



Brakiterapide Kaynak Kalibrasyonu



Yusuf Ziya HAZERAL

Brakiterapi Kaynak Kalibrasyonu

- Brakiterapi kaynağının dozunun ölçülmesi ve doğrulanması, kalite güvencesi programının önemli bir parçasıdır.
- HDR brakiterapide yaygın olarak kullanılan ^{192}Ir kaynağı
 - Küçük pelet şeklinde
 - 0.6 mm çap x 3.5 mm aktif uzunluk
 - 73.83 günlük yarı ömre (yaklaşık üç ayda bir kaynak değişimi)
- Kaynak Kalibrasyonu, başlangıçta ve her kaynak değişiminde klinik kullanımdan önce yapılmalıdır.



Enerji Aralıkları & Nicelikleri

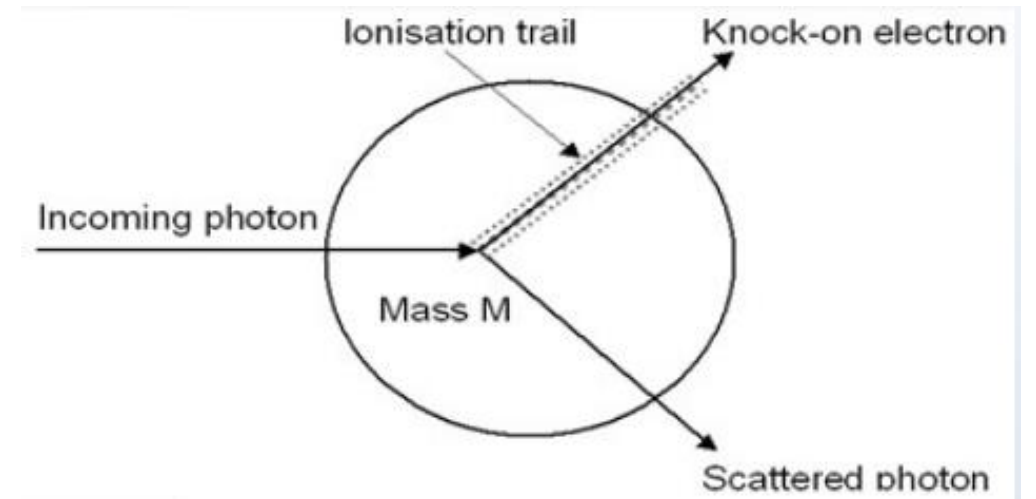
• 10-50 keV – Düşük enerjili x- ışınları	Hava kerma
• 50-300 keV – Orta enerjili x-ışınları	Hava kerma
• ^{137}Cs , ^{192}Ir , ^{60}Co	Hava kerma
• ^{60}Co	Absorbe doz
• Linak Foton	Absorbe doz
• Linak Elektron	Absorbe doz

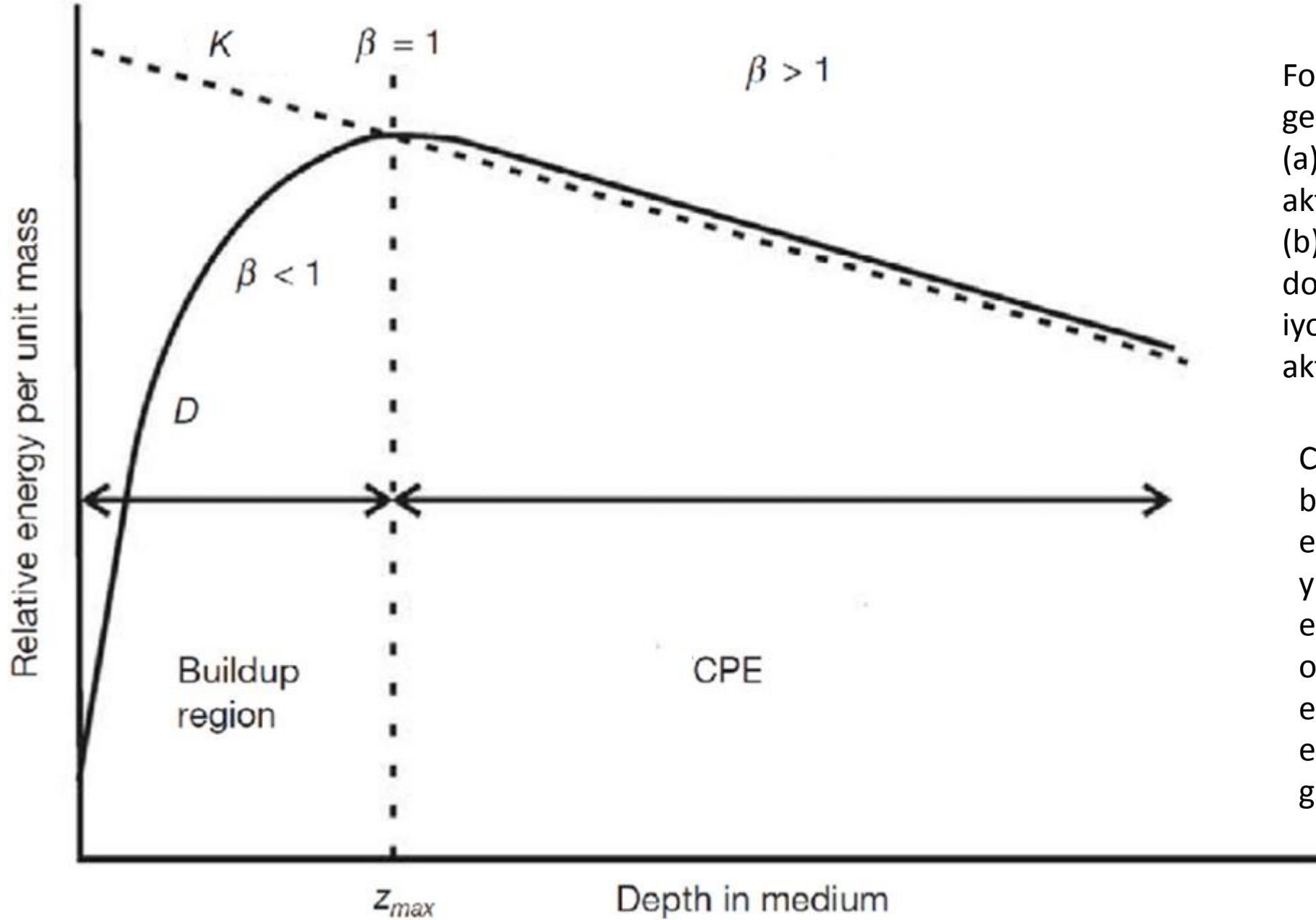
Kerma

- Birim kütle başına, yüklü olmayan iyonlaştırıcı radyasyon ile bir hedefe transfer edilen tüm yüklü parçacıkların başlangıçtaki kinetik enerjilerinin toplamı.
- Yalnız madde üzerine gelen radyasyondur, geri saçılma içermez.

Absorbe Doz

- Birim kütle başına ikincil elektronlar dahil, iyonlaştırıcı radyasyonla bir hedefe biriktirilen toplam enerji.
- Geri saçılma içerir.





Foton etkileşimi iki aşamada gerçekleşir:

(a) Enerji yüklü parçacıklara aktarılır ve

(b) Yüklü parçacıklar doğrudan uyarma ve iyonlaşma yoluyla enerji aktarır

CPE (Charged Particle Equilibrium), belirli bir hacme giren fotonlar etkileşimleriyle üretilen ikincil yüklü parçacık miktarı, onu terk eden yüklü parçacık miktarına eşit olduğunda gerçekleşir. Yani gelen elektronların sayısı, giden elektronların sayısına karşılık geldiğinde.

Brakiterapi Kaynak Kalibrasyonu

- Gama yayan brakiterapi kaynaklarının kuvvetini belirtmek için
 - Referans hava kerma hızı (Reference Air Kerma Rate (RAKR))
 - Hava kerma kuvveti (Air Kerma Strength (AKS))
 - Bir radyoaktif kaynağın 1 metre mesafeye 1 saatte Gy olarak verdiği doz miktarıdır
 - $1\mu\text{Gy}^{-1}.\text{m}^2.h^{-1} = 1\text{cGy}^{-1}.\text{cm}^2.h^{-1}$

Units and Unit Conversion Factors for Reference Air Kerma Rate and Air Kerma Strength

Source Strength Quantity	Symbol	SI	Current Unit	Conversion Factor
Reference air kerma rate	$\dot{K}_R$	Gy s^{-1}	$\mu\text{Gy h}^{-1}$	$(1/3600) \times 10^{-6} \text{Gy s}^{-1}$ $= 2.778 \times 10^{-10} \text{Gy s}^{-1}$
			mGy h^{-1}	$(1/3600) \times 10^{-3} \text{Gy s}^{-1}$ $= 2.778 \times 10^{-7} \text{Gy s}^{-1}$
			mGy h^{-1}	$1.0 \times 10^3 \mu\text{Gy h}^{-1}$
Air kerma strength	S_K	$\text{Gy m}^2 \text{s}^{-1}$	U, $1 \text{ U} = 1 \mu\text{Gy m}^2 \text{h}^{-1}$ $= 1 \text{ cGy cm}^2 \text{h}^{-1}$	$(1/3600) \times 10^{-6} \text{Gy m}^2 \text{s}^{-1}$ $= 2.778 \times 10^{-10} \text{Gy m}^2 \text{s}^{-1}$
Air kerma rate constant	Γ_δ	$\text{J kg}^{-1} \text{m}^2$ or $\text{Gy s}^{-1} \text{Bq}^{-1} \text{m}^2$	$\mu\text{Gy h}^{-1} \text{m}^2$ $\text{MBq}^{-1} \text{m}^2$	$(1/3600) \times 10^{-12} \text{Gy s}^{-1} \text{Bq}^{-1} \text{m}^2$ $= 2.778 \times 10^{-16} \text{Gy s}^{-1} \text{Bq}^{-1} \text{m}^2$
			$\mu\text{Gy h}^{-1} \text{m}^2$ $\text{MBq}^{-1} \text{m}^2$	1.0 U MBq^{-1}

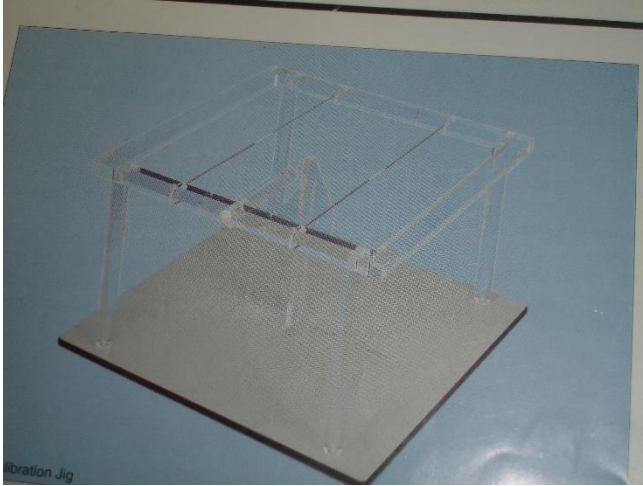
Brakiterapi Kaynak Kalibrasyonu

- The National Institute of Standard and Technology (NIST)
 - ^{226}Ra , ^{60}Co , ^{137}Cs ve ^{192}Ir gibi bazı brakiterapi kaynakları için doz kalibrasyon standartları geliştirmiştir.
- NIST metodu, her kaynak tipi için açık alan (open-air) geometrisi kullanılarak, bir seri iyon odası ölçümü temeli üzerine kuruludur.
- Kaynak, yaklaşık 1 metre uzaklıktaki 2.5 litrelik Alüminyum iyon odası kıyaslanması ile kalibre edilir.
- 1985'te NIST içi hava dolu iyon odası kullanarak ^{192}Ir için air-kerma şiddeti standardını oluşturdu.



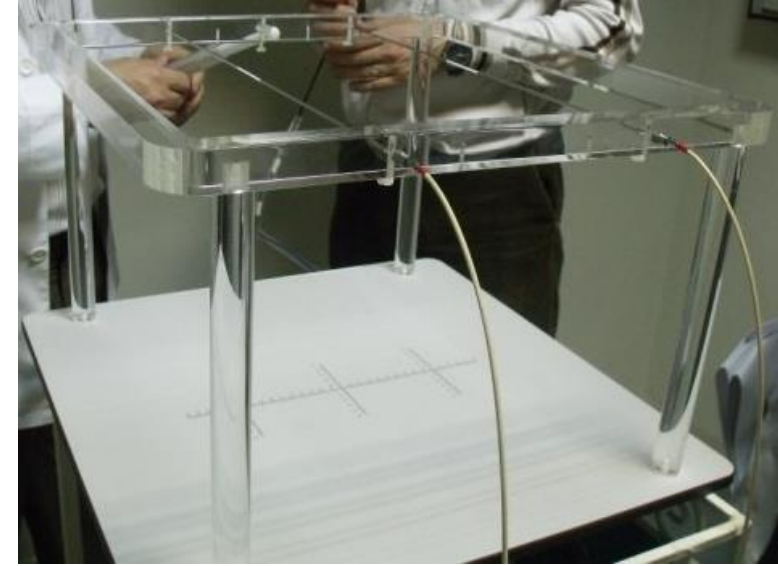
Brakiterapi Kaynak Kalibrasyonu

- Havada Ölçüm Yöntemi
- Well Tip (Kuyu Tip) İyon Odası İle Ölçüm Yöntemi
- Fantomda Ölçüm Yöntemi



Havada Ölçüm Yöntemi

- Havadaki ölçüler için düzenek olarak uygun Jig'ler geliştirilmiştir.
- Havadaki ölçülerde en uygun kaynak iyon odası mesafesi 10-20 cm'dir.
- Kalibrasyon için SSDL laboratuvarında ^{60}Co kaynağı ile kalibre edilmiş farmer tipi iyon odası uygundur
- İyon odasının çevresinde metal olmamasına dikkat edilir, (yaklaşık 1 m yarıçap)
- Yaklaşık 0.6 cc'lik kalibrasyonu yapılmış Build-up kepli iyon odası
 - ^{192}Ir kalibrasyon ölçümleri
 - NIST air-kerma standartları
 - Sekonder elektron dengesini kurmak için



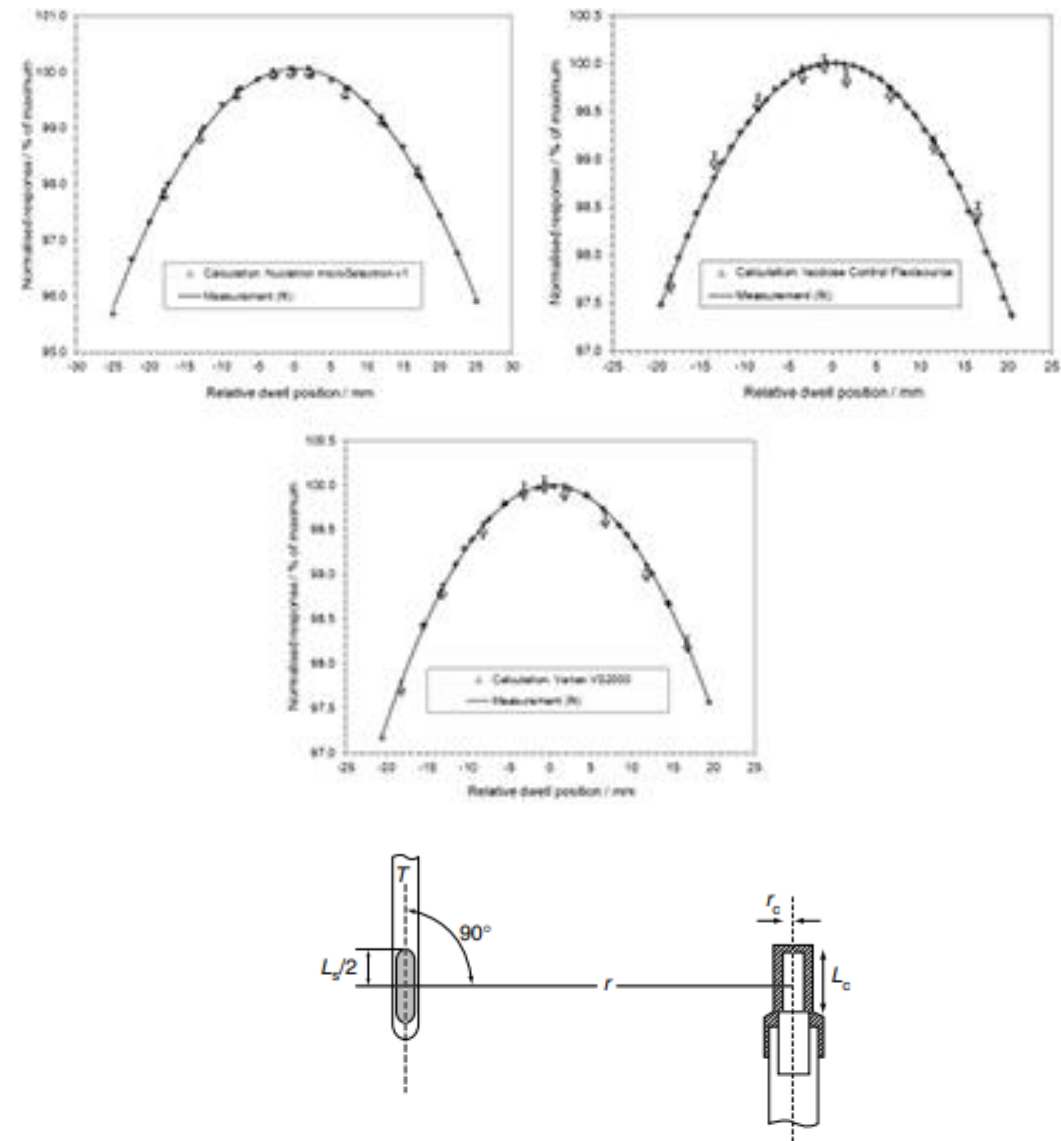
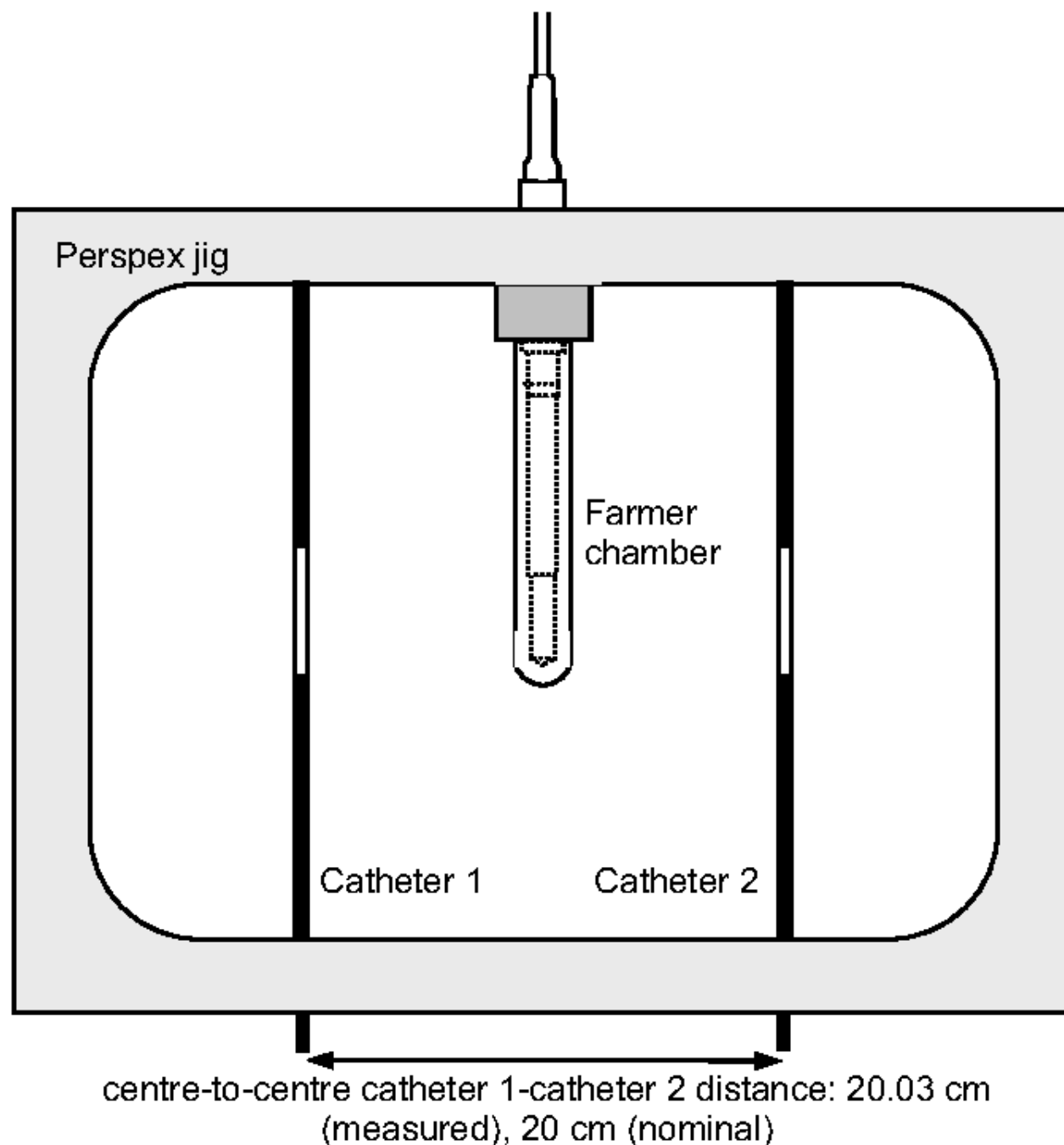


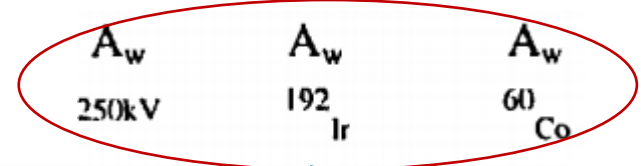
FIGURE 7.2

Geometry of an in-air calibration set-up at a distance r of a source using an ionization chamber with a build-up cap. The source is positioned within an suitable tubular structure (applicator/catheter) defined here by T . L_s is the length of the active part of the sealed source (active core) and r is the radial distance used for the measurement of air kerma rate in free space $\dot{K}_a(r)$. L_c is the internal length and r_c the internal radius of the cylindrical volume of the ionization chamber used for this example.

Havada Ölçüm Yöntemi

$$\dot{K}_R = N_K M k_u k_\tau k_\rho k_T k_p k_{\text{ion}} k_V k_{\text{wall}} k_{\text{as,a}} k_{\text{scatt}} k_{\text{appl}} k_r \quad \mu\text{Gy h}^{-1} \text{ at 1 m.}$$

$$S_K = N_K M k_u k_\tau k_\rho k_T k_p k_{\text{ion}} k_V k_{\text{wall}} k_{\text{as,a}} k_{\text{scatt}} k_{\text{appl}} k'_r \quad \mu\text{Gy m}^2 \text{ h}^{-1}.$$



• **Mu** = Dozimetre okuması (mGy-nC) (t=60 saniye)

• $N_{k(192Ir)} = (0.8 \times A_{w,250kV} \times N_{k,250kV} + 0.2 \times A_{w,Co} \times N_{k,Co}) / A_{w,Ir}$

$N_{k(192Ir)}$ = İyon odası için hava kerma kalibrasyon fak.

• $N_{k(192Ir)} = (0.8 \times N_{k,250kV} + 0.2 \times N_{k,Co})$
 $(A_{w(\text{Wall Attenuation Factors})} = 1)$
 (Referans: IAEA TECDOC 1079)

$^{192}\text{Ir} = 372.2 \text{ KeV}$ (mean enerjili gama)

$^{60}\text{Co} = 1.25 \text{ MeV}$ (mean enerjili gama)

$N_{k,Co} = N_{k,Co}$

TABLE IV. MONTE-CARLO CALCULATED A_w FACTORS FOR DIFFERENT IONIZATION CHAMBERS FOR 250 kV X ray, ^{192}Ir AND ^{60}Co . THE UNCERTAINTIES (ONE STANDARD DEVIATION) ARE < 0.1%. VALUES FROM [13]

Ionization chamber	Air cavity length/radius (mm)	Wall material/thickness gcm ⁻²	Build-up cap material/thickness gcm ⁻²	A_w	A_w	A_w
				250kV	^{192}Ir	^{60}Co
Capintec 0.07 cm ³ PR-05P mini	5.5 / 2.0	C552 / 0.220	Polyst./ 0.598	0.986	0.980	0.989
Capintec 0.14 cm ³ PR-05 mini	11.5 / 2.0	C552 / 0.220	Polyst./ 0.598	0.988	0.983	0.989
Capintec 0.65 cm ³ PR-06C Farmer	22.3 / 3.2	C552 / 0.050	C552 / 0.924	0.998	0.980	0.984
Capintec 0.65 cm ³ PR-06C Farmer	22.3 / 3.2	C552 / 0.050	Polyst. / 0.537	0.997	0.986	0.990
Capintec 0.65 cm ³ PR-06C Farmer	22.3 / 3.2	C552 / 0.050	PMMA / 0.547	0.992	0.984	0.989
Capintec 0.6 cm ³ PR-05P AAPM	23.8 / 3.3	Graphite / 0.046	PMMA / 0.625	0.995	0.986	0.986
Exradin 0.003 cm ³ A14 (2mm cap)	4.0 / 2	C552 / 0.176	C 552 / 0.352	1.000	0.993	0.993
Exradin 0.003 cm ³ T14 (4mm cap)	4.0 / 2	A150 / 0.113	A150 / 0.455	0.993	0.991	0.980
Exradin 0.05 cm ³ A1 (2mm cap)	5.7 / 2	C552 / 0.176	C 552 / 0.352	0.987	0.988	0.990
Exradin 0.05 cm ³ A1 (4mm ap)	5.7 / 2	C552 / 0.176	C 552 / 0.712	0.997	0.977	0.982
Exradin 0.05 cm ³ T1 (4mm cap)	5.7 / 2	A150 / 0.113	A150 / 0.455	0.985	0.988	0.990
Exradin 0.5 cm ³ A2 (2mm cap)	11.4 / 4.8	C552 / 0.176	C 552 / 0.352	0.986	0.978	0.984
Exradin 0.5 cm ³ A2 (4mm cap)	11.4 / 4.8	C552 / 0.176	C 552 / 0.712	0.989	0.973	0.976
Exradin 0.5 cm ³ P2 (4mm cap)	11.4 / 4.8	Polyst./0.105	Polyst. / 0.420	0.986	0.982	0.988
Exradin 0.5 cm ³ T2 (4mm cap)	11.4 / 4.8	A150 / 0.113	A150 / 0.455	0.983	0.979	0.985
Exradin 0.65 cm ³ Farmer A 12	24.2 / 3.1	C552 / 0.088	C 552 / 0.493	0.999	0.988	0.991
Far West tech 0.1 cm ³ IC-18	9.5 / 2.3	A150 / 0.183	A150 / 0.386	0.993	0.983	0.990
FZK 0.4 cm ³ TK 01 waterproof	12 / 3.5	Delrin / 0.071	Delrin / 0.430	0.988	0.982	0.989
NE 0.2 cm ³ Farmer 2515	7 / 3.0	Tufool / 0.074	PMMA / 0.543	0.993	0.980	0.987
NE 0.2 cm ³ Farmer 2515/3	7 / 3.2	Graphite / 0.066	PMMA / 0.543	0.994	0.982	0.986
NE 0.2 cm ³ Farmer 2577	8.3 / 3.2	Graphite / 0.066	Delrin / 0.552	0.988	0.981	0.986
NE 0.6 cm ³ Farmer 2505	24 / 3.0	Tufool / 0.075	PMMA / 0.545	0.997	0.989	0.990
	24 / 3.0	Nylon 66 / 0.063	PMMA / 0.545	0.996	0.984	0.989
	24 / 3.2	Graphite / 0.065	PMMA / 0.551	0.998	0.989	0.989
	24 / 3.2	Nylon 66/0.041	PMMA / 0.551	0.995	0.990	0.989
	24.1 / 3.15	Graphite / 0.065	Delrin / 0.551	0.999	0.989	0.988
	24.1 / 3.15	Graphite / 0.065	PMMA / 0.550	0.998	0.989	0.989
	24.1 / 3.2	A150 / 0.040	PMMA / 0.584	0.986	0.988	0.987
	24.1 / 3.2	A150 / 0.041	Polyst. / 0.584	0.991	0.990	0.991
	9.2 / 3.7	Graphite / 0.09	Delrin / 0.600	0.987	0.984	0.984
PTW 0.1 cm ³ 23 323 micro	12 / 1.75	PMMA / 0.208	PMMA / 0.357	0.999	0.991	0.991
PTW 1.0 cm ³ 23 331 rigid	22 / 3.95	PMMA / 0.060	PMMA / 0.345	0.997	0.992	0.993
PTW 0.3 cm ³ 23 332 rigid	18 / 2.5	PMMA / 0.054	PMMA / 0.357	1.000	0.993	0.994
PTW 0.6 cm ³ Farmer 30 001	23 / 3.05	PMMA / 0.045	PMMA / 0.541	0.997	0.990	0.990
PTW 0.6 cm ³ Farmer 30 002	23 / 3.05	Graphite / 0.079	PMMA / 0.541	0.993	0.989	0.989
PTW 0.6 cm ³ Farmer 30 004	23 / 3.05	Graphite / 0.079	PMMA / 0.541	0.997	0.990	0.990
PTW 0.125 cm ³ 31 002 flexible	6.5 / 2.75	PMMA / 0.079	PMMA / 0.357	0.990	0.992	0.992

Hava Kerma Kalibrasyon Katsay
Air Kerma Calibration Coefficient

Radyasyon / Radiation	N_K mGy/nC
Co-60	48,960

Hava Kerma Kalibrasyon Katsayısı

Radyasyon kalitesi	HVL		N_K (mGy/nC)	U (%)
	mmAl	mmCu		
T100	4,70	0,19	72,075	2,0
T150	11,50	0,88	59,739	2,0
T250	16,70	2,39	51,762	2,0

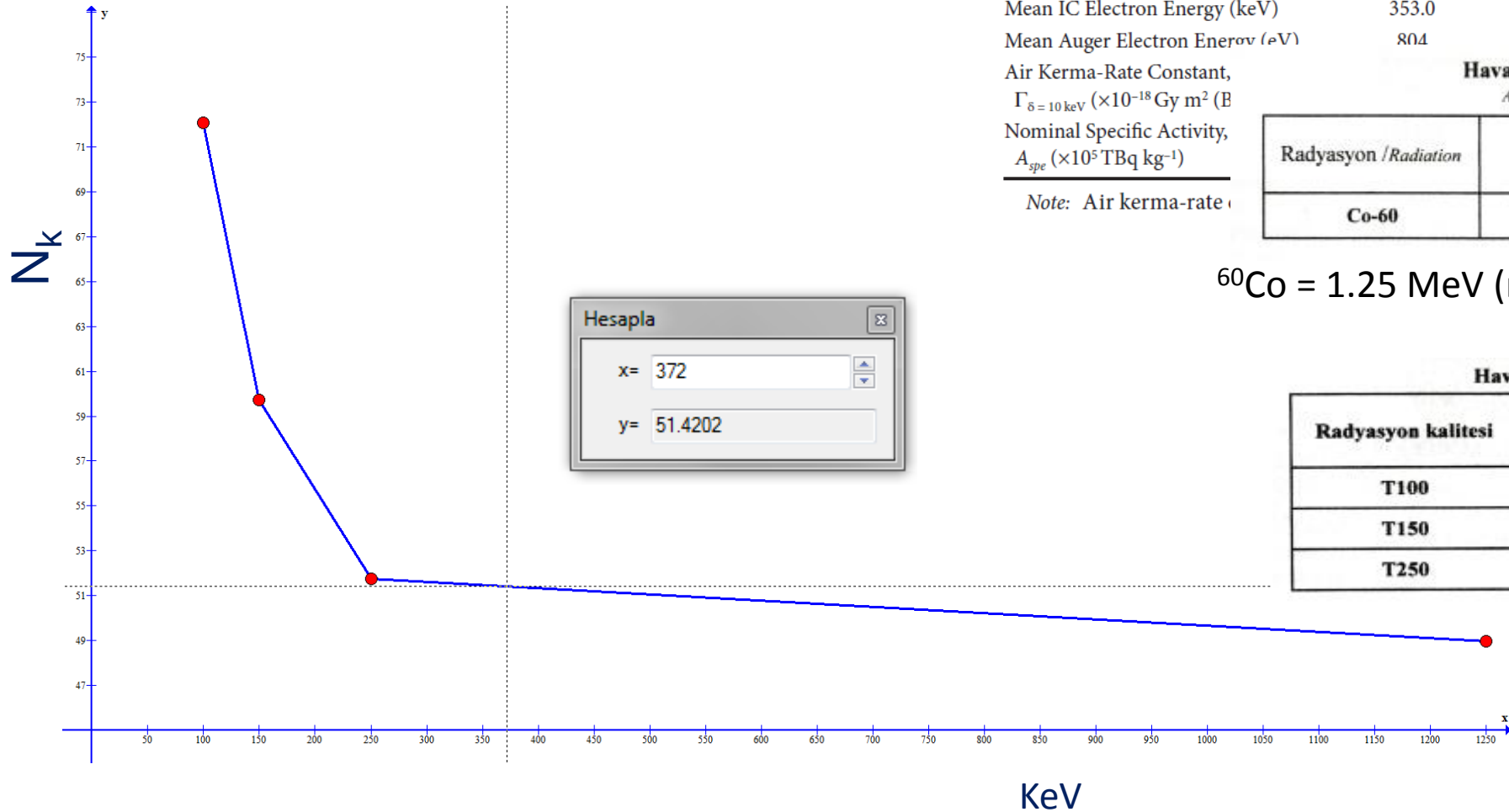


TABLE 3.1 Physical Properties of High-Energy Photon Emitting Brachytherapy Radionuclides

	^{198}Au	^{192}Ir	^{137}Cs	^{60}Co
Half-Life	2.695 days	73.83 days	30.07 year	5.27 year
Type of Disintegration	β^-	β^- (95.1%) EC (4.9%)	β^-	β^-
Mean γ Energy (keV)	415.1	372.2	661.7	1252.0
Mean X-ray Energy (keV)	3.7	3.6	1.8	0.51
Mean β^- ray Energy (keV)	312.2	180.7	188.4	96.5
Mean IC Electron Energy (keV)	353.0	266.9	630.3	1233.0
Mean Auger Electron Energy (eV)	804	844	538	1150

Hava Kerma Kalibrasyon Katsayısı

Air Kerma Calibration Coefficient

Radyasyon / Radiation	N_k mGy/nC	$U^{(*)}$ %
Co-60	48,960	1,1

$^{60}\text{Co} = 1.25 \text{ MeV}$ (mean enerjili gama (1.17-1.33))

Hava Kerma Kalibrasyon Katsayısı

Radyasyon kalitesi	HVL		N_k (mGy/nC)	$U^{(*)}$ %
	mmAl	mmCu		
T100	4,70	0,19	72,075	2,0
T150	11,50	0,88	59,739	2,0
T250	16,70	2,39	51,762	2,0

- k_u = birim dönüştürme katsayısı, $\mu\text{Gy} = k_u \times \text{Gy}$, $k_u = 1 \times 10^{-6}$
- $k_t = 60 / t$, $t = 1$ dakika
- $k_p k_T = K_{tp}(\text{Sıcaklık, basınç düzeltmesi}) = \frac{273.2 + T (^{\circ}\text{C})}{273.2 + 20 (^{\circ}\text{C})} \times \frac{1013.25 (\text{hPa})}{P (\text{hPa})}$
- k_p = polarite etkisi düzeltme faktörü = $\frac{|M_1| \times |M_2|}{2|M_1|}$
 $|M_1|, |M_2|$ = Bias voltajın Standart ve tersi için sinyal değerleri
- k_{ion} = iyon rekombinasyon düzeltme faktörü = $\frac{3}{4 - M/M_2}$
 M = Nominal voltaj V 'deki sinyal, $M_2 = V/2$ 'deki sinyal

- $k_V =$ İyon odası sınırlı boyut düzeltme katsayısı, 10 cm'nin üzerindeki mesafelerde pratik olarak 1 kabul edilir. (Aşağıdaki İyon Odaları için)

Bu faktör aşağıdakilere bağlıdır:

- İyonizasyon haznesinin şekli ve boyutları (küresel, silindirik, iç yarıçap ve uzunluk)
- Ölçüm mesafesi ve kaynak geometrisi ("nokta kaynağı," hat kaynağı vb.)
- Odanın iç duvarındaki malzeme
- Kaynaktan yayılan fotonların enerjisi

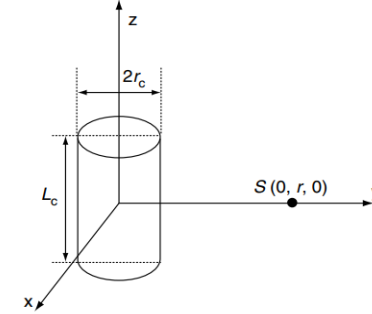


FIGURE 7.6

Sideward geometry for the calculation of the chamber finite size correction factor k_V , as in Equation 7.14, of an in-air calibration set-up for a point source S using a cylindrical ionization chamber. The point source S is positioned at a distance r on the perpendicular bisector of the chamber cylinder axis. Thus, S has $(0, r, 0)$ coordinates to the chamber coordinate system shown in the figure. L_c is the length and r_c the radius of the cylindrical volume (cavity) of the ionization chamber.

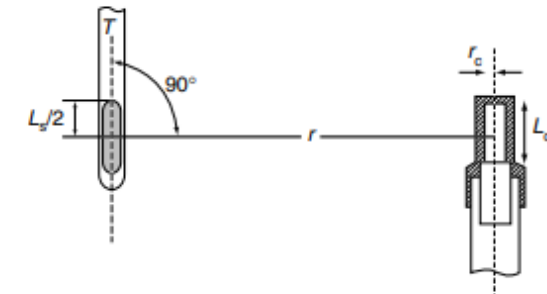


FIGURE 7.2

Geometry of an in-air calibration set-up at a distance r of a source using an ionization chamber with a build-up cap. The source is positioned within an suitable tubular structure (applicator/catheter) defined here by T . L_s is the length of the active part of the sealed source (active core) and r is the radial distance used for the measurement of air kerma rate in free space $\dot{K}_a(r)$. L_c is the internal length and r_c the internal radius of the cylindrical volume of the ionization chamber used for this example.

TABLE 7.7

Values of the Chamber Volume Corrections Factor k_V According to Kondo and Randolph,⁵¹ Equation 7.14, for the Different Cylinder or Almost Cylinder Shaped Ionization Chambers Listed in Table 7.6

Distance r (cm)	K_V													
	Capintec	Capintec	Capintec	Exradin	Exradin	FZK	NE 2515	NE 2515/3	NE 2577	NE 2561	NE			
	PR-05 0.14 cm ³	PR-05P 0.6 cm ³	PR-06C 0.65 cm ³	A2/P2/T2 0.5 cm ³	A12 0.65 cm ³	TK 01 0.4 cm ³					NE 2505 2505/A 0.6 cm ³	2505/3A 2505/3B 0.6 cm ³	NE 2571 0.6 cm ³	NE 2581 0.6 cm ³
5.0	1.004	1.017	1.015	0.999	1.018	1.002	0.999	0.999	1.000	0.999	1.018	1.017	1.018	1.018
8.0	1.001	1.007	1.006	0.999	1.007	1.001	1.000	1.000	1.000	1.000	1.007	1.007	1.007	1.007
10.0	1.001	1.004	1.004	1.000	1.004	1.001	1.000	1.000	1.000	1.000	1.004	1.004	1.004	1.004
12.0	1.001	1.003	1.003	1.000	1.003	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003	1.003	1.003	1.003
15.0	1.000	1.002	1.002	1.000	1.002	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.002	1.002	1.002	1.002
18.0	1.000	1.001	1.001	1.000	1.001	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.001	1.001	1.001
20.0	1.000	1.001	1.001	1.000	1.001	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.001	1.001	1.001
25.0	1.000	1.001	1.001	1.000	1.001	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.001	1.001	1.001
30.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
35.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
40.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
45.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
50.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

(continued)

TABLE 7.7—*Continued*

	K_V												
	PTW			PTW	Victoreen			Victoreen			Wellhöfer		
Distance	PTW	PTW	PTW	PTW	PTW	Victoreen	Victoreen	Victoreen	Victoreen	Victoreen	Wellhöfer	Wellhöfer	Wellhöfer
r (cm)	31002	31003	23332	3001/ 3002/3004	23331	Radocon III 550	30-348	30-361	30-351	30-349	IC-15	IC 28	IC 69/IC 70
	0.125 cm ³	0.3 cm ³	0.3 cm ³	0.6 cm ³	1.0 cm ³	0.3 cm ³	0.3 cm ³	0.4 cm ³	0.6 cm ³	1.0 cm ³	0.13 cm ³	0. 3 cm ³	0. 6 cm ³
5.0	1.000	1.007	1.010	1.016	1.013	1.017	1.010	1.016	1.016	1.013	0.999	1.000	1.016
8.0	1.000	1.003	1.004	1.006	1.005	1.006	1.004	1.006	1.006	1.005	1.000	1.000	1.006
10.0	1.000	1.002	1.002	1.004	1.003	1.004	1.002	1.004	1.004	1.003	1.000	1.000	1.004
12.0	1.000	1.001	1.002	1.003	1.002	1.003	1.002	1.003	1.003	1.002	1.000	1.000	1.003
15.0	1.000	1.001	1.001	1.002	1.001	1.002	1.001	1.002	1.002	1.001	1.000	1.000	1.002
18.0	1.000	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.000	1.000	1.001
20.0	1.000	1.000	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.000	1.000	1.001
25.0	1.000	1.000	1.000	1.001	1.001	1.001	1.000	1.001	1.001	1.001	1.000	1.000	1.001
30.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
35.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
40.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
45.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
50.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Here the measurement set-up is as described in Figure 7.6, thus for the sideward irradiation geometry, of the chamber at a specific distance *r* from an ideal point like source is considered. The k_V values at absolute distances *r* have been calculated and are listed here for simplicity instead of using the distance factors α as was originally proposed by Kondo and Randolph.⁵¹

- k_{wall} = Build-Up Cap ve İyon odası duvarı düzeltme faktörü,
 - Klinik kaynak kalibrasyon prosedürleri için, Tablo 7.6, odaların çoğunluğu için ^{192}Ir ve ^{60}Co gama-ışınları için yaklaşık $k_{wall} = 1.01$ (% 1) düzeltme faktörünün uygulandığını gösterilmektedir.
 - 250 kV x-ışınları için, Tablo 7.6'da listelenen tüm iyon odaları için $k_{wall} = 1.00$ olarak kabul edilebilir.

TABLE 7.6

Geometrical and Material Parameters of the Most Common Compact Ionization Chambers with Cavity Volumes above 0.1 cm^3 and of Their Corresponding Build-Up Caps

Parameter	Ionization Chamber											
	Capintec PR-05 (Mini)	Capintec PR-05P (AAPM)	Capintec PR-06C (Farmer)	Capintec PR-06C (Farmer)	Capintec PR-06C (Farmer)	Exradin A2 (2 mm Cap)	Exradin A2 (4 mm Cap)	Exradin P2 (4 mm Cap)	Exradin T2 (4 mm Cap)	Exradin A12 (Farmer)	FZK TK 01 (Water- Proof)	NE 2515 (Farmer)
Air cavity volume (cm^3)	0.14	0.6	0.65	0.65	0.65	0.5	0.5	0.5	0.5	0.65	0.4	0.2
Air cavity length (cm)	1.15	2.38	2.23	2.23	2.23	1.14	1.14	1.14	1.14	2.42	1.2	0.7
Air cavity radius (cm)	0.2	0.33	0.32	0.32	0.32	0.48	0.48	0.48	0.48	0.31	0.35	0.3
Wall material	C552	Graphite	C552	C552	C552	C552	C552	Polysty- rene	A150	C552	Delrin	Tufnol
Wall thickness t_{wall} (g cm^{-2})	0.220	0.046	0.050	0.050	0.050	0.176	0.176	0.105	0.113	0.088	0.071	0.074
Build-up cap material	Polysty- rene	PMMA	C552	Polysty- rene	PMMA	C552	C552	Polysty- rene	A150	C552	Delrin	PMMA
Build-up cap thickness t_{cap} (g cm^{-2})	0.598	0.625	0.924	0.537	0.547	0.352	0.712	0.420	0.455	0.493	0.430	0.543
$A_{\text{w},250\text{kV}}$	0.988	0.995	0.998	0.997	0.992	0.986	0.989	0.986	0.983	0.999	0.988	0.993
$A_{\text{w},\text{Ir-192}}$	0.983	0.986	0.980	0.986	0.984	0.978	0.973	0.982	0.979	0.988	0.982	0.980
$A_{\text{w},\text{Co-60}}$	0.989	0.986	0.984	0.990	0.989	0.984	0.976	0.988	0.985	0.991	0.989	0.987

(continued)

TABLE 7.6—Continued

Parameter	Ionization Chamber											PTW 31002 (Water- Proof)	PTW 31003 (Water- Proof)	PTW 23332 (Rigid)
	NE 2515/3 (Farmer)	NE 2577 (Farmer)	NE 2561	NE 2505 (Farmer)	NE 2505/A (Farmer)	NE 2505/3A (Farmer)	NE 2505/3B (Farmer)	NE 2571 (Farmer)	NE 2571 (Farmer)	NE 2581 (Farmer)	NE 2581 (Farmer)			
Air cavity volume (cm ³)	0.2	0.2	0.325	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	00.125	0.3	0.3
Air cavity length (cm)	0.7	0.83	0.92	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	0.65	1.63	1.8
Air cavity radius (cm)	0.32	0.32	0.37	0.3	0.3	0.32	0.32	0.315	0.315	0.32	0.32	0.275	0.275	0.25
Wall material	Graphite	Graphite	Graphite	Tufnol	Nylon 66	Graphite	Nylon 66	Graphite	Graphite	A150	A150	PMMA	PMMA	PMMA
Wall thick- -ness t_{wall} (g cm ⁻²)	0.066	0.066	0.09	0.075	0.063	0.065	0.041	0.065	0.065	0.040	0.041	0.079	0.079	0.054
Build-up cap material	PMMA	Delrin	Delrin	PMMA	PMMA	PMMA	PMMA	Delrin	PMMA	PMMA	Polystyrene	PMMA	PMMA	PMMA
Build-up cap thickness t_{cap} (g cm ⁻²)	0.543	0.552	0.600	0.545	0.545	0.551	0.551	0.551	0.550	0.584	0.584	0.357	0.357	0.357
$A_{w,250\text{kV}}$	0.994	0.988	0.987	0.997	0.996	0.998	0.995	0.999	0.996	0.986	0.991	0.990	1.000	1.000
$A_{w,\text{Ir-192}}$	0.982	0.981	0.984	0.989	0.984	0.989	0.990	0.989	0.983	0.988	0.990	0.992	0.993	0.993
$A_{w,\text{Co-60}}$	0.986	0.986	0.984	0.990	0.989	0.989	0.989	0.988	0.981	0.987	0.991	0.992	0.993	0.994

(continued)

TABLE 7.6—Continued

Parameter	Ionization Chamber												
	PTW 30010 ^a (Farmer)	PTW 30011 ^b (Farmer)	PTW 30012 ^c (Farmer)	PTW 23331 (Rigid)	Victoreen Radocon III 550	Victoreen 30–348	Victoreen 30–361	Victoreen 30–351	Victoreen 30–349	Wellhöfer IC–15	Wellhöfer IC 28	Wellhöfer IC 69 (Farmer)	Wellhöfer IIC 70 (Farmer)
Air cavity volume (cm ³)	0.6	0.6	0.6	1.0	0.3	0.3	0.4	0.6	1.0	0.13	0.3	0.6	0.6
Air cavity length (cm)	2.3	2.3	2.3	2.2	2.3	1.8	2.23	2.3	2.2	0.58	0.9	2.3	2.3
Air cavity radius (cm)	0.305	0.305	0.305	0.395	0.24	0.25	0.24	0.31	0.4	0.3	0.31	0.31	0.31
Wall material	PMMA	Graphite	Graphite	PMMA	Polysty- rene	PMMA	PMMA	PMMA	PMMA	C552	C552	Delrin	Graphite
Wall thickness t_{wall} (g cm ^{−2})	0.054	0.079	0.079	0.060	0.117	0.06	0.144	0.06	0.06	0.068	0.070	0.070	0.068
Build-up cap material	PMMA	PMMA	PMMA	PMMA	PMMA	PMMA	PMMA	PMMA	PMMA	PMMA	POM	POM	POM
Build-up cap thickness t_{cap} (g cm ^{−2})	0.541	0.541	0.541	0.345	0.481	0.360	0.360	0.360	0.360	0.354	0.560	0.560	0.560
$A_{\text{w},250\text{kV}}$	0.998	0.993	0.997	0.997	0.997	0.994	1.000	0.995	0.996	0.993	0.993	1.000	1.000
$A_{\text{w},\text{Ir-192}}$	0.990	0.989	0.990	0.992	0.991	0.993	0.992	0.993	0.992	0.990	0.988	0.990	0.990
$A_{\text{w},\text{Co-60}}$	0.991	0.989	0.990	0.993	0.991	0.994	0.992	0.994	0.992	0.990	0.988	0.990	0.990

The Monte Carlo calculated wall correction factors $A_{w,250\text{ kV}}$, $A_{w,\text{Ir-192}}$, and $A_{w,\text{Co-60}}$ for 250 kV x-rays as well as for the ¹⁹²Ir and ⁶⁰Co γ-rays according to Ferreira et al.⁵⁰ are also listed.

^a Originally type 30001, PMMA made wall and aluminum made central electrode.

^b Originally type 30002, graphite made wall and graphite made central electrode.

^c Originally type 30004, graphite made wall and aluminum made central electrode.

- $k_{as,a}$ = hava saçılma ve azaltma katsayısı,

TABLE 7.8

Correction Factor $k_{as,a}$ for Attenuation in Air for Primary Photons for Brachytherapy Radionuclides for Different Measurement Distances

Distance (cm)	$k_{as,a}$						
	^{137}Cs	^{60}Co	^{198}Au	^{125}I	^{192}Ir	^{103}Pd	^{169}Yb
5	1.000	1.000	1.000	1.001	1.000	1.003	1.000
10	1.000	1.000	1.000	1.002	1.000	1.006	1.000
20	1.001	1.001	1.001	1.004	1.001	1.012	1.001
30	1.001	1.001	1.001	1.007	1.001	1.018	1.001
40	1.001	1.001	1.001	1.009	1.001	1.024	1.001
50	1.002	1.002	1.002	1.011	1.002	1.030	1.002
60	1.002	1.002	1.002	1.013	1.002	1.036	1.002
70	1.003	1.002	1.002	1.016	1.002	1.042	1.003
80	1.003	1.003	1.003	1.018	1.003	1.049	1.003
90	1.003	1.003	1.003	1.020	1.003	1.055	1.003
100	1.004	1.003	1.004	1.023	1.004	1.061	1.004

Values calculated using the effective mass energy absorption coefficient values, $(\mu_{en}/\rho)_{\alpha,eff}$, given in Table 5.4 through Table 5.16, and dry air material constants given in Table 7.5 for an ideal point source and broad-beam conditions.

- k_{scatt} = oda saçılma katsayısı,
 - 5 cm ile 30 cm mesafede ^{192}Ir , ^{60}Co ve ^{137}Cs için bu değer ihmal edilebilir.
 - $k_{\text{scatt}}=1$
- k_{appl} = Aplikatör/ Katater duvarı azaltma katsayısı
 - $k_{\text{appl}} = M_{\text{plastik}} / M_{\text{metalik}}$
 - Ölçülen dozun hesaba katılması gerektiğinde
- $k_r = \left(\frac{r}{r_0} \right)^2$ $r_0 = 1 \text{ m (Ref.)}$, r : Ölçüm mesafesi

ÖLÇÜM BİLGİLERİ

TARİH :	
Elektrometre :	İyon Odası:
Fantom	
Basınç :	Sıcaklık:
Ctp :	
Nk (Co-60)	
Nk (Ir-192)	1.007
k _n (Gradient Faktörü)	1.009
k _{scat} (Oda Saçılma Faktörü)	1
k _{air} (hava azaltma düzeltmesi)	1.001
Ölçüm mesafesi	10 cm
Ölçüm Zamanı (t) s	60 s
OKUMA (nC)	
RHK (Referans Hava Kerma)	
(Γ _γ) _x (Ir-192)	0.4658 R m ² /hCi ⁻¹
(Γ _γ) _x (Co-60)	1.307 R m ² /hCi ⁻¹
Ölçülen Aktivite (Ci)	
Ölçülen / Sertifika	

Havada Ölçüm Yöntemi

TMMOB KUB Formu

(Referans: IAEA TECDOC 1079)

$$\text{Hava Kerma (HK)} = \text{Mu}^\circ * \text{Nk (Ir-192)} * k_{\text{air}} * k_{\text{scat}} * k_n * \text{Ctp}$$

$$\text{Ctp} = \{ 273.2 + T / 273.2 + 20 \} * \{ 1013 / P \} \quad \text{Mu}^\circ = \text{Okuma}$$

$$T = \text{Sıcaklık (C}^\circ\text{)} \quad P = \text{Basınç (mBar)}$$

$$\text{Referans Hava Kerma (RHK)} = \frac{\text{HK} \times 60}{100}$$

$$\text{Aktivite} = \frac{\text{RHK}}{(\Gamma_\gamma)_x \times 8.764}$$

Havada Ölçüm Yöntemi (TMMOB)

- Genellikle kullanılan mikro kaynak ^{192}Ir olduğundan
- **Hava Kerma (HK)** = $M_u \times N_k(^{192}\text{Ir}) \times k_{\text{air}} \times k_{\text{scatt}} \times k_n \times C_{\text{to}}$

$$\dot{K}_R = N_K M k_u k_\tau k_\rho k_T k_p k_{\text{ion}} k_V k_{\text{wall}} k_{\text{as,a}} k_{\text{scatt}} k_{\text{appl}} k_r$$
- Referans Hava Kerma (RHK) = $\frac{HK \times 60}{100}$
- Aktivite = $\frac{RHK}{(\Gamma_\gamma)_x \times \left(\frac{W}{e}\right)_{\text{hava}}}$

$$(HK) = M_u \times N_k(^{192}\text{Ir}) \times k_{\text{air}} \times k_{\text{scatt}} \times k_n \times C_{\text{tp}}$$

- 10 cm ölçüm mesafesi için, 0.6 cc farmer tipi iyon odası için
- $M_u = 60$ saniye elektrometre okuma değeri (mGy/C)
- $N_k(^{192}\text{Ir}) = 1.007 \times N_k(^{60}\text{Co})$, $N_k(^{60}\text{Co}) = N_k(^{60}\text{Co})$

$$(HK) = M_u \times N_k(^{192}\text{Ir}) \times k_{\text{air}} \times k_{\text{scatt}} \times k_n \times C_{\text{tp}}$$

- k_{air} (Hava azaltma düzeltmesi) = 1.001

TABLE XI. CORRECTION FACTORS FOR AIR ATTENUATION OF THE PRIMARY PHOTONS FROM ^{192}Ir , ^{137}Cs AND ^{60}Co BRACHYTHERAPY SOURCES

Distance (cm)	^{192}Ir	^{137}Cs	^{60}Co
10	1.001	1.000	1.000
20	1.002	1.000	1.000
30	1.004	1.001	1.000
40	1.005	1.001	1.000
50	1.006	1.001	1.000
60	1.007	1.001	1.000
70	1.009	1.002	1.000
80	1.010	1.002	1.000
90	1.011	1.002	1.000
100	1.012	1.002	1.000

- k_{scatt} (Oda saçılma faktörü) = 1
 - Oda saçılma düzeltmeleri genellikle ölçülmüş hava kerma hızının ters kare kanunundan sapmasından çıkarılır. (10 cm ölçüm mesafesi için, 0.6 cc farmer tipi iyon odası için)

$$(HK) = M_u \times N_k(^{192}\text{Ir}) \times k_{\text{air}} \times k_{\text{scatt}} \times k_n \times C_{\text{tp}}$$

- k_n (Gradient faktörü) = 1.009
- k_V = İyon odası sınırlı boyut düzeltme katsayısı,

TABLE IX. NON-UNIFORMITY CORRECTION FACTORS FOR FARMER-TYPE IONIZATION CHAMBERS (INTERNAL RADIUS 3.15 mm, LENGTH 24.1 mm)

Distance (cm)	k_n
10.0	1.009
15.0	1.005
20.0	1.004
25.0	1.003
30.0	1.002
40.0	1.002
50.0	1.001

$$(HK) = M_u \times N_k(^{192}\text{Ir}) \times k_{\text{air}} \times k_{\text{scatt}} \times k_n \times C_{\text{tp}}$$

- C_{tp} (Sıcaklık, basınç düzeltmesi) = $\frac{273.2 + T}{273.2 + 20} \times \frac{1013.25}{P}$
- T = Ortam sıcaklığı (°C)
- P = Ortam basıncı (milibar)

Hava Kerma (HK) = 60 saniyede 10 cm'de

$$\text{Referans Hava Kerma (RHK)} = \frac{HK \times 60}{100} = \text{Gy}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$$

- Aktivite = $\frac{RHK}{(\Gamma_\gamma)_x \times \left(\frac{W}{e}\right)_{hava}}$

- $(\Gamma_\gamma)_x(^{192}\text{Ir})=0,4658 \text{ Rm}^2/\text{hCi}^{-1}$ $(\Gamma_\gamma)_x(^{60}\text{Co})=1,307 \text{ Rm}^2/\text{hCi}^{-1}$

- $\left(\frac{W}{e}\right)_{hava}= 33.97 \text{ J/C}$ $1\text{R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$

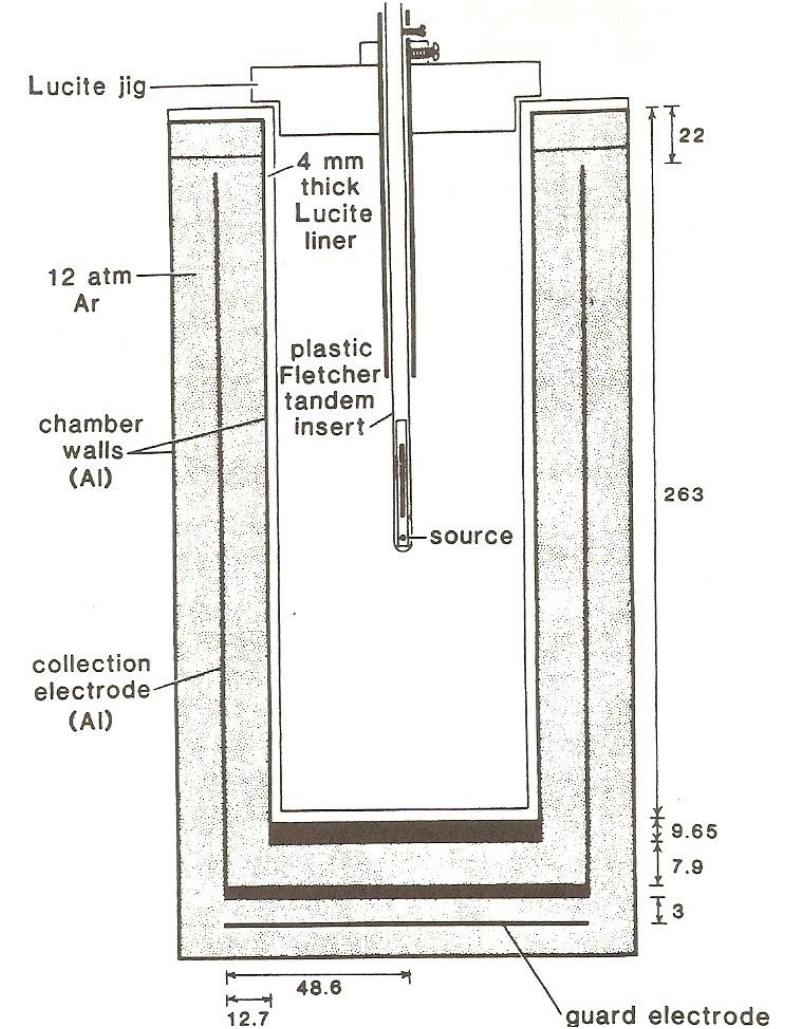
- $\left(\frac{W}{e}\right)_{hava} \times \frac{R}{R} = 33.97 \text{ J/C} \times \frac{2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}}{R} = 8.764 \text{ mGy/R}$ (Gy=J/kg)

$(\Gamma_\gamma)_x$ = Işınlama hızı sabiti

$\left(\frac{W}{e}\right)_{hava}$ = Havada tek bir iyon çiftini üretmek için ihtiyaç duyulan ortalama enerji

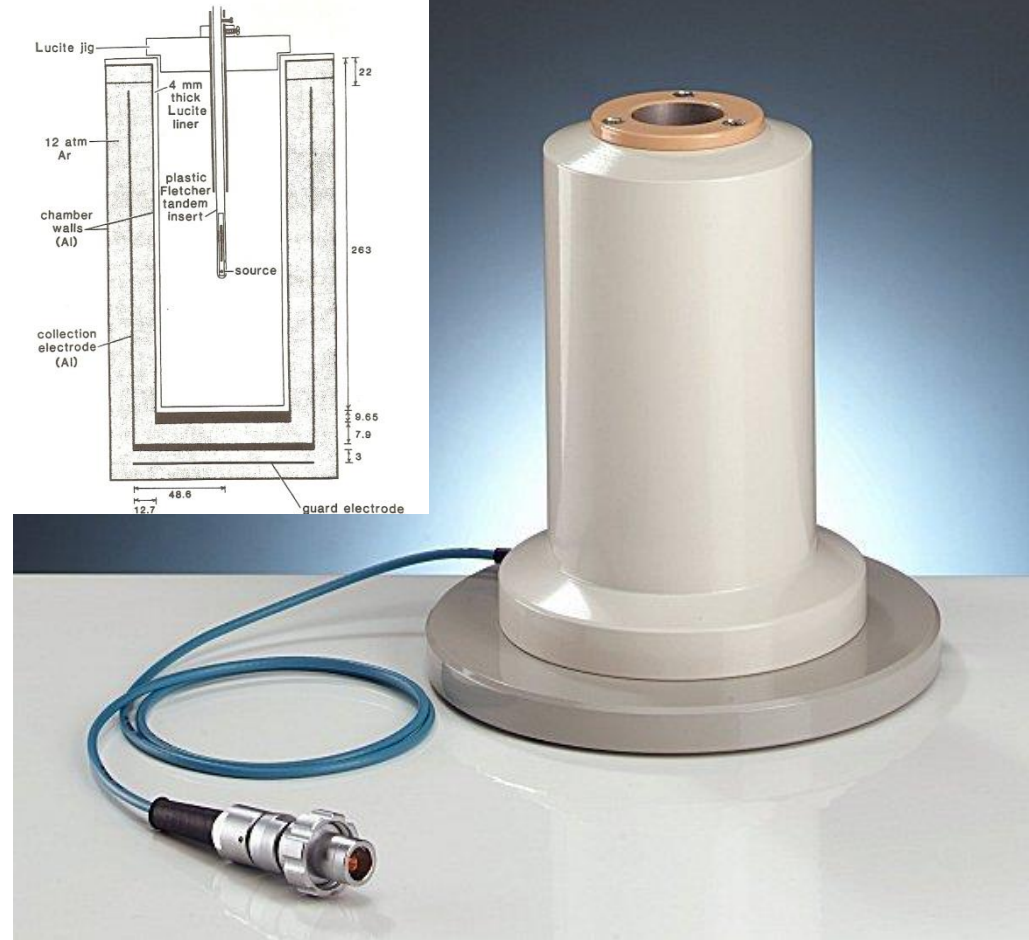
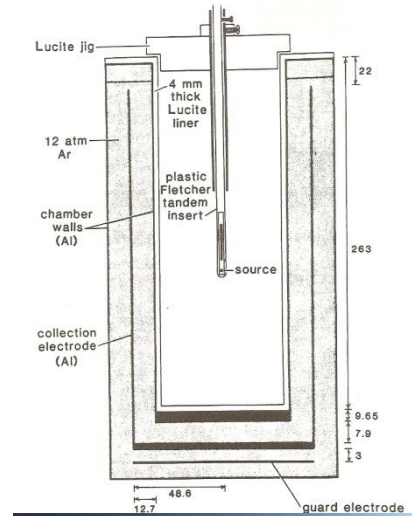
Well Type (Kuyu Tipi) İyon Odası Ölçüm Yöntemi

- İyi geometri durumlarının sağlanma güçlüğü nedeniyle, açık alan metodu zaman alıcı bir yöntemdir.
- Havada ölçümler yoğun çalışma içindeki bölümlerde, rutin bir kalibrasyon için uygun değildir.
- Bu tür yerlerde, kuyu tipi iyon odaları, rutin ölçümler için daha uygundur.
- Kuyu tipi iyon odası genellikle kaynak iyon odası duvarlarınca çevrelenmiş olan yaklaşık 4π ölçüm geometrisinde tipe sahip iyon odaları kullanılarak gerçekleştirilir.
- Şekil 'de Capintec CRC-10 modeli bir kuyu tipi iyon odasının şeması görülmektedir.



Kuyu Tipi İyon Odası Ölçüm Yöntemi

- Ayrıt yüksek basınçlı argon ile doldurulmuş, alüminyum duvarlı iyon odasından oluşmuştur.
- Çevreleyen duvar ile geometriyi sağlamak için bir kaynak tutucu geliştirilmiştir.
- Bu tür aktivite ölçümleri, NIST tarafından ölçülmüş standardize edilmiş aktivitelerin, çeşitli izotopların relatif iyon odası cevapları ile kıyaslanması temeline dayanır.
- Ayrıca well chamber'ın cevabı kaynağın well içindeki pozisyonuna ve kaynak gücüne bağlıdır.
- Cihaza ve kalibre edilecek kaynağa göre düzeltme faktörleri belirlenmelidir.



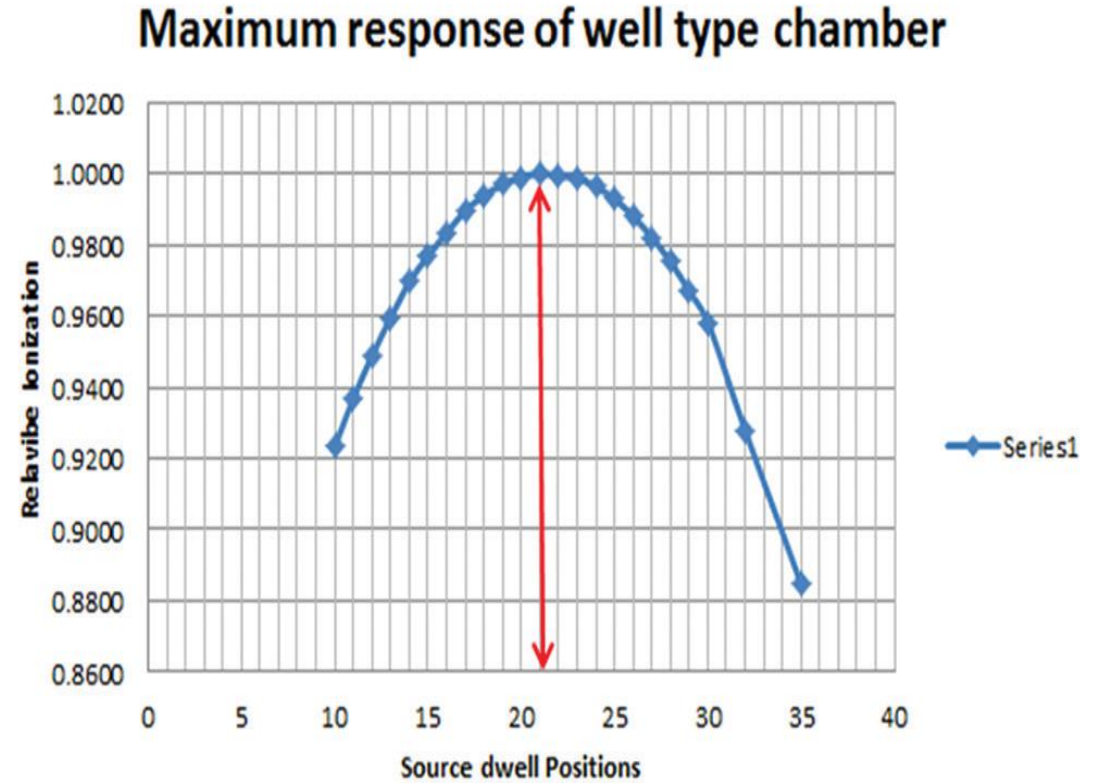
Kuyu Tipi İyon Odası Ölçüm Yöntemi

- İyon odası, termal denge ve elektronik stabilizasyon için gece boyunca brakiterapi odasında muhafaza edilir.
- Ertesi gün polarize voltajı ayarlanır ve 45 dakika ısınma için beklenir.
- Yeni HDR kaynağı yüklendikten sonra, kuyu tipi iyon odası 1 m çap içinde herhangi bir duvar olmayacak şekilde tedavi masasına yerleştirilir böylelikle oda saçılması engellenir.
- HDR-kateter- iyon odası bağlantısı yapılır.



Kuyu Tipi İyon Odası Ölçüm Yöntemi

- Hassasiyet odanın boyu boyunca değişir.
- 2.5 mm adımlar ile oda boyunca ölçüm yapılarak hassasiyet eğrisi oluşturulur.
- Kaynak iyon odasında maksimum doz okuması sağladığı noktaya getirilir.
- (süre 60 saniye, nanoamper (nA) okuma) (5 tekrar ortalaması)



Kuyu Tipi İyon Odası Ölçüm Yöntemi

$$\dot{K}_R = N_{K_R} M_{\max} k_{\rho} k_T k_p k_{\text{ion}} k_{\text{appl}} \quad \mu\text{Gy h}^{-1} \text{ at 1 m}$$

$$S_K = N_{S_K} M_{\max} k_{\rho} k_T k_p k_{\text{ion}} k_{\text{appl}} \quad \mu\text{Gy m}^2 \text{ h}^{-1} :$$

- N_{KR} = İyon odasının hava kerma kalibrasyon faktörü
 $\text{Gy m}^2 \text{h}^{-1} \text{A}^{-1}$, or $\mu\text{Gy m}^2 \text{h}^{-1} \text{A}^{-1}$

$$N_{K_R} = \frac{K_R}{(M_u k_{Tp} k_{recom} N_{elec})}$$
- N_{SK} = İyon odasının hava kerma gücü kalibrasyon faktörü
 $\mu\text{Gy m}^2 \text{h}^{-1} \text{A}^{-1} = 1 \text{ cGy cm}^2 \text{h}^{-1} \text{A}^{-1}$
- M_{max} = Ortalama max. okuma değeri (60 saniye, nA) 1C=60.A
 Okuma birimi eğer Coulomb ise $M_{max} = Q_{max}/(60\tau)$.
- $k_p k_T$ = K_{tp} (Sıcaklık, basınç düzeltmesi) = $\frac{273.2 + T (^{\circ}\text{C})}{273.2 + 20 (^{\circ}\text{C})} \times \frac{1013.25 (\text{hPa})}{P (\text{hPa})}$

- $K_P = \frac{|M_+| + |M_-|}{2M}$ Polarizasyon etkisi için düzeltme faktörü

$M_+ = +V$ bias voltaj okuması

$M_- = -V$ bias voltaj okuması

- $K_{ion} = \left[\frac{4}{3} - \frac{I_V}{3 \times I_{V/2}} \right]^{-1}$ İyon rekombinasyon düzeltme faktörü

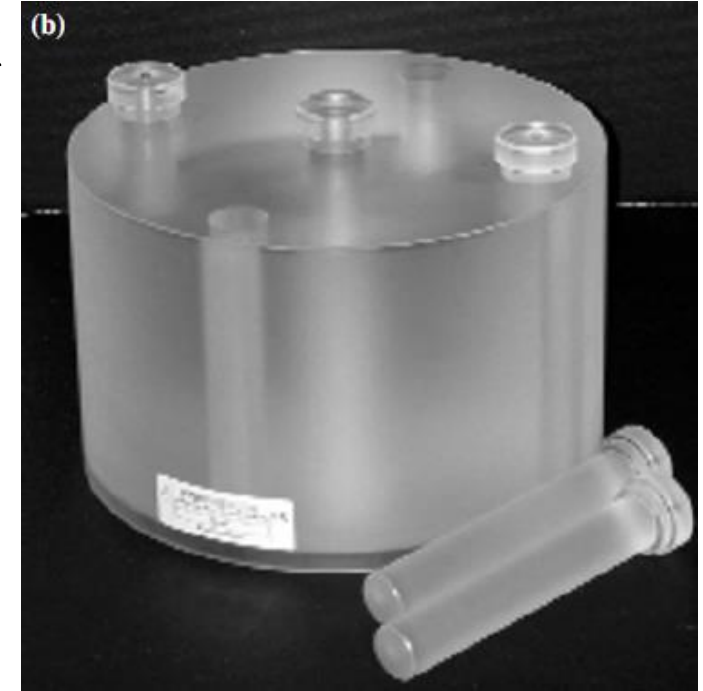
- k_{appl} = Aplikatör/ Katater duvarı azaltma katsayısı

- $k_{appl} = M_{plastik} / M_{metalik}$

- Ölçülen dozun hesaba katılması gerektiğinde

Fantomda Ölçüm Yöntemi

- Fantomdaki ölçülerde en uygun kaynak iyon odası mesafesi 5-10 cm'dir.
- Fantomun iyon odası ve kaynak çevresini tam olarak sarabilmesi için uygun ebatlarda olmalıdır.
- Silindirik fantomun merkezine kateter bağlantı yapılarak. 1, 2, 3 ve 4 nolu deliklere (0° , 90° , 180° ve 270° geometrilerde iyon odası yerleştirilerek 60 sn'lik süre için tüm geometrilerde okumalar alınır.
- Tüm okuma değerlerinin ortalaması aşağıdaki formülde yerine konularak aktivite değeri hesaplanır.



Fantomda Ölçüm Yöntemi

$$\dot{K}_R = N_K M k_u k_\tau k_\rho k_T k_p k_{\text{ion}} k_V k_{\text{wall}} k_{\text{appl}} k_r k_{\alpha p} k_{\text{ph}} \quad \mu\text{Gy h}^{-1} \text{ at 1 m}$$

$$S_K = N_K M k_u k_\tau k_\rho k_T k_p k_{\text{ion}} k_V k_{\text{wall}} k_{\text{appl}} k'_r k_{\alpha p} k_{\text{ph}} \quad \text{cGy cm}^2 \text{ h}^{-1}$$

- N_K = Hava Kerma kalibrasyon faktörü (Gy/C)
- **M** = Dozimetre okuma değeri 1 dakika (0° , 90° , 180° ve 270° geometrilerde silindirik fantomla alınan elektrometre okuma değerlerinin ortalaması)
- k_u = Birim dönüştürme katsayısı, $\mu\text{Gy} = k_u \times \text{Gy}$, $k_u = 1 \times 10^{-6}$
- $k_t = 60 / t$, $t = 1$ dakika
- $k_p k_T = K_{tp}$ (Sıcaklık, basınç düzeltmesi) = $\frac{273.2 + T (^{\circ}\text{C})}{273.2 + 20 (^{\circ}\text{C})} \times \frac{1013.25 (\text{hPa})}{P (\text{hPa})}$
- $K_p = \frac{|M_+| + |M_-|}{2M}$ Polarizasyon etkisi için düzeltme faktörü
 $M_+ = +V$ bias voltaj okuması
 $M_- = -V$ bias voltaj okuması
- $K_{ion} = \left[\frac{4}{3} - \frac{I_V}{3 \times I_{V/2}} \right]^{-1}$ iyon rekombinasyon düzeltme faktörü

- k_V = İyon odası sınırlı boyut düzeltme katsayısı, havadaki ölçüm tabloları
- k_{wall} = İyon odası duvarı düzeltme faktörü, havadaki ölçüm tabloları
- k_{appl} = Aplikatör/ Katater duvarı azaltma katsayısı, ince plastik aplikatör 1 kabul edilebilir.
 - $k_{appl} = M_{plastik} / M_{metalik}$
 - Ölçülen dozun hesaba katılması gerektiğinde
- $k_r = \left(\frac{r}{r_0} \right)^2$ $r_0 = 1 \text{ m (Ref.)}$, r: fantom ölçüm mesafesi
- k_{ap} = Pertürbasyon faktörü, bu iyon odası tipine bağlıdır
 ^{192}Ir ve PMMA malzemesi için $k_{ap} = 1$

k_{ph} = Fantomla ilgili absorpsiyon etkisi ve saçılmayı hesaba katan faktör

- Kaynağın enerjisine ve fantomun türüne göre değişir.
- Monte Carlo simülasyonları ile hesap edilebilir.

TABLE 7.16

Phantom Correction Factors k_{ph} for the Three PMMA Phantoms

Source/Radionuclide	Solid Phantom		
	Krieger Cylindrical Phantom	Baltas Plate Phantom	Meertens Cylindrical Phantom
^{192}Ir (miniaturized sources, HDR, PDR)	1.182 ^{29,31,68 a}	1.048 ³⁰	1.033 ³³
^{137}Cs (LDR spherical sources, 10 spheres)	—	—	1.041 ^{33,70}

^a Corrected to exclude the chamber finite size effect for the PTW 23332 type ionization chamber from the originally published value of 1.187.³¹

- Kaynak sertifika değerleri göz önüne alınarak
 - TPS'nde aktif aktivite değeri
 - Ölçüm yapılan tarih için hesaplanan aktivite değeri (el hesabı)

A = Hesap anındaki aktivite, A_0 = İlk aktivite,

SOURCE SPECIFICATIONS

Reference Air Kerma Rate: 48.61 mGy h⁻¹ +/- 5% at 1 m (2)

Measured at: 2015-01-08 15:26 CET(1)

Estimated Content Activity: 441.8 GBq (11.94 Ci) at date of measurement (3,4)

t=süre (gün)

- # Certificate For sealed Sources
- G2-00025V
- Serial Number of Afterloader:
- Customer Name and Address: EGE UNIVERSITESI REKTORLUĞU
- RADYOERAPI ANABİLİM DALI
35340 İZMİR
TURKEY
- Issue Date: 2015-01-12 ⁽¹⁾
- | | | |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| Model Designation: | REF | 105.002 |
| Serial Number: | SN | D38F4523 |
| Production Code: | LOT | 16748/02 (DIRN 07736) |
| Manufacturer Code: | NLF 01 ⁽⁷⁾ | |
- Serial Number of Transport Container: 183C6
- Serial Number of Check Cable: Not applicable
- ## SOURCE SPECIFICATIONS
- Reference Air Kerma Rate: 48.61 mGy h⁻¹ +/- 5% at 1 m ⁽²⁾
- Measured at: 2015-01-08 15:26 CET ⁽¹⁾
- Estimated Content Activity: 441.8 GBq (11.94 Ci) at date of measurement ⁽³⁾
- Source Type: Ir-192/CELESTION V2
- Capsule Dimensions: 0.9 mm diameter, 4.5 mm length
- Source Pellet Dimensions: 0.6 mm diameter, 3.5 mm length
- Source Pellet Form: solid iridium
- Radionuclide: Iridium-192, gamma radiation source
- Encapsulation: single
- Capsule Material: stainless steel, AISI 316L
- ISO 2919 Classification: ISO99/IC63211
- Special Form Certificate Number: D0070/S-96(REV 5)
- Recommended Working Life: 25 000 transits or 6 months whichever comes first
- ## QUALITY CONTROL
- Cable Visual Inspection: passed
- Source Visual Inspection: passed
- Laser Weld Visual Check: passed
- Source Capsule Integrity (15N pull test): passed
- Leakage Test: passed ⁽⁵⁾
- Surface Contamination Test: < 185 Bq (5mCi) ⁽⁶⁾
- Measured at: 2015-01-08 ⁽¹⁾
- Measured at: 2015-01-08 ⁽¹⁾
- The undersigned, authorized officer of Mallinckrodt Medical B.V., certifies that this source complies with the requirements of ISO2919 and that all of the information given in this certificate is true and correct at date of issue.
- ## AUTHORIZED QUALITY CONTROL
- (1) Date format yyyy-mm-dd.
- (2) At Confidence level of 95.7%, Air Kerma rate at 1 m from the centre of the source in a radial direction, i.e. perpendicular to the symmetrical axis of the source.
- (3) The estimated content activity is determined by applying a conversion factor ($0.116 \text{ mGy} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{GBq}^{-1}$) to the measured gamma radiation output of the sealed source determined with a calibrated instrument.
- The instrument is calibrated against the standard of the Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig, Germany.
- (4) The estimated content activity is the activity for the specified radionuclide; other radionuclides are not detectable.
- (5) Leakage test method according to ISO9719 method Liquid nitrogen bubble test (S.2.4).
- (6) Surface contamination test in accordance to ISO6978 method Wet Wipe Test (S.3.1).
- (7) European manufacturer's code in accordance with European council directive 2003/122/EURATOM
- Manufactured by Mallinckrodt Medical B.V. * Westerduinweg 3 * 1755 LE Petten * NL * Telephone +31 224 567890
On behalf of Nucletron B.V.* Waardewijder 1 * 3905TH * Venendaal * NL * +31 318 557 133



Teşekkürler

2019 Brakiterapi Fiziği Kursu, 4 Mayıs 2019, İZMİR