz.

The uncertainty due to the lack of frequency reproducibility of the radiation emitted by a laser stabilized by saturated absorption of methane is evaluated at ± 5 kHz.

Corresponding standard deviation 1.7 kHz.

Combined uncertainty 3.9 kHz,

(standard deviation)

relative uncertainty $0.44 \times 10^{-10}.$

A relative determination (NRC, 1977 [10]) gives

$$f_{\text{CH}_4} = 88\ 376\ 181\ 611 \text{ kHz.}$$

Adopted value :

$$\begin{aligned} f_{\text{CH}_4} &= 88\ 376\ 181\ 608 \text{ kHz,} \\ &\text{standard deviation } 3.9 \text{ kHz,} \\ &\text{relative standard} \\ &\text{deviation } 0.44 \times 10^{-10}. \end{aligned}$$

From which is deduced the corresponding wavelength :

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{CH}_4} &= 3\ 392\ 231\ 397.0 \text{ fm,} \\ &\text{standard deviation } 0.15 \text{ fm,} \\ &\text{relative standard} \\ &\text{deviation } 0.44 \times 10^{-10}. \end{aligned}$$

(The value recommended by the CCDM, 5th session, Recommendation M 1 (1973), was

$$\lambda_{\text{CH}_4} = 3\ 392\ 231.40 \times 10^{-12} \text{ m,}$$

with an estimated relative uncertainty of $\pm 4 \times 10^{-9}$ which results from an estimated relative standard deviation of 1.3×10^{-9} .)

1.2.- Transition 17-1 ; P(62), component o, of the molecule $^{127}\text{I}_2$ ($\lambda \approx 576 \text{ nm}$)

1.2.1.- Determination of the frequency of this component by frequencies measurements only

NBS, 1982 [11] $f_o = 520\ 206\ 808.535 \text{ MHz}$
relative standard deviation 1.5×10^{-10} .

1.2.2.- Determination of the frequency f_o from f_i (see 1.3)

The following value has been obtained for the ratio of the frequency f_o of this transition to the frequency hereafter f_i :

NPL, 1982 [12] $f_o/f_i = 1.098\ 381\ 317\ 26$
relative standard deviation 1×10^{-10} .

Using the value of f_i and its standard deviation (see 1.3.4), one obtains

$$\begin{aligned} f_o &= 520\ 206\ 808.362 \text{ MHz} \\ \text{relative standard deviation} & 3.5 \times 10^{-10}. \end{aligned}$$

1.2.3.- Mean value of the frequency f_o

With the values of f_o given in 1.2.1 and 1.2.2, a weighted mean is calculated (see, in the list of recommended radiations, 1982, the Note **)

$$f_o = 520\ 206\ 808.508 \text{ MHz.}$$

Calculation of the standard deviation of this mean, taking into account the weighting, leads to a value of 0.063 MHz. Given the small number of determinations, the CCDM has decided that it was prudent to calculate the standard deviation without weighting, so one obtains 0.106 MHz.

Adopted value

$f_o = 520\ 206\ 808.51$ MHz,
standard deviation 0.11 MHz,
relative standard
deviation 2.0×10^{-10} ;

from which

$\lambda_o = 576\ 294\ 760.27$ fm,
standard deviation 0.12 fm,
relative standard
deviation 2.0×10^{-10} .

1.3.- Transition 11-5 ; R(127), component i, of the molecule $^{127}\text{I}_2$ ($\lambda \approx 633$ nm)

1.3.1.- Determination of the frequency of this component from f_{CH_4}

The ratio of this frequency f_i to that of methane may be determined indirectly using another radiation (another component of the same transition or another transition of $^{127}\text{I}_2$ and $^{129}\text{I}_2$) ; if f_x is the frequency of this radiation and λ_x its wavelength in vacuum, f_x/f_{CH_4} is determined by a measurement of $\lambda_{\text{CH}_4}/\lambda_x$, the required ratio is calculated taking into account the difference in the frequencies :

$$\frac{f_i}{f_{\text{CH}_4}} = \frac{f_x}{f_{\text{CH}_4}} + \frac{f_i - f_x}{f_{\text{CH}_4}} = \frac{\lambda_{\text{CH}_4}}{\lambda_x} + \frac{f_i - f_x}{f_{\text{CH}_4}}$$

From the values

NBS, 1976 [13]	$f_i/f_{\text{CH}_4} = 5.359\ 048\ 173\ 77 \times (1 \pm 0.22 \times 10^{-9})$
NPL, 1982 [12]	$172\ 57 \times (1 \pm 0.2 \times 10^{-9})$
PTB, 1982 [14]	$174\ 3 \times (1 \pm 0.35 \times 10^{-9})$

the corresponding values of f_i are obtained

NBS, 1976	$f_i = 473\ 612\ 214\ 651$ kHz
NPL, 1982	545
PTB, 1982	698

The following, less precise, values are also available but they have not been used.

NPL, 1979 [15]	$f_i/f_{\text{CH}_4} = 5.359\ 048\ 172\ 54 \times (1 \pm 1.5 \times 10^{-9})$
PTB, 1979 [16]	$186 \times (1 \pm 2 \times 10^{-9})$
VNIIM (IMM), 1981 [17]	$164\ 69 \times (1 \pm 3.6 \times 10^{-9})$

1.3.2.- Determination of the frequency f_i from the frequency of the transition R(12) of CO₂ ($\lambda \approx 9.3 \mu\text{m}$)

From the value

$$\text{NPL, 1978 [18]} \quad f_i/f_{\text{CO}_2} = 14.719\ 388\ 536 \times (1 \pm 0.4 \times 10^{-9})$$

and taking the given value

$$f_{\text{CO}_2} = (32\ 176\ 079\ 482 \pm 14) \text{ kHz},$$

one obtains $f_i = 473\ 612\ 215\ 461 \times (1 \pm 0.6 \times 10^{-9}) \text{ kHz.}$

The following less precise value is also available but has not been used

$$\text{NPL, 1974 [19]} \quad f_i/f_{\text{CO}_2} = 14.719\ 388\ 548 \times (1 \pm 1.4 \times 10^{-9})$$

1.3.3.- Determination of the frequency f_i by frequencies measurements only

NBS, 1982 [20] $f_i = 473\ 612\ 214\ 789 \text{ kHz}$
relative standard deviation $1.6 \times 10^{-10}.$

1.3.4.- Mean value of the frequency f_i

The whole of the values of f_i indicated in 1.3.1, 1.3.2 and 1.3.3 give :

Unweighted mean $f_i = 473\ 612\ 214\ 829 \text{ kHz.}$
Standard deviation of the mean 163 kHz.

Adopted value :

$$f_i = 473\ 612\ 214.8 \text{ MHz,}$$

standard deviation 0.16 MHz,
relative standard
deviation $3.4 \times 10^{-10};$

from which $\lambda_i = 632\ 991\ 398.1 \text{ fm,}$
standard deviation 0.22 fm,
relative standard
deviation $3.4 \times 10^{-10}.$

(The value recommended by the CCDM, 5th session, Recommendation M 1 (1973), was

$$\lambda_i = 632\ 991.399 \times 10^{-12} \text{ m,}$$

with an estimated relative uncertainty of $\pm 4 \times 10^{-9}$ which results from an estimated relative standard deviation of $1.3 \times 10^{-9}.$)

1.4.- Transition 9-2 ; R(47), component o, of the molecule $^{127}\text{I}_2$
($\lambda \approx 612 \text{ nm}$)

The following values have been obtained for the ratio of the frequency f'_o of this transition to the above frequency f_i :

LHA-BIPM, 1979 [21]	$f'_o/f_i = 1.034\ 349\ 072\ 88 \times (1 \pm 3 \times 10^{-10})$
BIPM, 1979 [22]	$072\ 21 \times (1 \pm 3.6 \times 10^{-10})$
PTB, 1980 [23]	$072\ 57 \times (1 \pm 3.4 \times 10^{-10})$
NPL, 1982 [12]	$072\ 43 \times (1 \pm 1 \times 10^{-10})$
BIPM, 1982 [24]	$071\ 90 \times (1 \pm 2.1 \times 10^{-10})$

Unweighted mean $f'_o/f_i = 1.034\ 349\ 072\ 40.$

Standard deviation of the mean $1.6 \times 10^{-10}.$

Leads to

$$f'_o = 489\ 880\ 355.1 \text{ MHz},$$

standard deviation 0.18 MHz,
relative standard deviation $3.7 \times 10^{-10};$

from which

$$\lambda'_o = 611\ 970\ 769.8 \text{ fm},$$

standard deviation 0.23 fm,
relative standard deviation $3.7 \times 10^{-10}.$

(The value indicated by the CCDM, 6th session, 1979, was

$$\lambda'_o = 611\ 970\ 771 \text{ fm},$$

with an estimated relative uncertainty of $\pm 4 \times 10^{-9}$ which results from an estimated relative standard deviation of $1.3 \times 10^{-9}.$)

1.5.- Transition 43-0 ; P(13), component a_3 (sometimes called s) of the molecule $^{127}\text{I}_2$ ($\lambda \approx 515 \text{ nm}$)

The following values have been obtained for the ratio of the frequency f_{a_3} of this transition to the frequency f_i :

BIPM, 1979 [25]	$f_{a_3}/f_i = 1.229\ 889\ 317\ 61 \times (1 \pm 4.3 \times 10^{-10})$
PTB, 1979 [26]	$318\ 15 \times (1 \pm 5 \times 10^{-10})$
NPL, 1982 [12]	$316\ 88 \times (1 \pm 1 \times 10^{-10})$
BIPM, 1982 [27]	$316\ 88 \times (1 \pm 2.5 \times 10^{-10})$

Unweighted mean $f_{a_3}/f_i = 1.229\ 889\ 317\ 38.$

Standard deviation of the mean $3.1 \times 10^{-10}.$

Leads to

$$f_{a_3} = 582\ 490\ 603.6 \text{ MHz},$$

standard deviation 0.25 MHz,
relative standard deviation $4.3 \times 10^{-10}.$

from which

$$\begin{aligned}\lambda_{a_3} &= 514\ 673\ 466.2 \text{ fm}, \\ \text{standard deviation} &\quad 0.22 \text{ fm}, \\ \text{relative standard} &\quad \\ \text{deviation} &\quad 4.3 \times 10^{-10}.\end{aligned}$$

(The value given by the CCDM, 6th session, 1979, was

$$\lambda_{a_3} = 514\ 673\ 467 \text{ fm},$$

with an estimated relative uncertainty of $\pm 4 \times 10^{-9}$ which results from a standard deviation of 1.3×10^{-9} .)

2.1.- Transition $2p_{10}-5d_5$ of the atom ^{86}Kr ($\lambda \approx 606 \text{ nm}$)

Let f_{Kr} be the frequency of the radiation, corresponding to this transition, emitted under the conditions recommended by the CIPM [28, 29] ; following the definition of the metre (1960) [29] and taking account of the experimental mean value obtained on the basis λ_{Kr} [30] for the wavelength of the radiation corresponding to the component i of the transition $11-5$; $R(127)$ of the molecule $^{127}\text{I}_2$, one can calculate the ratio

$$\begin{aligned}f_{\text{Kr}}/f_i &= (\lambda_i)_{\text{Kr}} \times (1/\lambda_{\text{Kr}}) \\ &= 632\ 991\ 398.5 \times 10^{-15} \times 1\ 650\ 763.73 = 1.044\ 919\ 242\ 05\end{aligned}$$

from which $f_{\text{Kr}} = 494\ 886\ 516.5 \text{ MHz}$

and $\lambda_{\text{Kr}} = 605\ 780\ 210.2 \text{ fm}$.

The relative uncertainty of these three values, estimated as $\pm 4 \times 10^{-9}$, is the consequence of the uncertainty observed in the realization of the previous definition of the metre (1960), this uncertainty can be characterized by a relative standard deviation of 1.3×10^{-9} .

(According to this definition, the standard radiation had a wavelength of

$$\lambda_{\text{Kr}} = 605\ 780\ 210.6 \text{ fm},$$

with a relative uncertainty, estimated at the time, of $\pm 1 \times 10^{-8}$.)

ANNOTATED BIBLIOGRAPHY

[1] EVENSON (K.M.), WELLS (J.S.), PETERSEN (F.R.), DANIELSON (B.L.), DAY (G.W.), BARGER (R.L.) and HALL (J.L.), Speed of light from direct frequency and wavelength measurements of the methane stabilized laser. Phys. Rev. Lett., 29, No. 19, 1972, pp. 1346-1349.

[2] BLANEY (T.G.), EDWARDS (G.J.), JOLLIFFE (B.W.), KNIGHT (D.J.E.) and WOODS (P.T.), Absolute frequencies of the methane-stabilized He-Ne laser ($3.39 \mu\text{m}$) and the CO_2 , R(32) stabilized laser ($10.17 \mu\text{m}$). J. Phys. D : Appl. Phys., 9, 1976, pp. 1323-1330.

[3] DOMNIN (Y.S.), KOSHELJAEVSKY (N.B.), TATARENKO (V.M.) and SHUMJATSKY (P.S.), Precise frequency measurements in submillimeter and infrared region. IEEE Trans. Instrum. Meas., IM 29, No. 4, 1980, pp. 264-267.

[4] BAIRD (K.M.), SMITH (D.S.) and WHITFORD (B.G.), Confirmation of the currently accepted value 299 792 458 metres per second for the speed of light. Opt. Commun., 31, No. 3, 1979, pp. 367-368.

[5] KNIGHT (D.J.E.), EDWARDS (G.J.), PEARCE (P.R.) and CROSS (N.R.), Measurement of the frequency of the $3.39 \mu\text{m}$ methane-stabilized laser to ± 3 parts in 10^{11} . IEEE Trans. Instrum. Meas., IM 29, No. 4, 1980, pp. 257-264.

[6] CLAIRON (A.), DAHMANI (B.) and RUTMAN (J.), Accurate absolute frequency measurements on stabilized CO_2 and He-Ne infrared lasers. IEEE Trans. Instrum. Meas., IM 29, No. 4, 1980, pp. 268-272.

[7] DOMNIN (Y.S.), KOSHELJAEVSKY (N.B.), TATARENKO (V.M.) and SHUMJATSKY (P.S.), Measurement of the frequency of a He-Ne/ CH_4 laser. JETP Letters, 34, No. 4, 1981, pp. 167-170.

[8] Laboratoire Primaire du Temps et des Fréquences (France), Rapport d'activité, 1981, pp. 24-31.

[9] CHEBOTAYEV (V.P.), Optical time scale. J. Phys. (Paris), Colloque C8, 42, suppl. au N° 12, 1981, pp. C8-505-512.

[10] WHITFORD (B.G.) and SMITH (D.S.), Frequency of the methane-stabilized He-Ne laser at $3.39 \mu\text{m}$ measured relative to the $10.17 \mu\text{m}$ R(32) transition of the CO_2 laser. Opt. Commun., 20, No. 2, 1977, pp. 280-283.

[11] NBS measurement of frequencies in the visible and near I.R. Document CCDM/82-30.

This document gives the value 520 206 808 547 kHz ; this value has been reduced by 12 kHz at the request of the delegates of NBS at the 7th session of the CCDM.

[12] NPL, Laser wavelength measurements. Document CCDM/82-34.

In this document, all the values must be corrected by 3.5×10^{-11} in relative value ; this stems from the fact that the frequency of the laser at $\lambda \approx 633$ nm must be increased because the temperature of the cold finger of the iodine cell was 16 °C instead of 15 °C, the agreed reference temperature for this type of laser.

It has been agreed that the indicated uncertainties correspond to one standard deviation.

[13] LAYER (H.P.), DESLATTE (R.D.) and SCHWEITZER (W.G.), Laser wavelength comparison by high resolution interferometry. Applied Optics, 15, No. 3, 1976, pp. 734-743.

This paper gives

$$\lambda_{\text{CH}_4} / \lambda_{129\text{I}_2, k, 4^\circ\text{C}} = 5.359\ 049\ 260\ 6 \times (1 \pm 2 \times 10^{-10}).$$

Taking account of the measurements made at NML and at NPL, one finds

$$f_{127\text{I}_2, i, 15^\circ\text{C}} - f_{129\text{I}_2, k, 4^\circ\text{C}} = (- 96\ 050 \pm 50) \text{ kHz},$$

from which

$$(f_{127\text{I}_2, i, 15^\circ\text{C}} - f_{129\text{I}_2, k, 4^\circ\text{C}}) / f_{\text{CH}_4} = (- 1.086\ 83 \pm 0.000\ 58) \times 10^{-6}.$$

[14] BÖNSCH (G.), Wavelength comparison between methane and iodine stabilized He-Ne lasers. Document CCDM/82-41.

[15] NPL, 1979. Unpublished result communicated by W.R.C. Rowley : $\lambda_{\text{CH}_4} / \lambda_{127\text{I}_2, d, 18^\circ\text{C}} = 5.359\ 050\ 040\ 4 \times (1 \pm 1.5 \times 10^{-9})$.

Taking account of the measurements made during the international comparisons, one finds

$$f_{127\text{I}_2, i, 15^\circ\text{C}} - f_{127\text{I}_2, d, 18^\circ\text{C}} = (- 165\ 074 \pm 4) \text{ kHz},$$

from which

$$(f_{127\text{I}_2, i, 15^\circ\text{C}} - f_{127\text{I}_2, d, 18^\circ\text{C}}) / f_{\text{CH}_4} = (- 1.867\ 86 \pm 0.000\ 05) \times 10^{-6}.$$

[16] BÖNSCH (G.), Wavelength comparisons. Document CCDM/79-20.

[17] KAPRALOV (V.P.), MALYSHEV (G.M.), PAVLOV (P.A.), PRIVALOV (V.E.), FOFANOV (Y.A.) and ETSIN (I.S.), Measurement of the wavelength ratio of lasers stabilized by saturated absorption in iodine and methane. Opt. Spectrosc. (USSR), 50, 1981, pp. 34-37.

This paper gives

$$\lambda_{\text{CH}_4} / \lambda_{127\text{I}_2, d} = 5.359\ 050\ 033 \pm 3.55 \times 10^{-9} \text{ (for a confidence level of 0.95).}$$

From

$$f_{127\text{I}_2, i} - f_{127\text{I}_2, d} = (- 165\ 114 \pm 2) \text{ kHz (Document CCDM/82-29)}$$

one calculates

$$(f_{127\text{I}_2, i} - f_{127\text{I}_2, d}) / f_{\text{CH}_4} = (- 1.868\ 31 \pm 0.000\ 02) \times 10^{-6}.$$

[18] BLANEY (T.G.), BRADLEY (C.C.), EDWARDS (G.J.), KNIGHT (D.J.E.), WOODS (P.T.) and JOLLIFFE (B.W.), Absolute frequency measurement of the R(12) transition of CO₂ at 9.3 μm. Nature, 244, No. 5417, 1973, p. 504.

This paper gives
 $f_{CO_2} = (32\ 176\ 079\ 482 \pm 28) \text{ kHz.}$

BLANEY (T.G.), BRADLEY (C.C.), EDWARDS (G.J.), JOLLIFFE (B.W.), KNIGHT (D.J.E.), ROWLEY (W.R.C.), SHOTTON (K.C.) and WOODS (P.T.), Measurement of the speed of light : I. Introduction and frequency measurement of a carbone dioxide laser. Proc. R. Soc. Lond. A, 355, 1977, pp. 61-88.

This paper corrects the previous value by giving the frequency at the centre of the line, the uncertainty has also been reevaluated :

$$f_{CO_2} = (32\ 176\ 079\ 472 \pm 14) \text{ kHz.}$$

Nevertheless, for the determination of f_i from the f_i/f_{CO_2} ratio measured at the NPL at the request of the delegate of this laboratory, one must take

$$f_{CO_2} = (32\ 176\ 079\ 482 \pm 14) \text{ kHz.}$$

WOODS (P.T.), SHOTTON (K.C.) and ROWLEY (W.R.C.), Frequency determination of visible laser light by interferometric comparison with upconverted CO₂ laser radiation. Applied Optics, 17, 1978, pp. 1048-1054.

This paper gives
 $f_{127I_2,d,18^\circ C}/f_{CO_2} = 14.719\ 393\ 666 \times (1 \pm 0.4 \times 10^{-9}).$

With the value of
 $f_{127I_2,d,18^\circ C} - f_{127I_2,i,15^\circ C}$ given in [15], one calculates

$$(f_{127I_2,i,15^\circ C} - f_{127I_2,d,18^\circ C})/f_{CO_2} = (-5.130\ 33 \pm 0.000\ 12) \times 10^{-6}.$$

[19] JOLLIFFE (B.W.), ROWLEY (W.R.C.), SHOTTON (K.C.), WALLARD (A.J.) and WOODS (P.T.), Accurate wavelength measurement on up-converted CO₂ laser radiation. Nature, 251, No. 5470, 1974, pp. 46-47.

This paper gives the value
 $\lambda_{CO_2} = 9\ 317\ 246\ 348 \text{ fm}$, obtained by the measurement of the ratio $\lambda_{CO_2}/\lambda_{127I_2,d,18^\circ C}$ and using for $\lambda_{127I_2,d,18^\circ C}$ the value 632 991 178.3 fm, deduced from the recommended value for the component i : 632 991 399 fm (Procès-Verbaux CIPM, 62^e session, 1973, p. 112) and from the value $f_{127I_2,d} - f_{127I_2,i} = 165\ 114 \text{ kHz}$ (Document CCDM/82-29).

So one can calculate again the ratio
 $f_{^{127}\text{I}_2, d, 18^\circ\text{C}}/f_{\text{CO}_2} = \lambda_{\text{CO}_2}/\lambda_{^{127}\text{I}_2, d, 18^\circ\text{C}} = 14.719\ 393\ 678$;

the indicated uncertainty for the measured value of this ratio is 1.4×10^{-9} .

To come to the component i , one terminates the calculation as previously in [18].

[20] NBS measurement of frequencies in the visible and near I.R.
Document CCDM/82-30.

This document gives the value 473 612 214 789 kHz which has been modified at the request of the delegates of NBS during the 7th meeting of the CCDM. The initial value has been confirmed by letter from J.A. Hall of 27 september 1982 ; the uncertainty has been increased to 76 kHz (standard deviation).

[21] BENNETT (S.J.), CEREZ (P.), HAMON (J.) and CHARTIER (A.),
Wavelength of a helium-neon laser stabilized by saturated absorption in iodine at 612 nm. Metrologia, 15, 1979, p. 125.

This paper gives the value
 $\lambda'_i = 611\ 970\ 458.6$ fm, obtained by the measurement of the ratio λ'_i/λ_i and by using for λ_i the recommended value. So one can calculate again the ratio
 $f'_i/f_i = \lambda_i/\lambda'_i = 1.034\ 349\ 599\ 89$.

The indicated relative uncertainty for the measured value of this ratio is 3×10^{-10} (standard deviation).

One admits
 $f'_o - f'_i = (- 249\ 600 \pm 40)$ kHz (Document CCDM/82-29), from which
 $(f'_o - f'_i)/f_i = (- 0.527\ 01 \pm 0.000\ 08) \times 10^{-6}$.

[22] Procès-Verbaux CIPM, 68^e session, 1979, p. 33.

The reference radiation is the same as above ; one finds
 $\lambda'_i = 611\ 970\ 459.0$ fm, which gives
 $f'_i/f_i = 1.034\ 349\ 599\ 22$; the indicated relative uncertainty for the measured values of this ratio is 3.6×10^{-10} (standard deviation).

[23] BÖNSCH (G.), Wellenlängenvergleich von J_2 -stabilisierten He-Ne-Lasern mit 612 nm und 633 nm Wellenlänge. PTB-Jahresbericht, 1980, p. 139.

This document gives the ratio
 $f_i/f'_o = \lambda'_o/\lambda_i = 0.966\ 791\ 605\ 0 \times (1 \pm 3.4 \times 10^{-10})$.

[24] Document CCDM/82-19a and Procès-Verbaux CIPM, 71^e session, 1982 (to be published).

This document gives :
 $\lambda_d/\lambda'_o = f'_o/f_d = 1.034\ 348\ 711\ 3 \times (1 \pm 2.1 \times 10^{-10})$.

One can calculate f'_o/f_i by the relation
 $f'_o/f_i = [1 - (f_i - f_d)/f_i] \times f'_o/f_d$
with $f_i - f_d = - 165\ 114$ kHz (Document CCDM/82-29)
and $f_i = 473\ 612\ 214.8$ MHz.

[25] Procès-Verbaux CIPM, 68^e session, 1979, p. 32.

Given the value $\lambda_{a_3} = 514\ 673\ 466.9$ fm, obtained from the recommended value of λ_i , one can calculate again the ratio $f_i/f_{a_3} = \lambda_{a_3}/\lambda_i$; the indicated relative uncertainty for the value of this ratio is 4.3×10^{-10} (standard deviation).

[26] BÖNSCH (G.), Wavelength comparisons. Document CCDM/79-20.

This document gives
 $\lambda_{a_3}/\lambda_i = 0.813\ 081\ 295\ 4 \times (1 \pm 5 \times 10^{-10})$.

[27] Document CCDM/82-19a and Procès-Verbaux CIPM, 71^e session, 1982 (to be published).

This document gives
 $\lambda_{a_3}/\lambda_d = f_d/f_{a_3} = 0.813\ 081\ 579\ 7 \times (1 \pm 2.9 \times 10^{-10})$.

one can calculate f_{a_3}/f_i by the relation
 $f_{a_3}/f_i = [1 - (f_i - f_d)/f_i] / (f_d/f_{a_3})$
with $f_i - f_d = - 165\ 114$ kHz (Document CCDM/82-29)
and $f_i = 473\ 612\ 214.8$ MHz.

[28] Procès-Verbaux CIPM, 49^e session, 1960, pp. 71-72.

[29] Comptes Rendus 11^e CGPM, 1960, p. 85.

[30] CCDM, 5^e session, 1973, p. M 15.

(November 1982)