

ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ ΟΡΓΑΝΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΩΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΩΝ.

ΧΟΥΡΛΑΚΗΣ Κ.Ι., ΜΠΟΖΙΑΡΗ Α.

**ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ,
Τ.Θ. 60092, 15310 ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΑΤΤΙΚΗΣ.
e-mail συγγραφέα : khour@eeae.gr**

!. Εισαγωγή

Οι αβεβαιότητες αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της διαδικασίας της διακρίβωσης οργάνων και των μετρήσεων που διενεργούνται σε ένα εργαστήριο. Περιγράφουν τις βέλτιστες μετρητικές ικανότητες του εργαστηρίου και το επίπεδο εμπιστοσύνης της ακρίβειας των παραγόντων διακρίβωσης / βαθμονόμησης του κάθε οργάνου.

2 ΟΡΙΣΜΟΙ

2.1 Αβεβαιότητα

Μία παράμετρος σχετιζόμενη με το αποτέλεσμα μιας μέτρησης που χαρακτηρίζει την διασπορά των τιμών που λογικά μπορούν να αποδοθούν στη μετρούμενη ποσότητα.

2.2. Πηγές ή παράγοντες αβεβαιότητας

Σε κάθε βαθμονόμηση – διαπίστευση οργάνων πελατών, οι πηγές αβεβαιότητας αφορούν δύο διαδικασίες :

- i. Τη μέτρηση των πεδίου ακτινοβολίας με τα υπο-πρότυπα όργανα του ΕΒΟΙΑ
- ii. τη μέτρηση των πεδίου ακτινοβολίας με τα συστήματα μέτρησης του πελάτη

Σε κάθε διαδικασία επηρεάζονται οι πηγές αβεβαιότητας :

- Αβεβαιότητα στη βαθμονόμηση των υποπρότυπων οργάνων του ΕΒΟΙΑ
- Σταθερότητα της απόδοσης των υποπρότυπων οργάνων του ΕΒΟΙΑ
- Ακρίβεια μέτρησης
- Περιβαλλοντικές συνθήκες (πίεση, θερμοκρασία, υγρασία)
- Ενεργειακή εξάρτηση
- Ρεύματα διαρροής
- Αβεβαιότητα παραγόντων μετατροπής δοσιμετρικών μεγεθών
- Γεωμετρία πειραματικής διαδικασίας
- Άλλοι παράγοντες που εκτιμώνται κατά περίπτωση

3. ΜΕΘΟΔΟΣ

Σε κάθε διακρίβωση, μέτρηση ή δοκιμή προσδιορίζεται η αβεβαιότητα της κάθε παραμέτρου η οποία επηρεάζεται στη μέτρηση.

Εφαρμόζονται οι μέθοδοι και οι μαθηματικοί τύποι που αναφέρονται παρακάτω

ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ

ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

1. Η αβεβαιότητα μιας μέτρησης ή ενός μεγέθους εμπεριέχει δύο είδη σφάλματος (Type A & Type B)

Τα *σφάλματα Τύπου Α* είναι σφάλματα στατιστικού χαρακτήρα και προκύπτουν από την τυπική απόκλιση (% SD) μιας σειράς μετρήσεων της υπό εξέταση παραμέτρου / μεγέθους.

Τα **σφάλματα Τύπου Β** αφορούν το σφάλμα μιας συγκεκριμένης μέτρησης και οφείλονται σε σφάλματα του οργάνου ή του τρόπου μέτρησης μη στατιστικού χαρακτήρα (πχ συστηματικό σφάλμα οργάνου, τυχαία σφάλματα, σφάλμα ανάγνωσης, κλπ)

2. Όλα τα σφάλματα για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας εκφράζονται σε σχετικό επί τοις εκατό σφάλμα σε επίπεδο εμπιστοσύνης 1 SD. Έτσι, εάν η αβεβαιότητα ενός μεγέθους X, το οποίο χρησιμοποιείται σε διαδικασία βαθμονόμησης (πχ η ακρίβεια θερμομέτρου ή το Nk κλπ), είναι $u_{x,πισ}$ σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95 % (2 SD), στον υπολογισμό της αβεβαιότητας λαμβάνεται η αβεβαιότητα $u_x = u_{x,πισ} / 2$.

3. Όλα τα σφάλματα τύπου Β ακολουθούν τετραγωνική / ορθογώνια κατανομή. Έτσι η αβεβαιότητα u_x ενός μεγέθους $X \pm \delta X$, η οποία συνεισφέρει στη συνολική αβεβαιότητα της διαδικασίας, υπολογίζεται από

$$u_x = \frac{\delta X}{\sqrt{3}} \cdot 100$$

4. Η συνδυασμένη αβεβαιότητα (combined uncertainty) μιας διαδικασίας προκύπτει από τον συνδυασμό των αβεβαιοτήτων τύπου Α (u_A) και τύπου Β (u_B), σαν το άθροισμα των τετραγώνων

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

Η ολική αβεβαιότητα κάθε τύπου (u_A ή u_B) προκύπτει από το άθροισμα των τετραγώνων των επιμέρους αβεβαιοτήτων ($u_{A,i}$ ή $u_{B,i}$)

$$u_A = \sqrt{\sum_i u_{A,i}^2}$$

$$u_B = \sqrt{\sum_i u_{B,i}^2}$$

5. Η τελική αβεβαιότητα U μιας διαδικασίας (ανηγμένη, συνολική αβεβαιότητα – expanded uncertainty) εκφράζεται σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% (2 SD) και προκύπτει από

$$U = 2u \quad (\text{coverage factor } k = 2)$$

6. Στα πιστοποιητικά βαθμονόμησης παρουσιάζεται ο συντελεστής βαθμονόμησης X με σφάλμα δX σε απόλυτες τιμές ($X \pm \delta X$). Το δX προκύπτει από $\delta X = X \cdot U / 100$ και προφανώς αναφέρεται σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% (2 SD)

7. Στο δX κρατάται ένα σημαντικό ψηφίο, εφόσον $\delta X < 1$. Εάν $\delta X \geq 1$ τότε εάν $\delta X - 1 < 0,15$, κρατώνται δύο σημαντικά ψηφία
εάν $\delta X - 1 \geq 0,15$, κρατάται ένα σημαντικό ψηφίο.
Στην τιμή του X κρατώνται τόσο δεκαδικά ψηφία όσα είναι και στο δX .

Παράδειγμα :

α. Αν $U = 0,9 \%$ και $X = 96,4678$ τότε : $\delta X = 96,4678 \cdot 0,9 / 100 = 0,86821$.

Έτσι $\delta X = 0,9$ (1 σημαντικό ψηφίο) και $X = 96,5$ (1 δεκαδικό ψηφίο, όπως και το δX).

Τελικά :

$$X \pm \delta X = 96,5 \pm 0,9$$

β. Αν $U = 1,1 \%$ και $X = 96,4678$ τότε : $\delta X = 96,4678 \cdot 1,2 / 100 = 1,06115$

Έτσι $\delta X = 1,1$ (2 σημαντικά ψηφία γιατί $1,06115 - 1 = 0,06115 < 0,15$).

Τότε, $X = 96,5$ (1 δεκαδικό ψηφίο, όπως και το δX). Τελικά :

$$X \pm \delta X = 96,5 \pm 1,1$$

γ. Αν $U = 2,2 \%$ και $X = 96,4678$ τότε : $\delta X = 96,4678 \cdot 2,2 / 100 = 2,1222$

Έτσι $\delta X = 2$ (1 σημαντικό ψηφίο γιατί $2,1222 - 1 = 1,1222 > 0,15$).

Τότε, $X = 96$ (κανένα δεκαδικό ψηφίο, όπως και το δX). Τελικά :

$$X \pm \delta X = 96 \pm 2$$

8. Αν στα πιστοποιητικά δίδονται διαγράμματα ή καμπύλες βαθμονόμησης ή τιμές των αποκλίσεων του προς βαθμονόμηση οργάνου, τότε στο πιστοποιητικό αναφέρεται απλώς η αβεβαιότητα των μετρήσεων.

9. Η αβεβαιότητα $u_{k_{P,T}}$ παράγοντα διόρθωσης πίεσης και θερμοκρασίας $k_{P,T}$, υπολογίζεται από

$$k_{P,T} = \frac{P_0 \cdot (273 + \theta)}{P \cdot (273 + 20^\circ)}$$

$$u_{k_{P,T}} = \sqrt{\left(\frac{\partial k_{P,T}}{\partial P} \cdot u_P\right)^2 + \left(\frac{\partial k_{P,T}}{\partial \theta} \cdot u_\theta\right)^2}$$

όπου u_P και u_θ οι αβεβαιότητες (τύπου A και τύπου B) των μετρήσεων της πίεσης και θερμοκρασίας.

10. Επειδή στις βαθμονομήσεις εφαρμόζεται – κατά κύριο λόγο – η μέθοδος της αντικατάστασης (μέτρηση με το όργανο αναφοράς και ύστερα μέτρηση με το υπό βαθμονόμηση όργανο στην ίδια θέση), ο υπολογισμός της αβεβαιότητας γίνεται σε δύο μέρη :
1ο μέρος : υπολογισμός της αβεβαιότητας της μέτρησης ενός μεγέθους με τα όργανα αναφοράς του εργαστηρίου (μέτρηση του K_{air} ή D_w)
2ο μέρος : υπολογισμός της αβεβαιότητας της μέτρησης του μεγέθους με το υπό βαθμονόμηση όργανο
Η συνολική αβεβαιότητα είναι ο συνδυασμός των δύο μερών σύμφωνα με το νόμο του αθροίσματος των τετραγώνων των επιμέρους αβεβαιοτήτων.

11. Στους παρακάτω πίνακες (Υπολ. Αβεβ 1, 2, 3, 4, 5, 6, και 7) παρουσιάζονται **τυπικοί** υπολογισμοί αβεβαιοτήτων για τα πεδία εφαρμογής βαθμονομήσεων και δίδονται σχετικές επεξηγήσεις.

12. Στον πίνακα **B.I.M.** δίνονται οι **βέλτιστες ικανότητες μέτρησης (Best Measuring Capabilities)** του εργαστηρίου για τα πεδία εφαρμογής βαθμονομήσεων. Οι τιμές προκύπτουν από τους υπολογισμούς των αβεβαιοτήτων θεωρώντας ότι τα προς βαθμονόμηση όργανα είναι καλής ποιότητας. Στα αντίστοιχα πεδία εισάγονται τυπικές τιμές.

**Υπολ. Αβεβ. 1 : ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ
ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ Nk**

	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	Type A	Type B
		%	%
A	Μέτρηση του Kair με τα όργανα αναφοράς		
A.1	Nk from IAEA		0,42
A.2	Nk stability	0,15	NR
A.3	Electrometer accuracy		0,00
A.4	Scale reading / resolution	0,00	0,00
A.5	Current measurements	NA	NA
A.6	Uniformity of radiation beam		0,06
A.7	Difference in Co60 energy spectra		0,05
A.8	Temperature & Pressure	0,16	0,08
A.9	Positioning in same distance		0,115
A.10	Electrometer Built-In timer	*	*
A.11	Leakage current		0,00
A.12	Recombination loss		0,00
B	Μέτρηση με τα υπό βαθμονόμηση όργανα		
B.1	Reproducibility of procedure	0,30	
B.2	Scale reading / resolution	*	0,00
B.3	Ionization measurements	*	0,01
B.4	Positioning in same distance		0,115
B.5	Uniformity of radiation beam (for different chamb)		0,00
B.6	Temperature & Pressure	0,16	0,08
B.7	Difference in Temperature at two places		0,00
B.8	Leakage current		0,00
B.9	Radiation background		0,00
B.10	Electrometer accuracy	NR	NR
B.11	Electrometer built-in timer	*	0,00
B.12	Humidity		0,00
B.13	Recombination loss		0,00

QUADRATIC SUM	0,40	0,47
COMBINED UNCERTAINTY	0,62	%
EXPANDED UNCERTAINTY	1,24	%

ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ :

A Μέτρηση του Kair με τα όργανα αναφοράς

A.1 Type A : Η τυπική απόκλιση των συντελεστών βαθμονόμησης για το όργανο αναφοράς, οι οποίοι εδόθησαν από το πρότυπο εργαστήριο σε διαδοχικές βαθμονομήσεις. Επειδή μέχρι σήμερα τα όργανα αναφοράς έχουν βαθμονομηθεί μία φορά το πεδίο αυτό είναι κενό.

A.1 Type B : Το σφάλμα που δίδεται στο πιστοποιητικό βαθμονόμησης (βλ γενικές παραδοχές)

A.2 Type A : Η σταθερότητα του συντελεστή βαθμονόμησης σχετίζεται με την απόκριση του θαλάμου ιονισμού. Έτσι, στο πεδίο εισάγεται η τυπική απόκλιση των τιμών Kair του Co60 που μετρούνται με το θάλαμο αναφοράς στη διάρκεια του χρόνου.

A.2 Type B : Δεν έχει νόημα

A.3 Type A και Type B : Η ακρίβεια του ηλεκτρομέτρου συμπεριλαμβάνεται στο A.1 (Nk). Εάν η βαθμονόμηση στο πρότυπο εργαστήριο αφορούσε μόνο το θάλαμο ιονισμού (χωρίς το ηλεκτρόμετρο) τα πεδία αυτά θα είχαν νόημα.

A.4 Type A : Η διακριτική ικανότητα του ηλεκτρομέτρου (της μέτρησης) δεν είναι στατιστικού χαρακτήρα. Το πεδίο δεν έχει νόημα.

A.4 Type B : Η διακριτική ικανότητα του ηλεκτρομέτρου είναι 0,01 pC. Άρα η αβεβαιότητα υπολογίζεται σύμφωνα με το 3 των γενικών παραδοχών

A.5 Type A και Type B : Δεν έχουν γίνει μετρήσεις ρεύματος με το ηλεκτρόμετρο στο πρότυπο εργαστήριο και δεν δίνονται οι σχετικές αβεβαιότητες. Έτσι τα πεδία αυτά είναι κενά, χωρίς να επηρεάζεται η ολική αβεβαιότητα καθόσον τυχόν αποκλίσεις συμπεριλαμβάνονται στο A.1

A.6 Type A : Λαμβάνεται υπόψη η διαφορετική ομοιογένεια του πεδίου ακτινοβόλησης στο πρότυπο εργαστήριο (IAEA) και στο EBOIA. Δεν είναι στατιστικού χαρακτήρα, συνεπώς το πεδίο αυτό είναι κενό.

A.6 Type B : Λαμβάνεται υπόψη η διαφορετική ομοιογένεια του πεδίου ακτινοβόλησης στο πρότυπο εργαστήριο (IAEA) και στο EBOIA. Από βιβλιογραφία (IAEA ΤΡΣ 374) λαμβάνεται ίση με 0,1 %. Η αβεβαιότητα υπολογίζεται σύμφωνα με το 3 των γενικών παραδοχών

A.6 Type A : Λαμβάνεται υπόψη το διαφορετικό ενεργειακό φάσμα της δέσμης ακτινοβόλησης στο πρότυπο εργαστήριο (IAEA) και στο EBOIA. Δεν είναι στατιστικού χαρακτήρα, συνεπώς το πεδίο αυτό είναι κενό.

A.7 Type B : Λαμβάνεται υπόψη το διαφορετικό ενεργειακό φάσμα της δέσμης ακτινοβόλησης στο πρότυπο εργαστήριο (IAEA) και στο EBOIA. Από βιβλιογραφία (IAEA ΤΡΣ 374) λαμβάνεται ίση με 0,1 %. Η αβεβαιότητα υπολογίζεται σύμφωνα με το 3 των γενικών παραδοχών

A.8 Type A : Βλέπε παρ 8 γενικών παραδοχών και παρακάτω πίνακα

A.8 Type B : Βλέπε παρ 8 γενικών παραδοχών και παρακάτω πίνακα

A.9 Type A : Δεν είναι στατιστικού χαρακτήρα. Δεν έχει νόημα

A.9 Type B : Για ένα σύνηθες σφάλμα τοποθέτησης 1 mm, η αβεβαιότητα υπολογίζεται σύμφωνα με την παράγραφο 3 των γενικών παραδοχών. $\delta X/X = 2 \delta D/D \sqrt{3} * 100\%$
 $X=A/D^2$, $\delta X=dX/dD \delta D \Rightarrow \delta X=2A/D^3 \delta D \Rightarrow \delta X= 2XD^2/D^3 \delta D \Rightarrow dX/X = 2 \delta D/D$ με δD να ακολουθεί ορθογώνια κατανομή, οπότε δια $\sqrt{3}$ A σταθερά, $D=1000$ mm, δD σφάλμα απόστασης σε mm (1mm)

A.10 Type A και Type B : Λαμβάνεται υπόψη στο συντελεστή βαθμονόμησης Nk του ηλεκτρομέτρου – θαλάμου

A.11 Το Leakage current είναι αμελητέο, πάντα μικρότερο από το 0,1 % της τιμής ρεύματος κατά τη μέτρηση

A.12 Η επανασύνδεση ιόντων (recombination loss) είναι αμελητέα για την ενέργεια του Co60.

B Μέτρηση με τα υπό βαθμονόμηση όργανα

B.1 Type A : Η τυπική απόκλιση των συντελεστών βαθμονόμησης που προκύπτουν από τουλάχιστον 3 επαναλαμβανόμενες πειραματικές διαδικασίες (στήσιμο διάταξης – μετρήσεις – υπολογισμός συντελεστή βαθμονόμησης).

B.1 Type B : Δεν έχει νόημα. Η παράμετρος είναι στατιστικού χαρακτήρα.

B.2 Type A : Η διακριτική ικανότητα του ηλεκτρομέτρου (της μέτρησης) δεν είναι στατιστικού χαρακτήρα. Το πεδίο δεν έχει νόημα.

B.2 Type B : Η διακριτική ικανότητα του ηλεκτρομέτρου είναι 0,01 pC. Άρα η αβεβαιότητα υπολογίζεται σύμφωνα με το 3 των γενικών παραδοχών

B.3 Type A : Η έλλειψη σταθερότητας – στατιστικού χαρακτήρα - στις μετρήσεις ρεύματος με το ηλεκτρόμετρο του χρήστη λαμβάνονται υπόψη στην επαναληψιμότητα της μεθόδου B1.

B.3 Type B : Το σφάλμα μέτρησης του υπό βαθμονόμηση οργάνου εκτιμάται σε 0,01% από τα στοιχεία του κατασκευαστή.

B.4 Type A : Δεν είναι στατιστικού χαρακτήρα. Δεν έχει νόημα

B.4 Type B : Για ένα σύνθητες σφάλμα τοποθέτησης 2 mm, η αβεβαιότητα υπολογίζεται σύμφωνα με την παράγραφο 3 των γενικών παραδοχών. (βλ και A.9)

B.5 Type A : Λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της ομοιογένειας του πεδίου ακτινοβολήσης στη σύγκριση μεταξύ του θαλάμου αναφοράς και του θαλάμου του χρήστη. Δεν είναι στατιστικού χαρακτήρα, συνεπώς το πεδίο αυτό είναι κενό.

B.5 Type B : Λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της ομοιογένειας του πεδίου ακτινοβολήσης στη σύγκριση μεταξύ του θαλάμου αναφοράς και του θαλάμου του χρήστη. Από βιβλιογραφία (IAEA TPΣ 374) λαμβάνεται ίση με 0,1 %. Η αβεβαιότητα υπολογίζεται σύμφωνα με το 3 των γενικών παραδοχών

B.6 Type A : Βλέπε παρ 8 γενικών παραδοχών και παρακάτω πίνακα

B.6 Type B : Βλέπε παρ 8 γενικών παραδοχών και παρακάτω πίνακα

B.7 Type A και Type B : Δεν είναι στατιστικού χαρακτήρα (Type A = NR) Επειδή το θερμόμετρο τοποθετείται πολύ κοντά στο θάλαμο η θερμοκρασία στο σημείο μέτρησης (θερμόμετρο) και στο σημείο του θαλάμου είναι η ίδια (Type B = 0,00).

B.8, B.12, B.13 : Η επίδραση των ρευμάτων διαρροής, (Leakage current) είναι αμελητέο, πάντα μικρότερο από το 0,1 % της τιμής ρεύματος κατά τη μέτρηση. Επίσης η επανασύνδεση ιόντων (recombination loss) για την ενέργεια του Co60 και η επίδραση της υγρασίας είναι αμελητέες.

B.10 και B.11 : Λαμβάνεται υπόψη στο συντελεστή βαθμονόμησης N_k και στην επαναληψιμότητα της μεθόδου B.1

B.9 : Η ύπαρξη υποβάθρου ακτινοβολίας λαμβάνεται υπόψη στο Leakage current το οποίο είναι αμελητέο, και πάντα μικρότερο από το 0,1 % της τιμής ρεύματος κατά τη μέτρηση

A.8 και B.6 : ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ – ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ

Η αβεβαιότητα $u_{k_{P,T}}$ του παράγοντα διόρθωσης πίεσης και θερμοκρασίας $k_{P,T}$,

$$k_{P,T} = \frac{P_0 \cdot (273 + \theta)}{P \cdot (273 + 20^\circ)}$$

υπολογίζεται από

$$u_{k_{P,T}} = \sqrt{\left(\frac{\partial k_{P,T}}{\partial P} \cdot u_P\right)^2 + \left(\frac{\partial k_{P,T}}{\partial \theta} \cdot u_\theta\right)^2}$$

όπου u_P και u_θ οι αβεβαιότητες (τύπου A και τύπου B) των μετρήσεων της πίεσης και θερμοκρασίας.

$U_{k_{PT}}$	TYPE A	TYPE B	
$u_T =$	0,5	0,23094	A : Η διακύμανση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης δια τη μέση τιμή της θερμοκρασίας B : Η αβεβαιότητα από το πιστοποιητικό βαθμονόμησης του θερμομέτρου δια 20° δια ρίζα 3
$T_0 =$	293	293	θερμοκρασία αναφοράς
$u_P =$	0	0,28868	A : Η διακύμανση της πίεσης κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης B : Η αβεβαιότητα από το πιστοποιητικό βαθμονόμησης του βαρομέτρου δια 1013 hPa δια ρίζα 3
$P_0 =$	1013	1013	πίεση αναφοράς
$T =$	300	300	μέση τιμή θερμοκρασίας κατά τη βαθμονόμηση
$P =$	990	990	μέση τιμή πίεσης κατά τη βαθμονόμηση
k_{PT}	1,047678	1,04768	τιμή $k_{P,T}$ από τύπο (βλ παρ 8 γενικές παραδοχές)
$u_k =$	0,000652	0,00081	τιμή αβεβαιότητας από τύπο (βλ παρ 8 γενικές παραδοχές)
% u_k	0,16	0,08	$= u_k / k_{P,T} * 100$

Τα πεδία % u_k Type A και Type B παίρνονται στις αντίστοιχες θέσεις του πίνακα υπολογισμού της συνολικής αβεβαιότητας **A.8 και B.6**

**Υπολ. Αβεβ. 2 : ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ
ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ $N_{D,w}$**

	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	Type A	Type B
		%	%
A	Μέτρηση του Kair με τα όργανα αναφοράς		
A.1	ND,w from IAEA		0,58
A.2	ND,w stability	0,10	NR
A.3	Electrometer accuracy		0,00
A.4	Scale reading / resolution	0,00	0,00
A.5	Current measurements	NA	NA
A.6	Uniformity of radiation beam		0,06
A.7	Difference in Co60 energy spectra		0,05
A.8	Temperature & Pressure	0,06	0,08
A.9	Positioning in same distance	*	0,115
A.10	Electrometer Built-In timer	*	*
A.11	Leakage current		0,00
A.12	Recombination loss		0,00
B	Μέτρηση με τα υπό βαθμονόμηση όργανα		
B.1	Reproducibility of procedure	0,30	
B.2	Scale reading / resolution	*	0,00
B.3	Ionization current	*	0,01
B.4	Positioning in same distance	*	0,058
B.5	Uniformity of radiation beam (for different chamb)		0,00
B.6	Temperature & Pressure	0,06	0,08
B.7	Difference in Temperature at two places		0,00
B.8	Leakage current		0,00
B.9	Radiation background		0,00
B.10	Electrometer accuracy	NR	NR
B.11	Electrometer built-in timer	*	0,00
B.12	Humidity		0,00
B.13	Recombination loss		0,00

QUADRATIC SUM	0,33	0,61
COMBINED UNCERTAINTY	0,69	%
EXPANDED UNCERTAINTY	1,39	%

**** Οι επεξηγήσεις όμοιες με αυτές για το Nk (Υπολ.Αβεβ. 1)**

**Υπολ. Αβεβ. 3 : ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ
στη ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΟΡΓΑΝΩΝ με ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ**

Εφαρμογή σε όργανα που διαθέτουν ηλεκτρόμετρο και θάλαμο ιονισμού

	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	Type A	Type B
		%	%
A	Μέτρηση του Kair με τα όργανα αναφοράς		
A.1	Nk from IAEA		0,58
A.2	Stability of Reference value Kair at 2 m	0,24	
A.3	Electrometer accuracy		0,00
A.4	Scale reading / resolution	0,00	0,06
A.5	Current measurements	NA	NA
A.6	Uniformity of radiation beam		0,58
A.7	Difference in Cs137 energy spectra		0,10
A.8	Temperature & Pressure	0,16	0,08
A.9	Difference in Temperature at two places		0,02
A.10	Electrometer Built-In timer	*	*
A.11	Leakage current		0,00
A.12	Recombination loss		0,00
A.13	Positioning of std instrument at same distance		0.115
A.14	Backscatter effect	NR	0,00
A.15	Reproducibility of Kair=f(SCD) curve	0,50	
	Conversion Coefficients		2,00
B	Μέτρηση με τα υπό βαθμονόμηση όργανα		
B.1	Reproducibility of procedure	0,30	
B.2	Scale reading / resolution	*	0,00
B.3	Ionization measurements	*	0,01
B.4	Positioning of test instrument		0.577
B.5	Uniformity of radiation beam (for different chamb)		0,58
B.6	Temperature & Pressure	0,31	0,08
B.7	Difference in Temperature at two places		0,02
B.8	Leakage current		0,00
B.9	Radiation background		0,00
B.10	Electrometer accuracy	NR	NR
B.11	Electrometer built-in timer	*	0,00
B.12	Humidity		0,00
B.13	Recombination loss		0,00

QUADRATIC SUM	0,72	2,32
COMBINED UNCERTAINTY	2,43	%
EXPANDED UNCERTAINTY	4.86	%

ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ :

Όμοιες με αυτές για το Nk. Επιπλέον :

A.15 Reproducibility of $K_{air}=f(SCD)$ curve : Έχει στατιστικό χαρακτήρα (Type A).
Εισάγεται η χειρότερη % σχετική απόκλιση (%SD) των μετρήσεων σε διάφορες αποστάσεις
στη διάρκεια του χρόνου. (Αρχείο Excel : OB_Kair_Distances)

Conversion Coefficients : Αβεβαιότητα στη μετατροπή μεγεθών – από K_{air} σε $H^*(10)$,
 $H_p(10)$, $H_p(0,07)$, X κλπ. Από ICRU δίδεται αβεβαιότητα στους συντελεστές μετατροπής
2%.

**Υπολ. Αβεβ. 4 : ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ
στη ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΦΟΡΗΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ με ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ
ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ**

Εφαρμογή σε Survey meters

	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	Type A	Type B
		%	%
A	Μέτρηση του Kair με τα όργανα αναφοράς		
A.1	Nk from IAEA		0,58
A.2	Stability of Reference value Kair at 2 m	0,24	
A.3	Electrometer accuracy		0,00
A.4	Scale reading / resolution	0,00	0,06
A.5	Current measurements	NA	NA
A.6	Uniformity of radiation beam		0,58
A.7	Difference in Cs137 energy spectra		0,10
A.8	Temperature & Pressure	0,16	0,08
A.9	Difference in Temperature at two places		0,02
A.10	Electrometer Built-In timer	*	*
A.11	Leakage current		0,00
A.12	Recombination loss		0,00
A.13	Positioning of std instrument at same distance		0.115
A.14	Backscatter effect	NR	0,00
A.15	Reproducibility of Kair=f(SCD) curve	0,50	
	Conversion Coefficients		2,00
B	Μέτρηση με τα υπό βαθμονόμηση όργανα		
B.1	Positioning of test instrument		0.577
B.2	Field inhonogeneities		0,60
B.3	Scale reading / resolution	*	2,89
B.4	Reading Precision	0.58	
B.5	Radiation background		0,20
	QUADRATIC SUM	0.82	3.71
	COMBINED UNCERTAINTY	3.80	%
	EXPANDED UNCERTAINTY	7.60	%

**** Οι επεξηγήσεις όμοιες με αυτές του Υπολ. Αβεβ. 3**

Για το Reading Precision : Τα όργανα αυτά έχουν συνήθως βελόνα ένδειξης. Η βελόνα «παίζει - κινείται» μεταξύ δύο τιμών (εύρος σφάλματος ανάγνωσης. Στο σφάλμα υπολογίζεται σύμφωνα με την παρ. 3 των γενικών παραδοχών.

**Υπολ. Αβεβ. 5 : ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ
στη ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΣΤΥΛΟΔΟΣΙΜΕΤΡΩΝ με ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ
ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ**

	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	Type A	Type B
		%	%
A	Μέτρηση του Kair με τα όργανα αναφοράς		
A.1	Nk from IAEA		0,58
A.2	Stability of Reference value Kair at 2 m	0,24	
A.3	Electrometer accuracy		0,00
A.4	Scale reading / resolution	0,00	0,06
A.5	Current measurements	NA	NA
A.6	Uniformity of radiation beam		0,58
A.7	Difference in Cs137 energy spectra		0,10
A.8	Temperature & Pressure	0,16	0,08
A.9	Difference in Temperature at two places		0,02
A.10	Electrometer Built-In timer	*	*
A.11	Leakage current		0,00
A.12	Recombination loss		0,00
A.13	Positioning of std instrument at same distance		1,155
A.14	Backscatter effect	NR	0,00
A.15	Reproducibility of Kair=f(SCD) curve	0,50	
	Conversion Coefficients		2,00
B	Μέτρηση με τα υπό βαθμονόμηση όργανα		
B.1	Positioning of test instrument		1,15
B.2	Field inhonogeneities		0,60
B.3	Scale reading / resolution	*	2,89
B.4	Reading Precision	NR	NR
B.5	Radiation background		0,20
	QUADRATIC SUM	0,58	3,85
	COMBINED UNCERTAINTY	3,89	%
	EXPANDED UNCERTAINTY	7,78	%

**** Οι επεξηγήσεις όμοιες με αυτές του Υπολ. Αβεβ. 4**
Για το Reading Precision : Η βελόνα παραμένει ακίνητη.

**Υπολ. Αβεβ. 6 : ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ
ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ Nk ΔΟΣΙΜΕΤΡΩΝ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗΣ
ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΑΣ**

	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	Type A	Type B
		%	%
A	Μέτρηση του Kair με τα όργανα αναφοράς		
A.1	Nk from PTB		0,50
A.2	Nk stability	0,50	NR
A.3	Electrometer accuracy		0,00
A.4	Scale reading / resolution	0,00	0,00
A.5	Current measurements	NA	NA
A.6	Uniformity of X-ray beam		0,58
A.7	Difference in X ray spectra (HVL)		0,50
A.8	Positioning in same distance		0,58
A.9	Temperature & Pressure	0,17	0,08
A.10	Electrometer Built-In timer		*
A.11	Leakage current		0,00
A.12	Recombination loss		0,00
B	Μέτρηση με τα υπό βαθμονόμηση όργανα		
B.1	Shutter timer accuracy	*	
B.2	Shutter timer reproducibility	*	
B.3	Ionization / Dose measurements stability	*	
B.4	Positioning in same distance		0,58
B.5	Uniformity of radiation beam (for different chamb)		0,00
B.6	Temperature & Pressure	0,17	0,08
B.7	Difference in Temperature at two places		0,00
B.8	Leakage current		0,00
B.9	Radiation background		0,00
B.10	Electrometer accuracy	NR	NR
B.11	Humidity		0,00
B.12	Recombination loss		0,00
A.13	Reproducibility of Kair meas with SSDL instrum	0,06	
B.13	Reproducibility of meas with USER instrument	0,04	
B.14	Scale reading / resolution for USER instrument	*	0,06
B.15	For Kair / DAP : Field Area		4,12

QUADRATIC SUM	0,56	4,24
COMBINED UNCERTAINTY	4,27	%
EXPANDED UNCERTAINTY	8,55	%

B.15 : Σφάλμα στο πραγματικό πεδίο X-ray. Λαμβάνεται 0,5% (Διαφορά actual και από μετρούμενο σε film, πχ για 7 mm slice (KLP) το σφάλμα είναι $0,5 / 7 = 7,1 \%$ διαιρεμένο με ρίζα 3 = 4,12 %

**** Οι λοιπές επεξηγήσεις όμοιες με αυτές του Υπολ. Αβεβ. 1, 2, 3**

**Υπολ. Αβεβ. 7 : ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ
ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΟΡΓΑΝΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ**

	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	Type A	Type B
		%	%
A.1	Uncertainty of kV measurement		0,41
A.2	Accuracy (of DYN Analyzer)		0,83
A.3	Internal resolution (of DYN Analyzer)		0,04
A.4	Reproducibility of procedure	0,47	NR
A.5	Scale reading / resolution	*	0,07

QUADRATIC SUM	0,47	0,93
COMBINED UNCERTAINTY	1,04	%
EXPANDED UNCERTAINTY	2,08	%

ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ :

A.1 Type B : Το σφάλμα (αβεβαιότητα) που δίδεται στο πιστοποιητικό βαθμονόμησης του οργάνου αναφοράς – DYN ANALYZER (βλ γενικές παραδοχές). Η παράμετρος δεν είναι στατιστικού χαρακτήρα (Type A : Not Relevant)

A.2 Type B : Η ακρίβεια του οργάνου αναφοράς – DYN ANALYZER, όπως δίνεται από το manual του οργάνου. +/- (0,75 kV + 0,5% of reading. Η τιμή υπολογίζεται στα 80 kV σύμφωνα με την παράγραφο 3 των γενικών παραδοχών. Η παράμετρος δεν είναι στατιστικού χαρακτήρα (Type A : Not Relevant)

A.3 Type B : Η διακριτική ικανότητα του DYN ANALYZER είναι 0,01 kV. Άρα η αβεβαιότητα υπολογίζεται σύμφωνα με το 3 των γενικών παραδοχών. Η διακριτική ικανότητα δεν είναι στατιστικού χαρακτήρα. Το πεδίο Type A δεν έχει νόημα.

A.4 Type A : Η τυπική απόκλιση των μετρήσεων που προκύπτουν από τουλάχιστον 3 επαναλαμβανόμενες πειραματικές διαδικασίες. Η παράμετρος είναι στατιστικού χαρακτήρα (Type B : NR)

A.5 Type B : Η διακριτική ικανότητα του kV-meter του χρήστη είναι συνήθως 0,1 kV. Άρα η αβεβαιότητα υπολογίζεται σύμφωνα με το 3 των γενικών παραδοχών. Η διακριτική ικανότητα δεν είναι στατιστικού χαρακτήρα. Το πεδίο Type A δεν έχει νόημα, παρόλα αυτά λαμβάνεται υπόψη και στο A.4 (*)

**ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
BEST MEASURING CAPABILITIES**

	ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	“ΑΝΗΓΜΕΝΗ” (ΟΛΙΚΗ) ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ σε Ε.Ε. 95% (k=2)
1	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΟΡΓΑΝΩΝ ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΥΤΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ (ΣΕ ΝΚ)	1,24 %
2	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΟΡΓΑΝΩΝ ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΥΤΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΣΤΟ ΝΕΡΟ (ΣΕ $N_{D,w}$)	1,39 %
3	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΟΡΓΑΝΩΝ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ (ΟΡΓΑΝΑ ΠΟΥ ΔΙΕΘΕΤΟΥΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΕΤΡΟ ΚΑΙ ΘΑΛΑΜΟ ΙΟΝΙΣΜΟΥ)	4,86 %
4	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΦΟΡΗΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ	7,60 %
5	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΣΤΥΛΟΔΟΣΙΜΕΤΡΩΝ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ	7,78 %
6	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΔΟΣΙΜΕΤΡΩΝ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΑΣ	2,76 %
7	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΟΡΓΑΝΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	2,08 %

4. ΥΠΕΥΘΥΝΟΤΗΤΕΣ

4.1 Ο Επιστημονικός και ο Τεχνικός Υπεύθυνος φέρουν την ευθύνη για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας σύμφωνα με την Διαδικασία, σε όσες μεθόδους κρίνει απαραίτητο.

4.2 Ο ΕΥ και ο ΤΥ φέρουν την ευθύνη για την σύνταξη και την αναθεώρηση της Διαδικασίας.

5. ΑΡΧΕΙΑ

Έπ' άπειρον για κάθε δοκιμή του πεδίου διαπίστευσης του εργαστηρίου τα αρχεία υπολογισμού της αβεβαιότητας της δοκιμής που περιέχουν κατ' ελάχιστο τα ένα κατάλογο των παραγόντων αβεβαιότητας και τον τρόπο αξιολόγησή τους, π.χ. πηγές δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν, υποθέσεις που έγιναν, κλπ.

Σε excel αρχείο υπάρχει ο τρόπος υπολογισμού της αβεβαιότητας για κάθε μέθοδο βαθμονόμησης.