

XI. MEDİKAL FİZİK KONGRESİ

14-18 Kasım 2007

ANTALYA

Bahar DİRİCAN

Gülhane Askeri Tıp Akademisi

Radyasyon Onkolojisi AD.

Dozimetri Protokolleri

- **AAPM** (American Association of Physics in Medicine, Kuzey Amerika)
- **IPEMB** (Institution of Physics and Engineering in Medicine and Biology, İngiltere)
- **DIN** (Deutsches Institut für Normung, Almanya)
- **NCS** (Nederlandse Commissie Voor Stralingsdosimetrie, Hollanda ve Belçika)
- **NACP** (The Nordic Association of Clinical Physics, İskandinav Ülkeleri)
- **ICRU** (International Commission on Radiation Units and Measurements, Uluslararası)
- **IAEA** (International Atomic Energy Agency, Uluslararası)

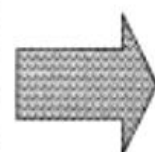
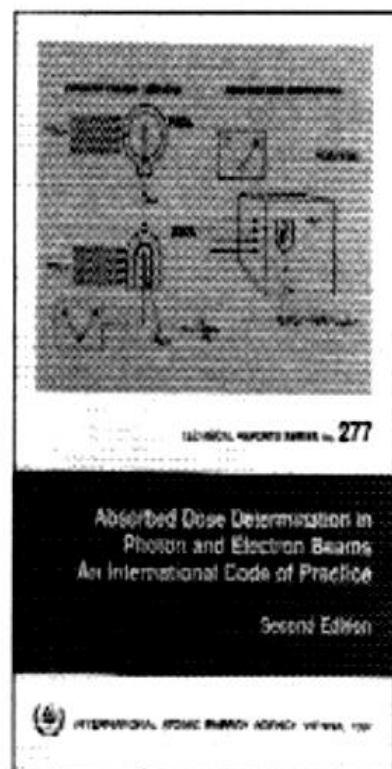


IAEA Dozimetri Protokolleri

TRS, Technical Reports Series.

- ❶ **TRS-277**, Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beams an International Code of Practice (1987,1997).
- ❷ **TRS-374**, Calibration of Dosimeters Used in Radiotherapy (1997).
- ❸ **TRS-381**, The Use of Plane Parallel Ionization Chambers in High Energy Electron and Photon Beams (1997).
- ❹ **TRS-398**, Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy (2000).





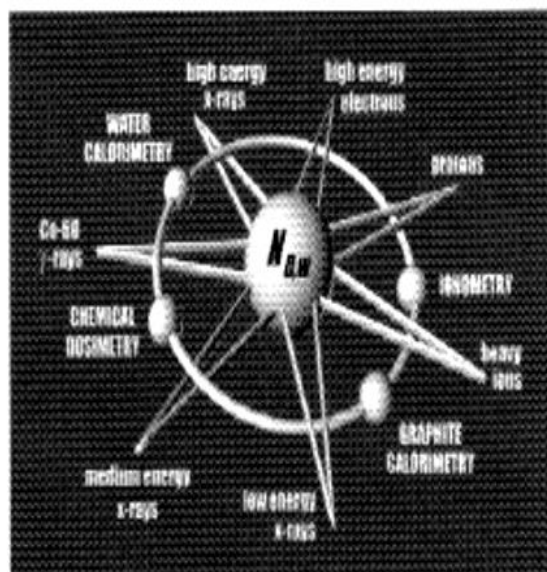
TRS-381 serves as a bridge between
the N_K - and $N_{D,w}$ -based formalisms



TRS-381'de Ana Noktalar

- ▶▶ TRS-277'deki formalizm ile uyumludur
- ▶▶ Kullanımı kolaydır
- ▶▶ Paralel düzlem iyon odaları ile elektronlarda mutlak ve rölatif dozimetri, fotonlar ile rölatif dozimetri için tavsiyeler içerir
- ▶▶ İyon odalarının kalibrasyonunda ^{60}Co ile suda soğurulan doz terimlerinde kalibrasyona eğilim vardır
- ▶▶ $N_{D,w}$ formalizmini içerir
- ▶▶ Elektron demetlerinde $N_{D,air}$ 'ı belirlemeye ^{60}Co yöntemlerine itibar edilmez.





TECHNICAL REPORTS SERIES No. 398

**Absorbed Dose Determination
in External Beam Radiotherapy**
An International Code of Practice
for Dosimetry based on
Standards of Absorbed Dose to Water

PUBLISHED ON BEHALF OF IAEA, WHO, PAHO and ESTRO



INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, 2000

TRS-398: published in 2000 on behalf IAEA, WHO, PAHO and ESTRO

International Atomic Energy Agency



Soğurulan Doz Ölçüm Sistemi

- ❖ Elektrometre ve İyon Odaları
- ❖ Fantomlar (su, katı su, polystyrene, acrylics)
- ❖ Referans ortam, su



Soğurulan Doz Ölçüm Sistemi



**Farmer Marka 2570/1B
Model Elektrometre**



**Wellhöfer Marka Dose 1
Model Elektrometre**

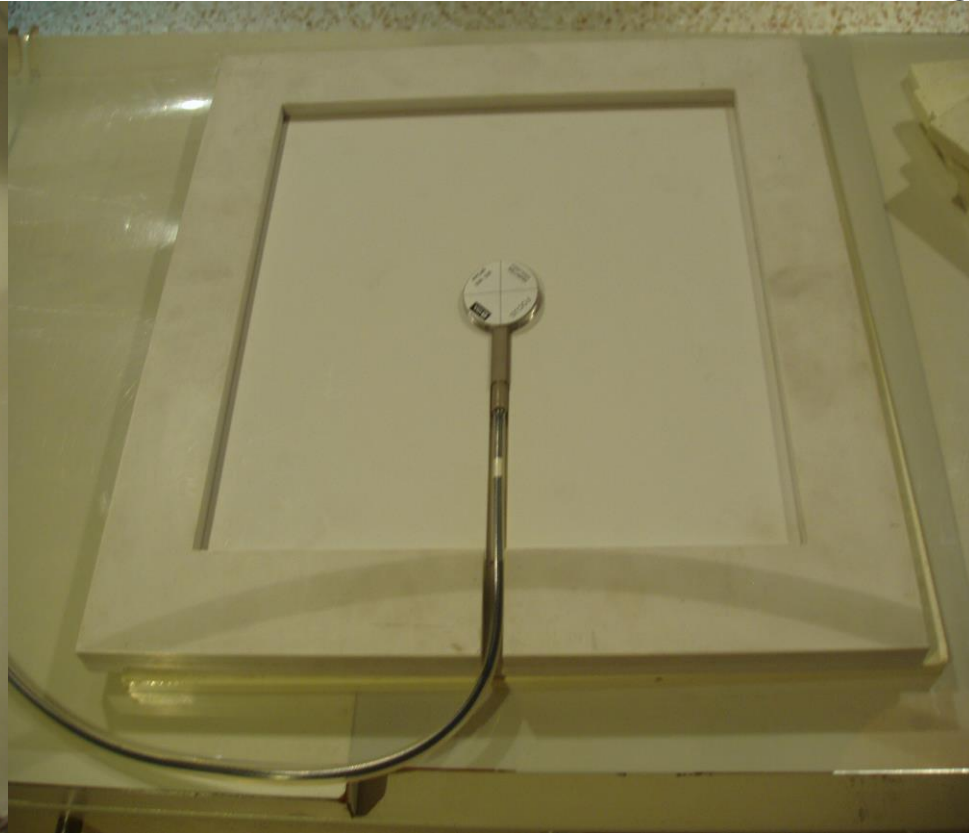
International Atomic Energy Agency



Soğurulan Doz Ölçüm Sistemi



Silindirik iyon odası
Farmer Tipi 0.6 cc NE



Paralel Düzlem İyon odası
Wellhöfer PPC 40

International Atomic Energy Agency



Soğurulan Doz Ölçüm Sistemi



**Silindirik iyon odası (Buildup cap'li)
cap'siz) Farmer Tipi 0.6 cc NE**



**Silindirik iyon odası (Buildup
Farmer Tipi 0.6 cc NE**

Soğurulan Doz Ölçüm Sistemi



Su Fantomu



Katı su Fantomu

İyon Odalarının Tasarımları

- ❖ Silindirik geometri tasarımlı iyon odaları ile yapılan ölçümlerde yöne bağımlılık yoktur.
- ❖ Paralel düzlem tasarımlı iyon odaları ile gelen ışınlar bir pencereden geçtikten sonra hassas hacme ulaşırlar, bu nedenle pencere ölçülecek radyasyon tarafına yönlendirilmelidir.

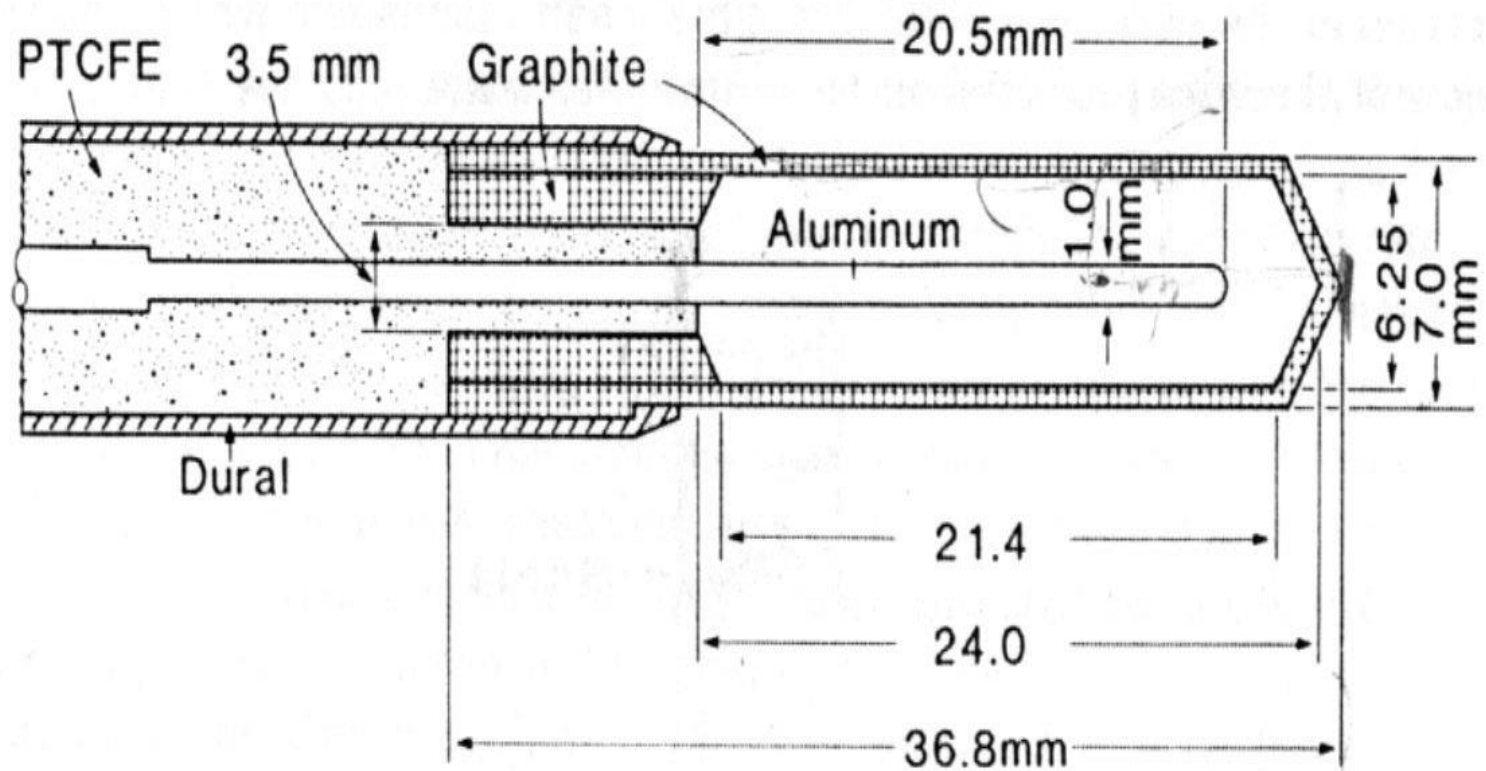


İyon Odaları

Silindirik iyon odaları :

- ❖ Hacimleri 0.1 cm^3 - 1 cm^3 aralığındadır. İç çapları 7 mm'den küçük, iç uzunlukları 25 mm'den kısadır.
- ❖ İyon odasının yapısı olabildiğince homojen olmalıdır.
- ❖ İyon odasının duvar materyali ve buildup cap materyalinin aynı olması gerekmez. Ancak her ikisinin bileşimi de bilinmelidir.
- ❖ Dış basınç koşulları ile çabuk dengeye gelecek şekilde dizayn edilmiştir.
- ❖ Silindirik iyon odalarının karakteristikleri Tablo-3'de verilmiştir.





Farmer Graphite/aluminum iyon odası 0.6 cc



TABLE 3. CHARACTERISTICS OF CYLINDRICAL IONIZATION CHAMBER TYPES (*as stated by manufacturers*)

Ionization chamber type ^a	Cavity volume (cm ³)	Cavity length (mm)	Cavity radius (mm)	Wall material	Wall thickness (g/cm ²)	Buildup cap material ^{b,c}	Buildup cap thickness ^{b,c} (g/cm ²)	Central electrode material ^c	Waterproof
Capintec PR-05P mini	0.07	5.5	2.0	C-552	0.220	Polystyrene	0.568	C-552	N
Capintec PR-05 mini	0.14	11.5	2.0	C-552	0.220	Polystyrene	0.568	C-552	N
Capintec PR-06C/G Farmer	0.65	22.0	3.2	C-552	0.050	C-552	0.924	C-552	N
Capintec PR-06C/G Farmer	0.65	22.0	3.2	C-552	0.050	Polystyrene	0.537	C-552	N
Capintec PR-06C/G Farmer	0.65	22.0	3.2	C-552	0.050	PMMA ^d	0.547	C-552	N
Exradin A2 Spokas (2 mm cap)	0.53	11.4	4.8	C-552	0.176	C-552	0.352	C-552	Y
Exradin T2 Spokas (4 mm cap)	0.53	11.4	4.8	A-150	0.113	A-150	0.451	A-150	Y
Exradin A1 mini Shonka (2 mm cap)	0.05	5.7	2.0	C-552	0.176	C-552	0.352	C-552	Y
Exradin T1 mini Shonka (4 mm cap)	0.05	5.7	2.0	A-150	0.113	A-150	0.451	A-150	Y
Exradin A12 Farmer	0.65	24.2	3.1	C-552	0.088	C-552	0.493	C-552	Y
Far West Tech IC-18	0.1	9.5	2.3	A-150	0.183	A-150	0.386	A-150	N
FZH TK 01	0.4	12.0	3.5	Delrin	0.071	Delrin	0.430		Y
Nuclear Assoc. 30-750	0.03	3.6	2.0	C-552	0.068			C-552	Y
Nuclear Assoc. 30-749	0.08	4.0	3.0	C-552	0.068			C-552	Y

TABLE 3. (cont.)

Nuclear Assoc. 30-744	0.13	5.8	3.0	C-552	0.068			C-552	Y
Nuclear Assoc. 30-716	0.25	10.0	3.0	C-552	0.068			C-552	Y
Nuclear Assoc. 30-753	0.25	9.0	3.1	C-552	0.068	Delrin	0.560	C-552	Y
Farmer shortened									
Nuclear Assoc. 30-751 Farmer	0.69	23.0	3.1	Delrin	0.056	Delrin	0.560	Aluminium	Y
Nuclear Assoc. 30-752 Farmer	0.69	23.0	3.1	Graphite	0.072	Delrin	0.560	Aluminium	Y
NE 2515	0.2	7.0	3.0	Tufnol	0.074	PMMA	0.543	Aluminium	N
NE 2515/3	0.2	7.0	3.2	Graphite	0.066	PMMA	0.543	Aluminium	N
NE 2577	0.2	8.3	3.2	Graphite	0.066	Delrin	0.552	Aluminium	N
NE 2505 Farmer	0.6	24.0	3.0	Tufnol	0.075	PMMA	0.545	Aluminium	N
NE 2505/A Farmer	0.6	24.0	3.0	Nylon 66	0.063	PMMA	0.545	Aluminium	N
NE 2505/3, 3A Farmer	0.6	24.0	3.2	Graphite	0.065	PMMA	0.551	Aluminium	N
NE 2505/3, 3B Farmer	0.6	24.0	3.2	Nylon 66	0.041	PMMA	0.551	Aluminium	N
NE 2571 Farmer	0.6	24.0	3.2	Graphite	0.065	Delrin	0.551	Aluminium	N
NE 2581 Farmer (PMMA cap)	0.6	24.0	3.2	A-150	0.041	PMMA	0.584	A-150	N
NE 2581 Farmer	0.6	24.0	3.2	A-150	0.041	polystyrene	0.584	A-150	N
(polystyrene cap)									
NE 2561/ 2611 Sec. Std	0.33	9.2	3.7	Graphite	0.090	Delrin	0.600	Aluminium (hollow)	N
PTW 23323 micro	0.1	12.0	1.6	PMMA ^c	0.197	PMMA	0.357	Aluminium	Y
PTW 23331 rigid	1.0	22.0	4.0	PMMA ^c	0.060	PMMA	0.345	Aluminium	N
PTW 23332 rigid	0.3	18.0	2.5	PMMA ^c	0.054	PMMA	0.357	Aluminium	N
PTW 23333 (3 mm cap)	0.6	21.9	3.1	PMMA ^c	0.059	PMMA	0.356	Aluminium	N
PTW 23333 (4.6 mm cap)	0.6	21.9	3.1	PMMA ^c	0.053	PMMA	0.551	Aluminium	N
PTW 30001 Farmer	0.6	23.0	3.1	PMMA ^c	0.045	PMMA	0.541	Aluminium	N
PTW 30010 Farmer	0.6	23.0	3.1	PMMA ^c	0.057	PMMA	0.541	Aluminium	N

TABLE 3. (cont.)

PTW 30002/30011 Farmer	0.6	23.0	3.1	Graphite	0.079	PMMA	0.541	Graphite	N
PTW 30004/30012 Farmer	0.6	23.0	3.1	Graphite	0.079	PMMA	0.541	Aluminium	N
PTW 30006/30013 Farmer	0.6	23.0	3.1	PMMA ^c	0.057	PMMA	0.541	Aluminium	Y
PTW 31002 flexible	0.13	6.5	2.8	PMMA ^c	0.078	PMMA	0.357	Aluminium	Y
PTW 31003 flexible	0.3	16.3	2.8	PMMA ^c	0.078	PMMA	0.357	Aluminium	Y
SNC 100730 Farmer	0.6	24.4	3.5	PMMA	0.060	PMMA	0.536	Aluminium	N
SNC 100740 Farmer	0.6	24.4	3.5	Graphite	0.085	PMMA	0.536	Aluminium	N
Victoreen Radocon III 550	0.3	4.3	2.5	Delrin	0.529		0.536		N
Victoreen Radocon II 555	0.1	23.0	2.4	Polystyrene	0.117	PMMA	0.481		N
Victoreen 30-348	0.3	18.0	2.5	PMMA	0.060	PMMA	0.360		N
Victoreen 30-351	0.6	23.0	3.1	PMMA	0.060	PMMA	0.360		N
Victoreen 30-349	1.0	22.0	4.0	PMMA	0.060	PMMA	0.360		N
Victoreen 30-361	0.4	22.3	2.4	PMMA	0.144	PMMA	0.360		N
Scdx-Wellhöfer IC 05	0.08	4.0	3.0	C-552	0.068			C-552	Y
Scdx-Wellhöfer IC 06	0.08	4.0	3.0	C-552	0.068			C-552	Y
Scdx-Wellhöfer IC 10	0.14	6.3	3.0	C-552	0.068			C-552	Y
Scdx-Wellhöfer IC 15	0.13	5.8	3.0	C-552	0.068			C-552	Y
Scdx-Wellhöfer IC 25	0.25	10.0	3.0	C-552	0.068			C-552	Y
Scdx-Wellhöfer IC 28	0.3	9.0	3.1	C-552	0.068	POM ^f	0.560	C-552	Y
Farmer shortened									
Scdx-Wellhöfer IC 69 Farmer	0.67	23.0	3.1	Delrin	0.056	POM	0.560	Aluminium	Y
Scdx-Wellhöfer IC 70 Farmer	0.67	23.0	3.1	Graphite	0.068	POM	0.560	Aluminium	Y

- ^a Some of the chambers listed in this table fail to meet the minimum requirements described in Section 4.2.1. However, they have been included because of their current clinical use.
- ^b For dose determinations based on standards of absorbed dose to water, the information related to the build up cap of an ionization chamber is not relevant. It is given here to enable comparisons with previous formalisms based on standards of air kerma.
- ^c Blanks correspond to no information available.
- ^d Polymethyl Methacrylate ($C_5H_8O_2$), also known as acrylic. Trade names are Lucite, Plexiglas or Perspex.
- ^e Like most chamber types with non-conductive plastic walls, the chamber wall has an inner conductive layer made of graphite. For this chamber type, the thickness and density of the graphite layer is supplied in the chamber specifications.
- ^f Poly Oxy Methylene (CH_2O). A trade name is Delrin.

İyon Odaları

Paralel Düzlem iyon odaları :

- ❖ Paralel düzlem iyon odalarında plakalar arasındaki mesafe 2 mm'den ve toplayıcı elektrotların yarıçapı 20 mm'den az olmamalıdır.
- ❖ Pencerenin önü ince olmalıdır, 1 mm'den küçük olması tercih edilir.
- ❖ Kaviteyi çevreleyen materyal su eşdeğeri olmalıdır. Yani kütle çarpışma durdurma gücü ve lineer saçılma gücü su gibi olmalıdır.
- ❖ Paralel düzlem iyon odalarının karakteristikleri Tablo 4'te verilmiştir.



TABLE 4. CHARACTERISTICS OF PLANE-PARALLEL CHAMBER TYPES (adapted from Ref. [21])

Ionization chamber type ^a	Materials	Window thickness	Electrode spacing	Collecting electrode diameter	Guard ring width	Recommended phantom material
NACP01 (Scanditronix) Calcam-1 (Dosetek)	Graphite window, graphited rexolite electrode, graphite body (back wall), rexolite housing	90 mg/cm ² 0.5 mm	2 mm	10 mm	3 mm	Polystyrene Graphite Water (with water-proof housing)
NACP02 (Scanditronix) Calcam-2 (Dosetek)	Mylar foil and graphite window, graphited rexolite electrode, graphite body (back wall), rexolite housing	104 mg/cm ² 0.6 mm	2 mm	10 mm	3 mm	Water, PMMA
Markus chamber PTW 23343 NA 30-329 NE 2534	Graphited polyethylene foil window, graphited polystyrene collector, PMMA body, PMMA cap	102 mg/cm ² 0.9 mm (incl. cap)	2 mm	5.3 mm	0.2 mm	Water, PMMA
Scdx-Wellhöfer PPC 05	Window and body C-552, graphited (PEEK ^b) electrode	176 mg/cm ² 1 mm	0.5 mm	10 mm	3.5 mm	Water
Holt chamber (Memorial) NA 30-404	Graphited polystyrene wall and electrode, polystyrene body	416 mg/cm ² 4 mm	2 mm	25 mm	5 mm	Polystyrene (phantom integr.)

TABLE 4. (cont.)

Capintec PS-033	Aluminized mylar foil window, carbon impregnated air equivalent, plastic electrode, polystyrene body	0.5 mg/cm ² 0.004 mm	2.4 mm	16.2 mm	2.5 mm	Polystyrene
Exradin 11	Conducting plastic wall and electrodes Model P11: polystyrene equivalent Model A11: C-552, air equivalent Model T11: A-150, tissue equivalent	P11: 104 mg/cm ² 1 mm	2 mm	20 mm	5.1 mm	P11: polystyrene water
Roos chamber PTB FK6 PTW 34001 Scdx-Wellhöfer PPC 35 Scdx-Wellhöfer PPC 40	PMMA, graphited electrodes	118 mg/cm ² 1 mm	2 mm	16 mm	4 mm	Water PMMA
Attix chamber RMI 449	Kapton conductive film window, graphited polyethylene collector, solid water body	4.8 mg/cm ² 0.025 mm	1 mm (0.7 mm reported)	12.7 mm	13.5 mm	Solid water

^a Some of the chambers listed in this table fail to meet the minimum requirements described in Section 4.2.1. However, they have been included because of their current clinical use.

^b Polyetheretherketone (C₁₉H₁₈O₃) 1.265 g/cm³.

Katı Fantomlar

Polystyrene

PMMA

Su eşdeğeri plastik

Katı su

Sanal su



Fantomlar

- Soğurulan doz ölçümlerinde, foton ve elektron demetlerinin her ikisi için de fantom olarak su önerilir.
- İletken olmayan plastik fantomların kullanımı büyük dikkat gerektirir. Bu fantomlarda, birçok araştırmacı tarafından özellikle elektron demetlerinin ölçümlerinde yük birikmesi olduğu gösterilmiştir. Bu yük birikmesi iyon odası civarında elektrik alanı oluşturur, bu da elektron akımını kaviteye doğru yönelterek bir sinyal artışına neden olur. Bu nedenle soğurulan doz ölçümünde elektronlar için daima su ya da iletken plastik fantomlar kullanılmalıdır.



Fantom Boyutları

- Suda ölçüm derinliğinde dört kenardan en geniş alan için 5'er cm pay olmalıdır.
- Alan kenarlarında maksimum ölçüm derinliğinde yüksek enerjili foton ve elektron demetleri için en az 5 g/cm² pay olmalıdır.



TABLE 6. ELEMENTAL COMPOSITION (FRACTION BY WEIGHT), NOMINAL DENSITY AND MEAN ATOMIC NUMBER OF COMMON PHANTOM MATERIALS USED AS WATER SUBSTITUTES (*for comparison, liquid water is also included*)

	Liquid water ^a	Solid water WT1 ^a	Solid water RMI-457	Plastic water	Virtual water	PMMA ^{a,b}	Polystyrene ^a	Tissue equivalent plastic A-150 ^a
H	0.1119	0.0810	0.0809	0.0925	0.0770	0.0805	0.0774	0.1013
C		0.6720	0.6722	0.6282	0.6874	0.5998	0.9226	0.7755
N		0.0240	0.0240	0.0100	0.0227			0.0351
O	0.8881	0.1990	0.1984	0.1794	0.1886	0.3196		0.0523
F								0.0174
Cl		0.0010	0.0013	0.0096	0.0013			
Ca		0.0230	0.0232	0.0795	0.0231			0.0184
Br				0.0003				
Density (g/cm ³)	1.000	1.020	1.030	1.013	1.030	1.190	1.060	1.127
$\bar{Z}^c$	6.6	5.95	5.96	6.62	5.97	5.85	5.29	5.49

^a See Refs [62, 64].

^b Polymethyl methacrylate, also known as acrylic. Trade names are Lucite, Plexiglas or Perspex.

^c For the definition of mean atomic number see, for instance, Refs [11] or [21].

Yüksek Enerjili Fotonlar

Yüksek enerjili fotonların demet kalitesi, demet eksenine dik bir düzlemde 10 cm x 10 cm lik bir radyasyon alanında izomerkeze yerleştirilmiş iyon odası ile 20 g/cm² ve 10 g/cm² derinliklerde ölçülen soğurulan dozların oranı olan $TPR_{20,10}$ (Tissue phantom ratio-Doku fantom oranı) ile ölçülür.



TRS-398

Demet Kalite Spesifikasyonu

- Foton demetleri :
 - Sabit SCD'de iki farklı derinlikteki dozların oranı $\text{TPR}_{20,10}$ (elektron kontaminasyonundan bağımsız) (^{60}Co TPR değil)



Demet Kalite Spesifikasyonu

- Demet Kalitesi ($\text{TPR}_{20,10}$ 'nun belirlenmesi):

$$\Rightarrow \text{TPR}_{20,10} = \frac{D_{20}}{D_{10}} \approx \frac{M_{20}}{M_{10}}$$

$\Rightarrow \text{SCD} = \text{sabit} = 100 \text{ cm}$

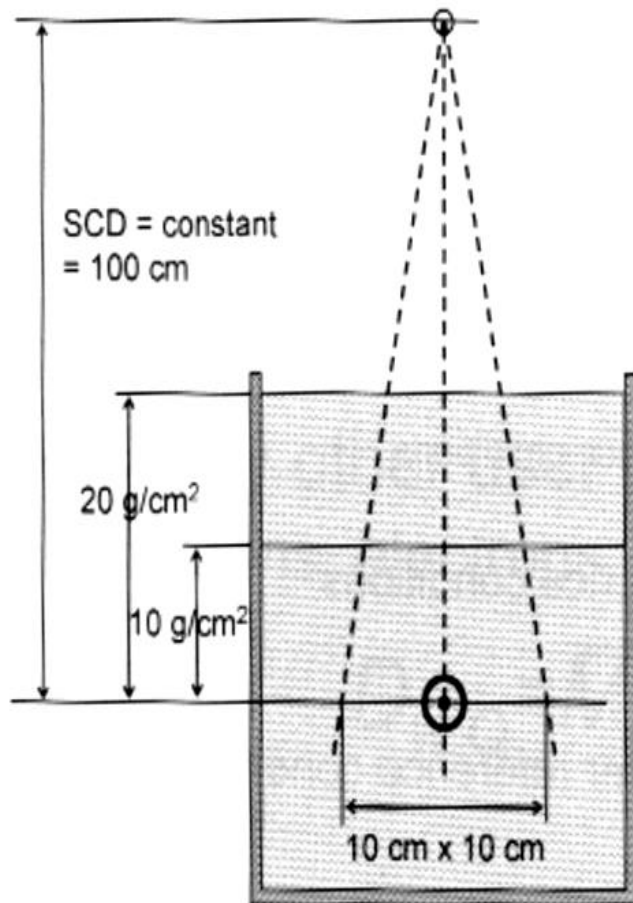
$\Rightarrow d_2 = 20 \text{ g / cm}^2$

$\Rightarrow d_1 = 10 \text{ g / cm}^2$

$\Rightarrow \text{Alan} = 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} (\text{SCD} = 100 \text{ cm'de})$



Demet Kalitesi: $TPR_{20,10}$ 'un belirlenmesi



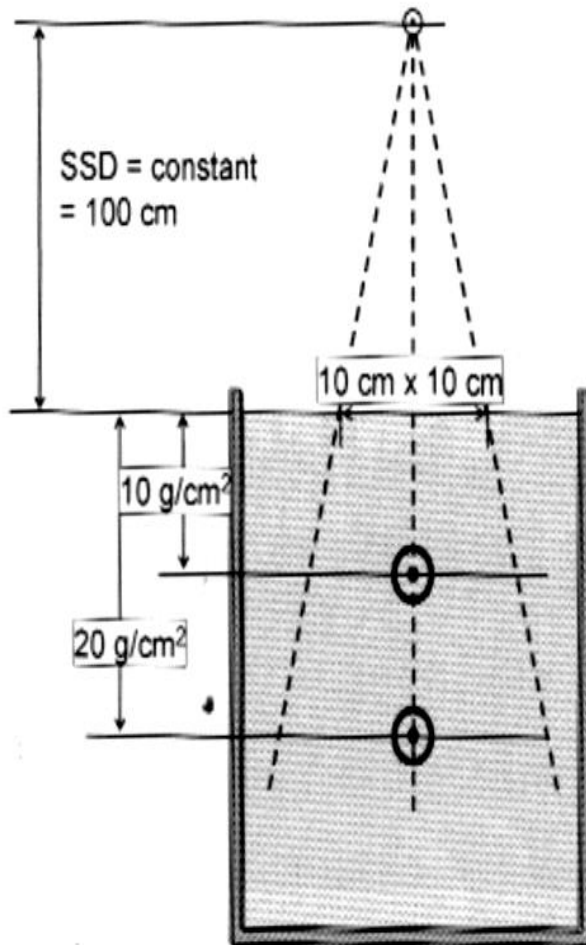
$$\Rightarrow M_{10}$$

$$\Rightarrow M_{20}$$

$$TPR_{20,10} = \frac{D_{20}}{D_{10}} \approx \frac{M_{20}}{M_{10}}$$



Demet Kalitesi: $TPR_{20,10}$ 'un belirlenmesi



$$\Rightarrow M_{10}$$

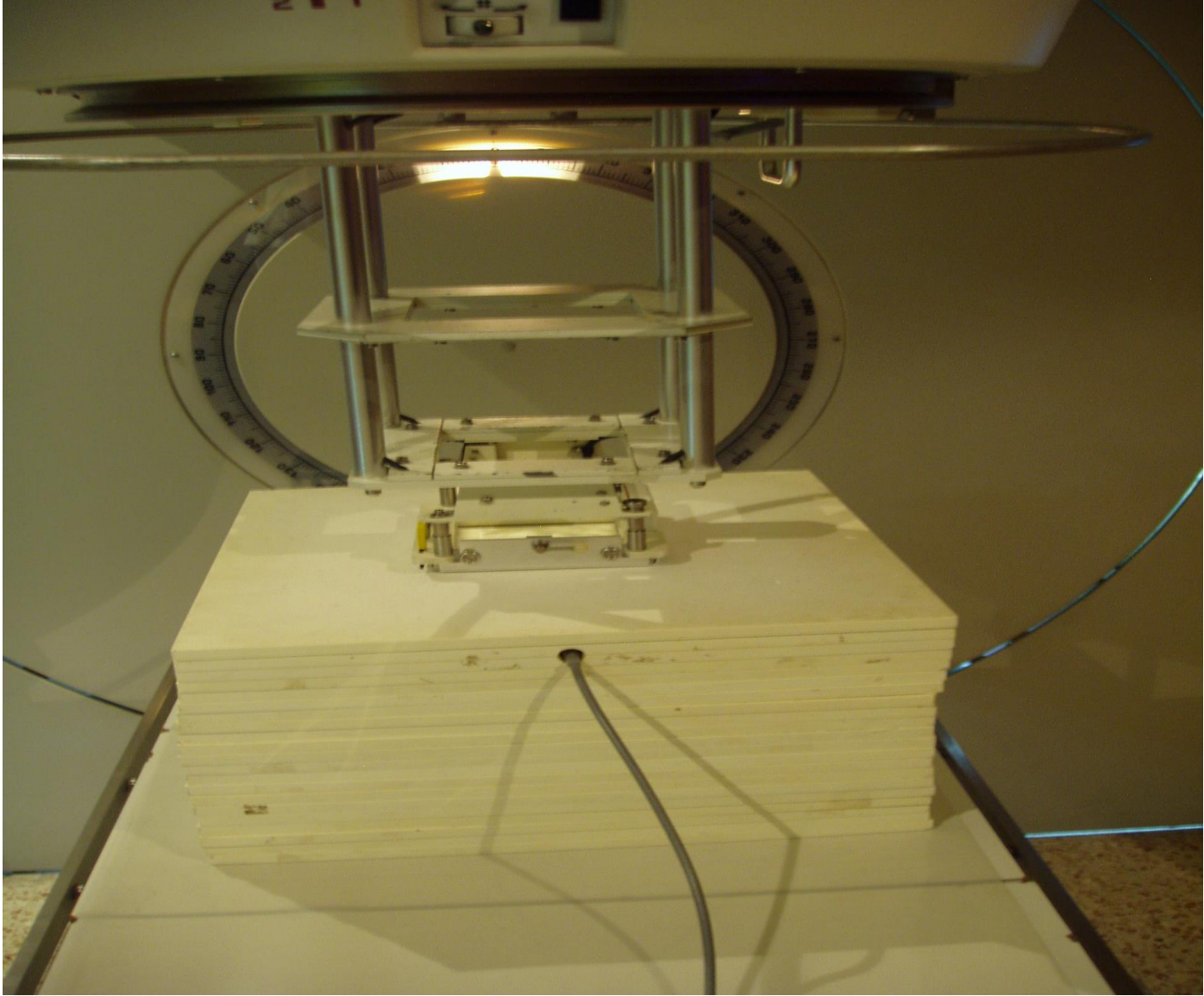
$$\Rightarrow M_{20}$$

$$PDD_{20,10} = \frac{D_{20}}{D_{10}} \approx \frac{M_{20}}{M_{10}}$$

$$TPR_{20,10}$$

$$= 1.2661 PDD_{20,10} - 0.0595$$





Elektron Aplikatör'ü Takılmış Philips marka SL 25 medikal lineer hızlandırıcı

Elektron Enerji Spektrumu ve Parametreleri

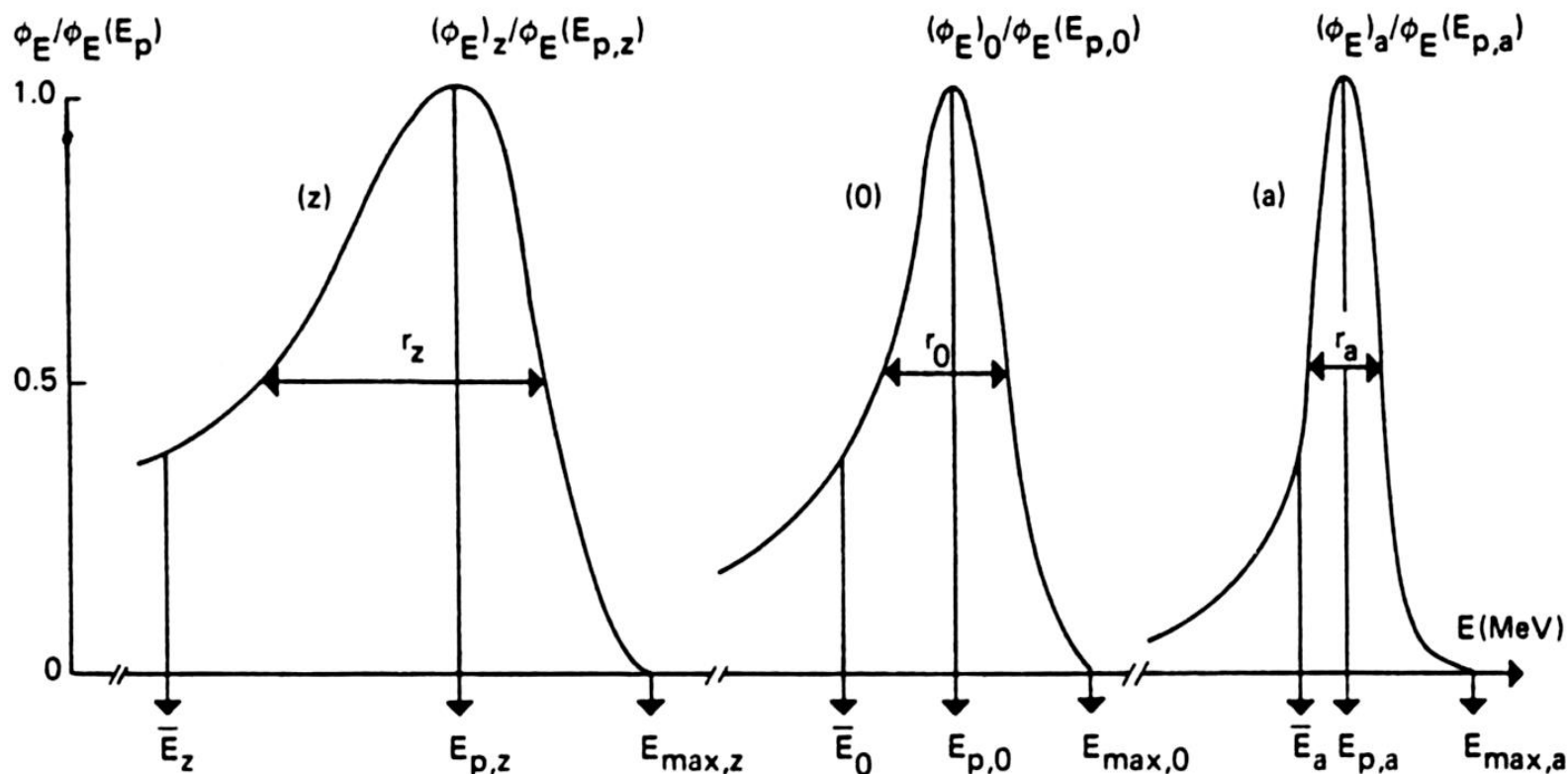


FIG. 6. Electron energy spectra and their parameters: (a) indicates the energy distribution of the electron beam as it exits before meeting the accelerator window; (0) indicates the distribution at the phantom surface and (z) indicates the distribution at a depth z in the phantom.



Yüksek Enerjili Elektronlar

- ✓ $E_{\max,a}$: Hızlandırıcı çıkış penceresinde elektron demetinin maksimum enerjisi
- ✓ $E_{\max,o}$: Fantom yüzeyinde elektron demetinin maksimum enerjisi
- ✓ $E_{\max,z}$: z derinliğinde elektron demetinin maksimum enerjisi
- ✓ $\bar{E}_a$: Ortalama elektron enerjisi
- ✓ $E_{p,a}$: En olası elektron enerjisi
- ✓ r_a : Enerji dağılımı (enerji spektrumunun yarı maksimumundaki genişlik)



Menzil Enerji İlişkisi

- Pratik menzil R_p eğrinin inen kısmına teğet ile fren ışıınımı (Bremsstrahlung) kuyruğunun uzantısının kesişme derinliği olarak tanımlanır.
- R_{50} soğurulan dozun maksimumunun %50' si olan derinlik olarak tanımlanır.
- Deneysel enerji menzil bağıntıları su fantomuna dik gelen geniş ve paralel elektron demetleri için tam geçerlidir.

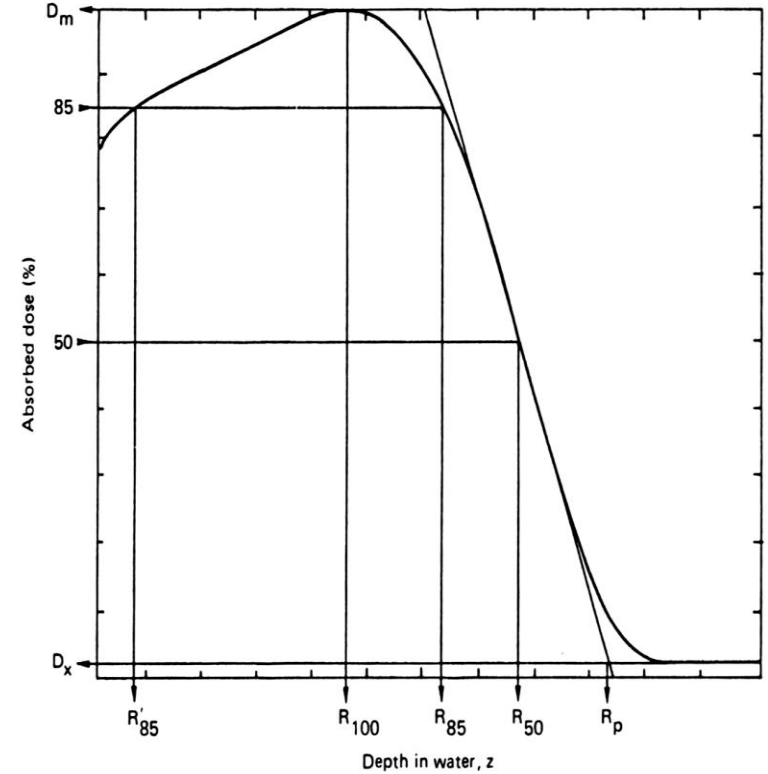


FIG. 7. An electron beam absorbed dose distribution in a water phantom showing the significance of various parameters: D_m is the maximum absorbed dose, D_x is the absorbed dose due to bremsstrahlung, R_{100} is the depth of dose maximum, R_{85} is the therapeutic range (it is here assumed that $R_t = R_{85}$; the depth at which the therapeutic interval intersects the depth dose curve near the skin entrance is designated by R'_{85}); R_{50} is the depth for 50% absorbed dose; R_p is the practical range. (From Ref. [28])

TRS-398

Demet Kalite Spesifikasyonu

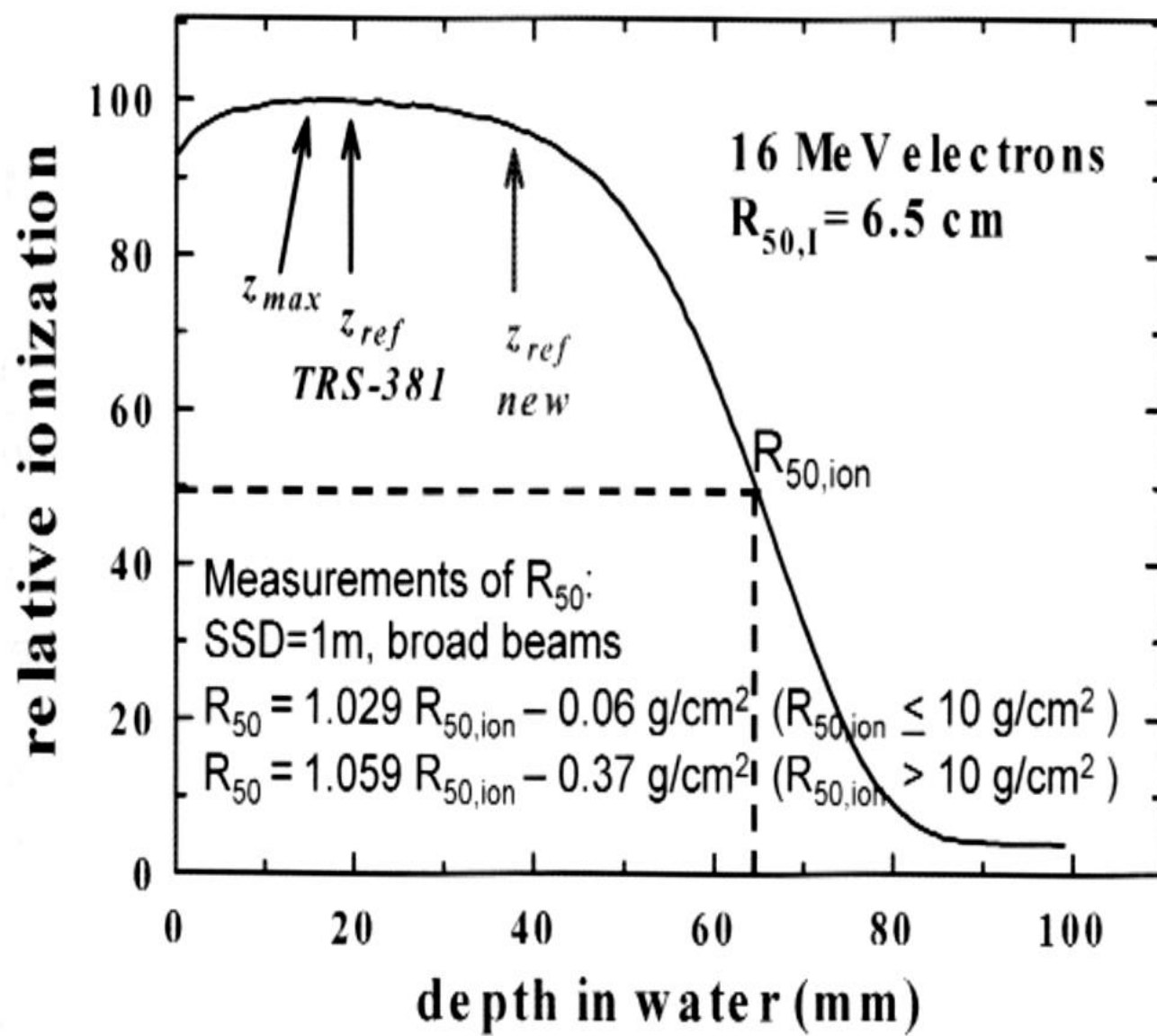
- Elektron demetleri :

- Yarı değer derinliği R_{50} (Enerjiye dönüştürmekten kaçının)

☞ $R_{50} = 1.029 R_{50,ion} - 0.06 \text{ g / cm}^2 \text{ (} R_{50,ion} \leq 10 \text{ g / cm}^2 \text{)}$

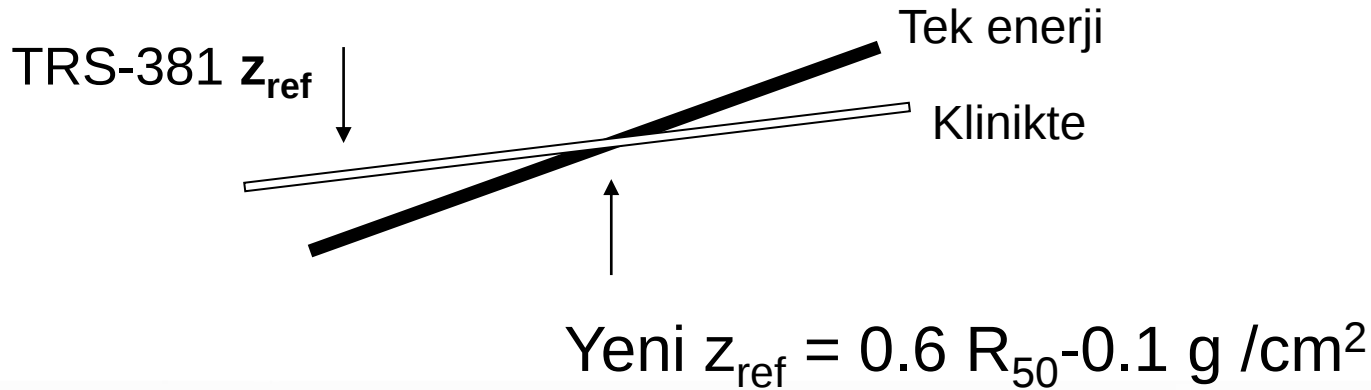
☞ $R_{50} = 1.059 R_{50,ion} - 0.37 \text{ g / cm}^2 \text{ (} R_{50,ion} > 10 \text{ g / cm}^2 \text{)}$





Durdurma gücü oranları

- ★ $S_{W,air}$ eğrileri klinik içindir ve mono enerjili demetler (demet kontaminasyonu ile değişen) bir derinlikte kesişen (genellikle z_{ref} 'ten daha geniş) farklı eğimlere sahiptir.
- ★ Klinik veriler daha az değişime (gradiente) sahiptir.



$N_{D,w}$ 'A DAYANAN FORMALİZM

Bu formalizm ayrıntıları Hohlfeld tarafından verilen ^{60}Co demeti ile suda soğurulan doz terimlerinde kalibre edilen bir iyon odası veya bir dozimetre kullanılarak yüksek enerjili foton ve elektron demetlerinde soğurulan doz tayini için formalizmdir. Bu konudaki tanımlayıcı çalışmalar ve formalizmin genişletilmesi Andreo ve Rogers tarafından geliştirildi.



FORMALİZM

İyon odası yokluğunda ve referans demet kalitesi Q_0 için z_{ref} referans derinliğinde suda soğurulan doz

$$D_{W,Q_0} = M_{Q_0} N_{D,W,Q_0} \quad (1)$$

ile verilir. Burada

M_{Q_0} : Standart laboratuarda referans koşullar altında dozimetreden okumadır.

N_{D,W,Q_0} : Bir standart laboratuardan bulunan dozimetrenin suda soğurulan doz terimlerinde kalibrasyon faktörüdür.



Suda soğurulan doz terimlerinde kalibrasyon için referans koşulları

- Geometrik düzenleme (mesafe ve derinlik)
- Alan büyüklüğü
- Işınlanan fantomun boyutları ve materyali
- Sıcaklık, basınç, rölatif nem



FORMALİZM

IAEA, Technical Reports series No.398

* D_W tayini için referans koşullar (ölçümler su fantomunda)

	SSD / SAD (cm)	Alan (cm ²)	$Z_{ref.}$ (g.cm ⁻²)
^{60}Co γ -Işınları	80 veya 100	10 x 10	5(veya 10)
Yüksek Enerjili Fotonlar	100	10 x 10	10 (veya 5)
Yüksek Enerjili Elektronlar	100	10 x 10 (N)	$0.6R_{50}-0.1$
Düşük Enerjili X-Işınları	Klinik	$\phi = 3$	Yüzey
Orta Enerjili X-Işınları	Klinik	10 x 10	2.0

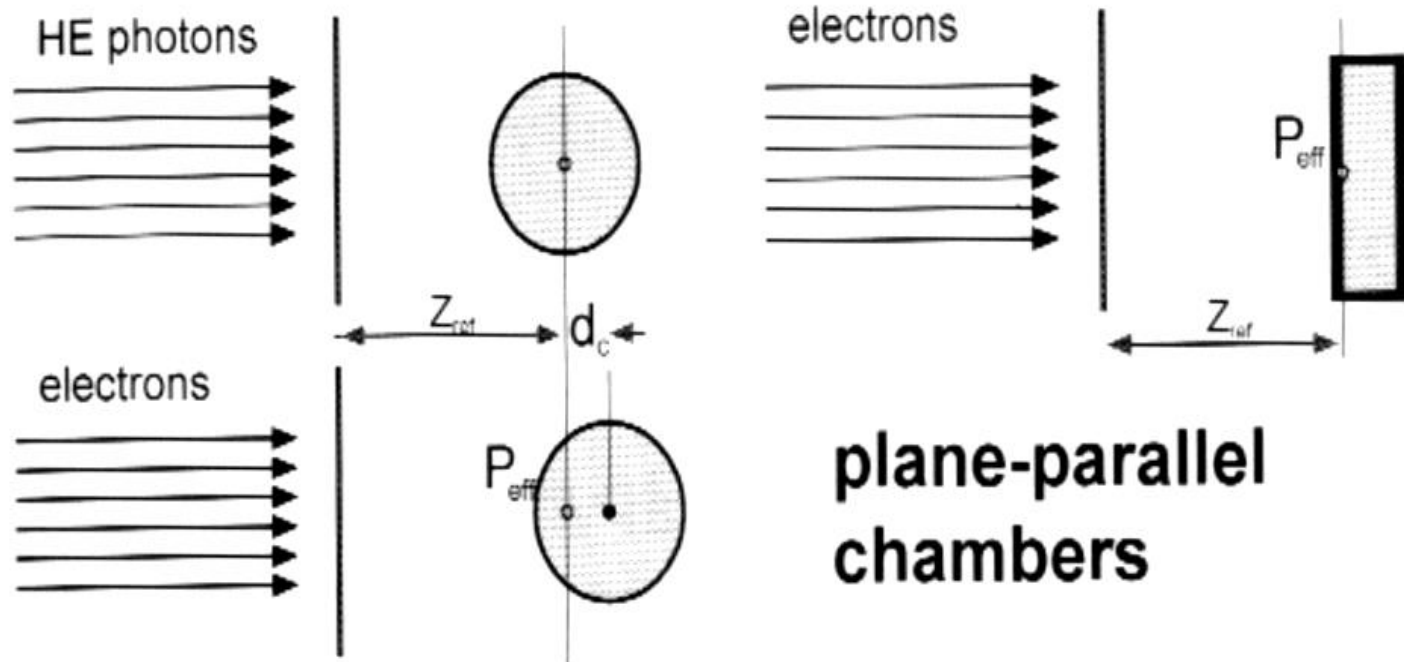


İyon odasının referans noktası ($N_{D,w}$ burada ölçülür)

- ★ Paralel düzlem iyon odasında : Hava kavitesinin önü
- ★ Silindirik iyon odalarında:
 - ✓ Fotonlar için silindirik iyon odasının merkezi
 - ✓ Elektron demetleri için silindirik iyon odasının merkezinden $0.5 r_{sil}$ daha derinde.



Referans Nokta Ölçümü



cylindrical chambers

**plane-parallel
chambers**

Radyasyon Demet Kalitesi İçin Düzeltme Faktörü k_{Q,Q_0}

Dozimetre kalibrasyonda kullanılan Q_0 demet kalitesinden farklı bir Q demet kalitesi ile kullanılırsa suda soğurulan doz

$$D_{W,Q} = M_Q N_{D,W,Q_0} k_{Q,Q_0} \quad (2)$$

ile verilir.

Burada k_{Q,Q_0} faktörü referans demet kalitesi Q_0 ve gerçek kullanıcı demet kalitesi Q arasındaki farkın etkileri için düzeltme faktörüdür. Dozimetre okuması M_Q kalibrasyon faktörünün geçerli olduğu referans değerleri etkileyen nicelikler için düzeltilmiştir.



Demet Kalite Faktörü

İyon odalarının kalibrasyonunda en çok kullanılan referans demet kalitesi Q_0 ^{60}Co gama ışınıdır. Bu durumda demet kalite düzeltme faktörü sembolü için k_Q kullanılır. Bazı PSDL (Primer Standart Dozimetri Laboratuvarı)'lerde yüksek enerjili foton ve elektron demetleri kalibrasyon için kullanılır ve sembol olarak k_{Q,Q_0} kullanılır.

İdeal olan demet kalite faktörünün kullanıcı demet kalitesi ile aynı kalitede ve herbir iyon odası için doğrudan ölçülmesidir. Bu dünyada sayılı PSDL'de mümkündür. İşlem kalorimetri gibi enerjiden bağımsız dozimetri sistemi gerektirir. Standart laboratuvarlarda klinik hızlandırıcılardaki demet kalitelerini elde etmek güçtür.



Demet Kalite Faktörü k_{Q,Q_0} İçin Opsiyonlar

1. N_{D,w,Q_0} + deneysel k_{Q,Q_0}
 $\Rightarrow k_{Q,Q_0}$ 'ın ara değerini bulma

2. N_{D,w,Q_0} + $N_{D,w,Q}$ 'nun serileri
 $\Rightarrow k_{Q,Q_0} = N_{D,w,Q} / N_{D,w,Q_0}$

3. $N_{D,w,Q_0} \Rightarrow$ hesaplanmış k_{Q,Q_0}

4. N_{D,w,Q_0} + cinse ait k_{Q,Q_0}



k_{Q,Q_0} için tavsiyeler

- ❶ Kullanıcı iyon odası için k_{Q,Q_0} 'ın doğrudan ölçülebilir
- ❷ Q_0 olarak ^{60}Co ile hesaplanan k_Q günümüzde en genel pratik olandır
- ❸ Geniş kapsamlı deneysel değerlerden iyon odalarının geniş bir örneği yalnız standart laboratuvarlar tarafından bulunan k_{Q,Q_0} değerleri kullanılabilir. Standart laboratuvarlarda bulunmamışsa tavsiye edilmez.



Demet Kalite Faktörü k_{Q,Q_0}

İyon odasının suda soğurulan doz terimlerinde kalibrasyon faktörlerinin Q ve Q₀ kalitelerindeki değerlerinin oranıdır.

$$k_{Q,Q_0} = \frac{N_{D,W,Q}}{N_{D,W,Q_0}} = \frac{D_{W,Q} / M_Q}{D_{W,Q_0} / M_{Q_0}}$$



k_{Q,Q_0} 'ın Teorik Olarak Belirlenmesi

(Brag-Gray Kavite Teorisine Dayandırılarak)

$$k_{Q,Q_0} = \frac{(s_{w,air})_Q}{(s_{w,air})_{Q_0}} \frac{(W_{air})_Q}{(W_{air})_{Q_0}} \frac{p_Q}{p_{Q_0}}$$

- Bütün yüksek enerji demetleri için geçerlidir
- Günümüzde en yaygın kullanımda olandır
- Fotonlar için hesaplanan k_{Q,Q_0} ve PSDL tarafından ölçülen değerler iyon odalarının büyük çoğunluğu için uyumludur.



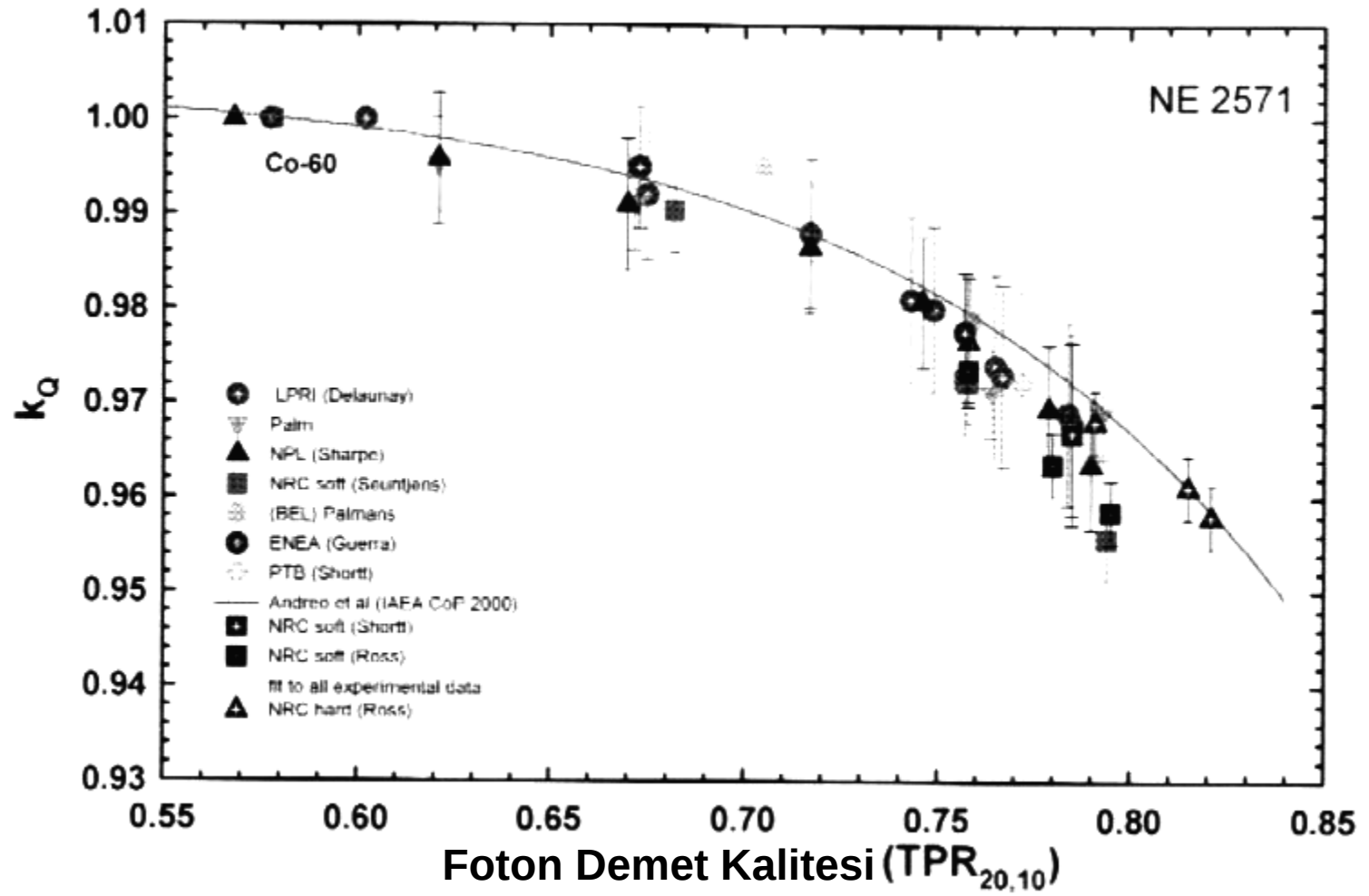
k_{Q,Q_0} 'ın Teorik Olarak Belirlenmesi

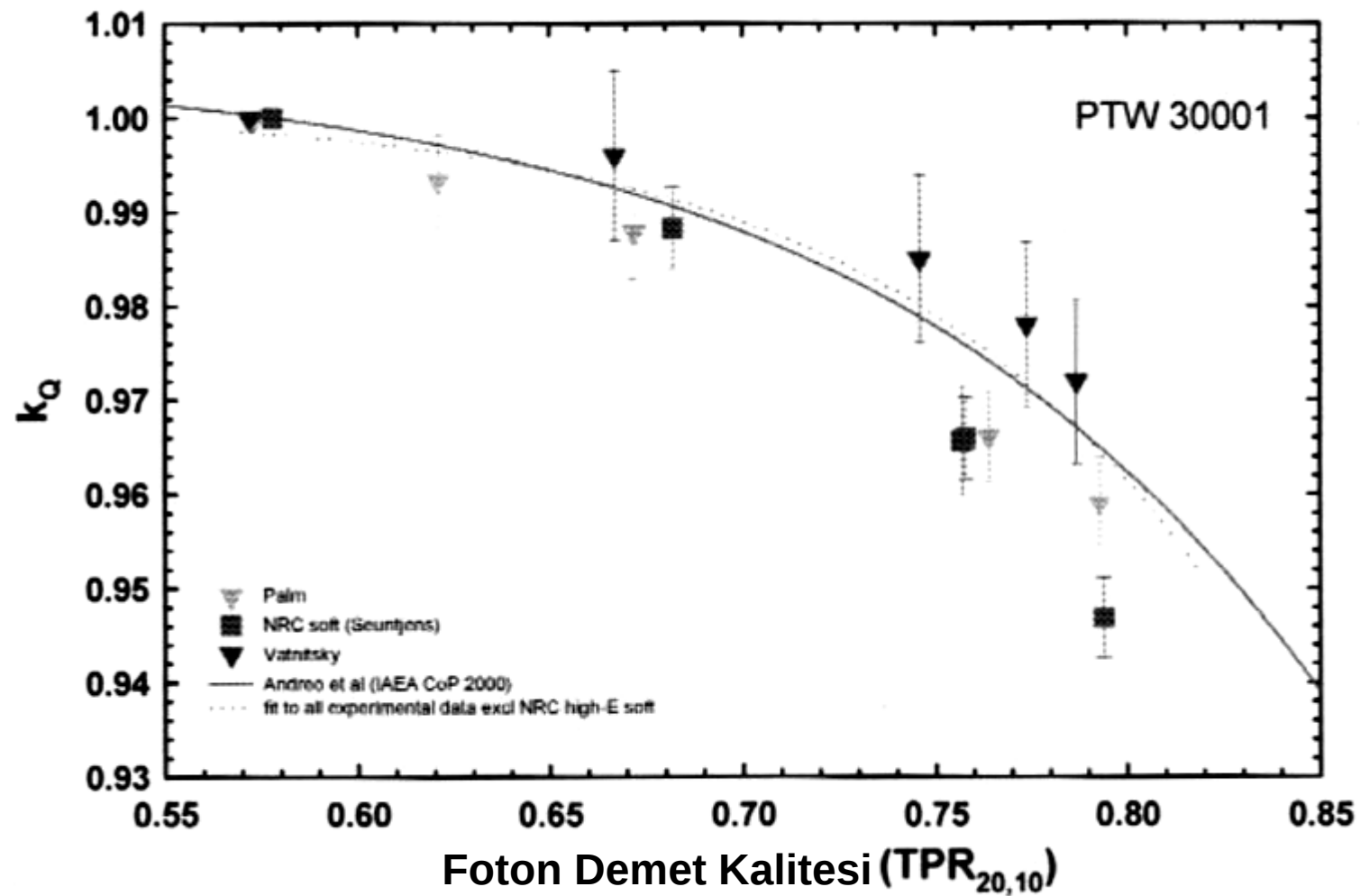
- Radyoterapide elektron ve foton demetleri için genellikle $(W_{air})_Q = (W_{air})_{Q_0}$ olduğu kabul edilir.

Bu durumda $k_{Q,Q_0} \approx \frac{(S_{w,air})_Q}{(S_{w,air})_{Q_0}} \frac{P_Q}{P_{Q_0}}$ olur.

P_Q ve P_{Q_0} yalnız iyon odasına bağlı olan faktörlerdir.







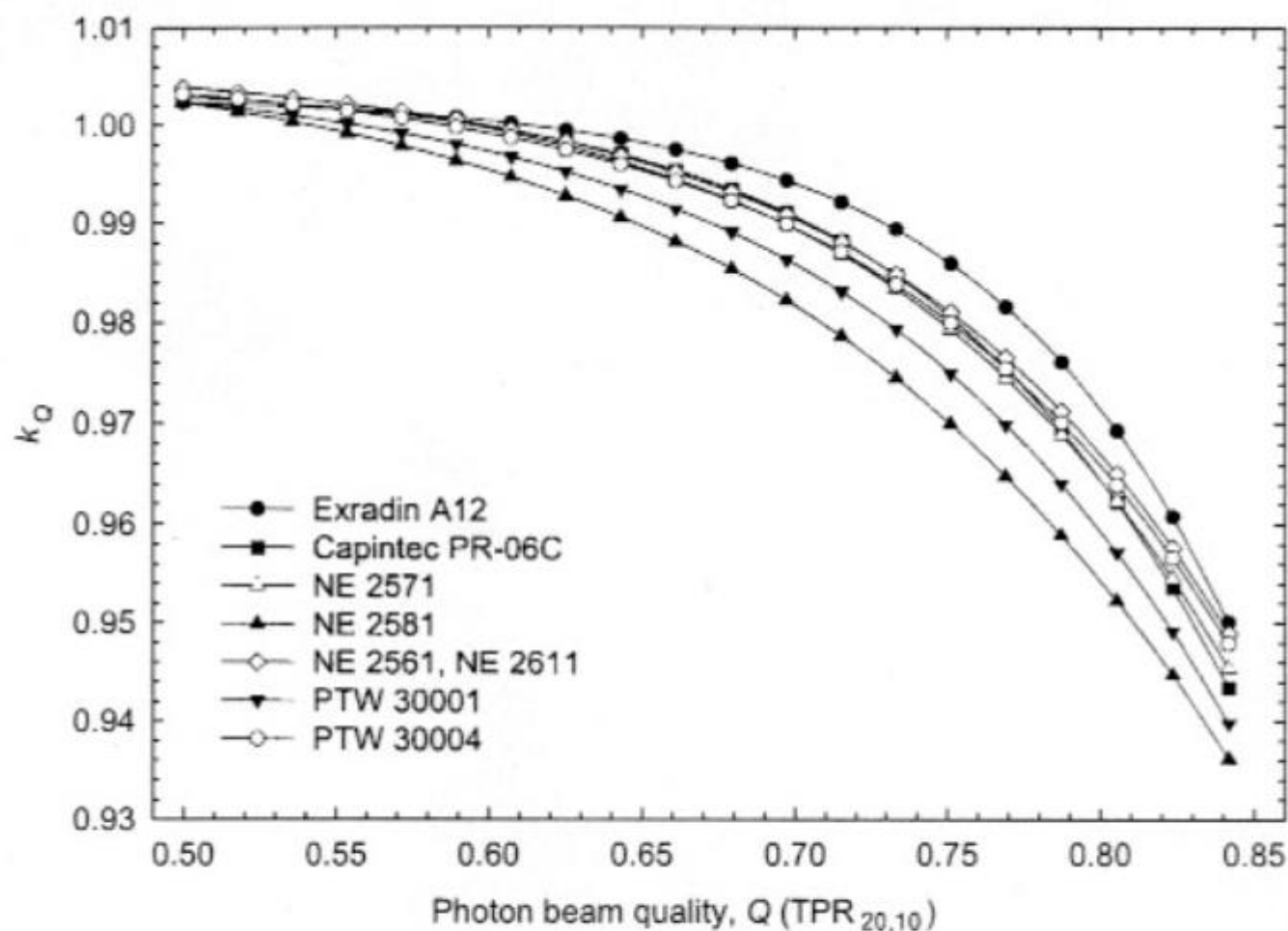


FIG. 7. Sigmoidal fits of calculated values of k_Q for various cylindrical ionization chambers commonly used for reference dosimetry, as a function of photon beam quality, Q ($TPR_{20,10}$). Open symbols correspond to graphite walled ionization chambers, solid symbols to plastic walled chambers. Data from Table 14.

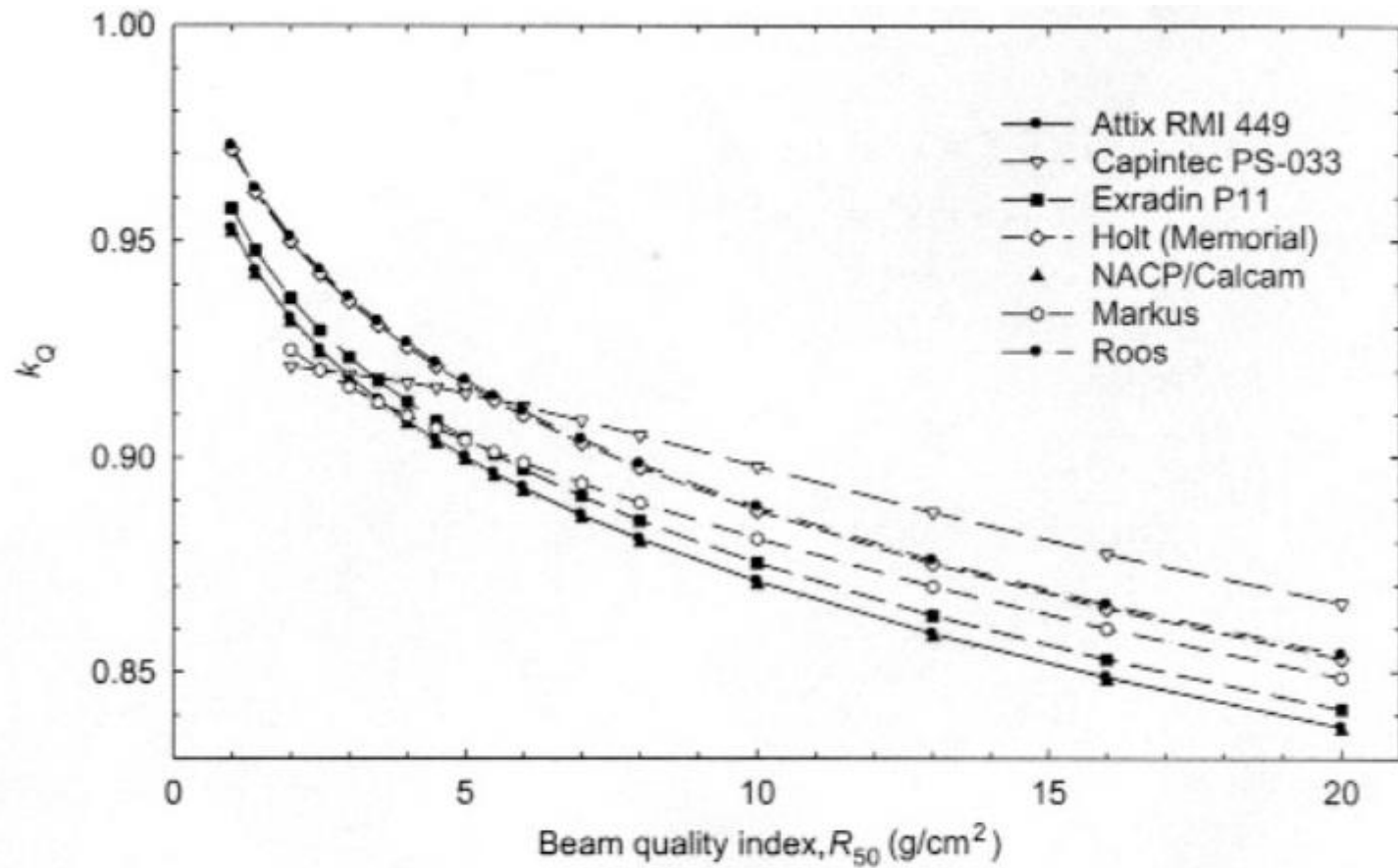


FIG. 8. Calculated k_Q values for electron beams, for various plane-parallel chamber types calibrated in ^{60}Co gamma radiation.

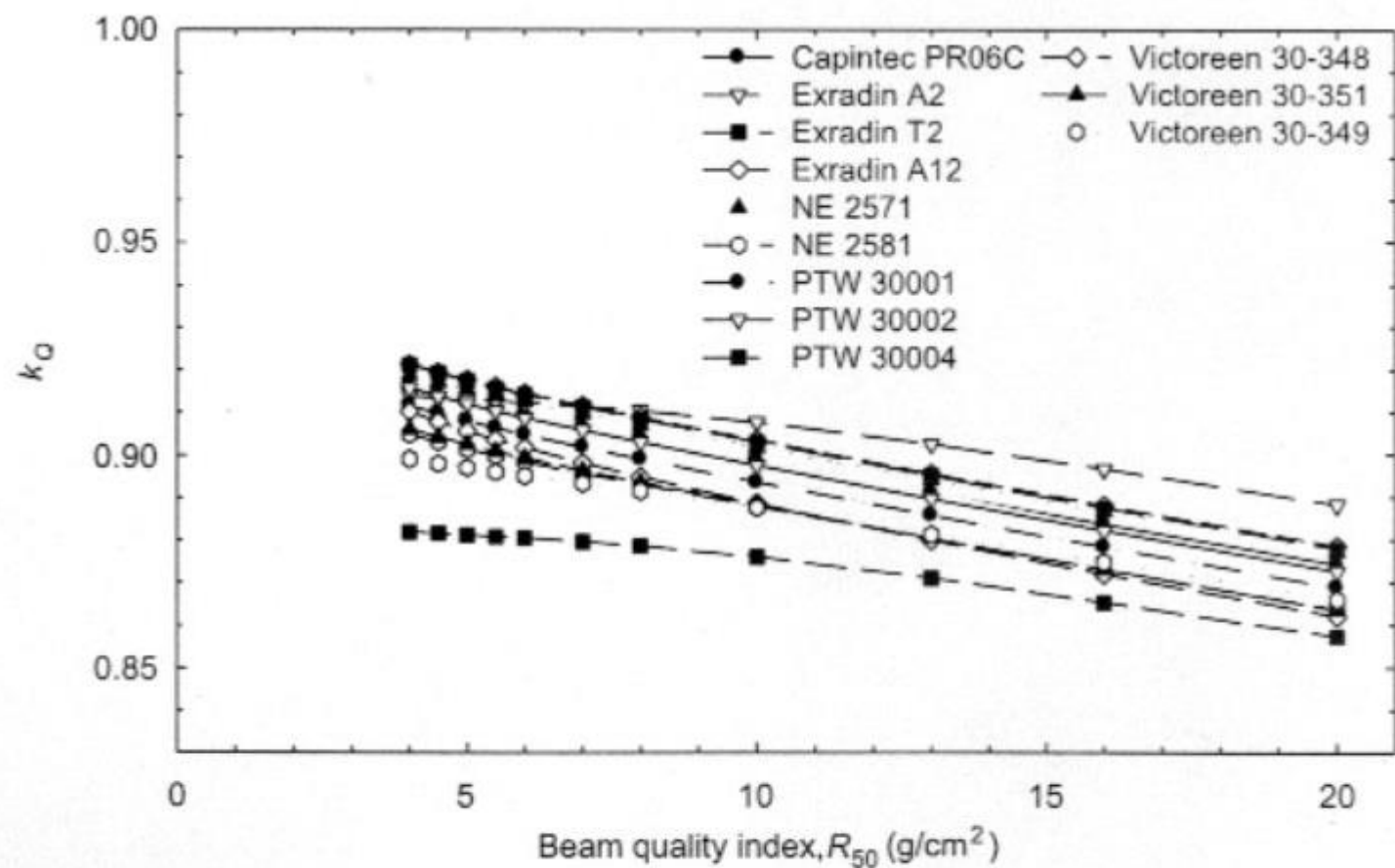


FIG. 9. Calculated k_Q values for electron beams, for various cylindrical chamber types calibrated in ^{60}Co gamma radiation.

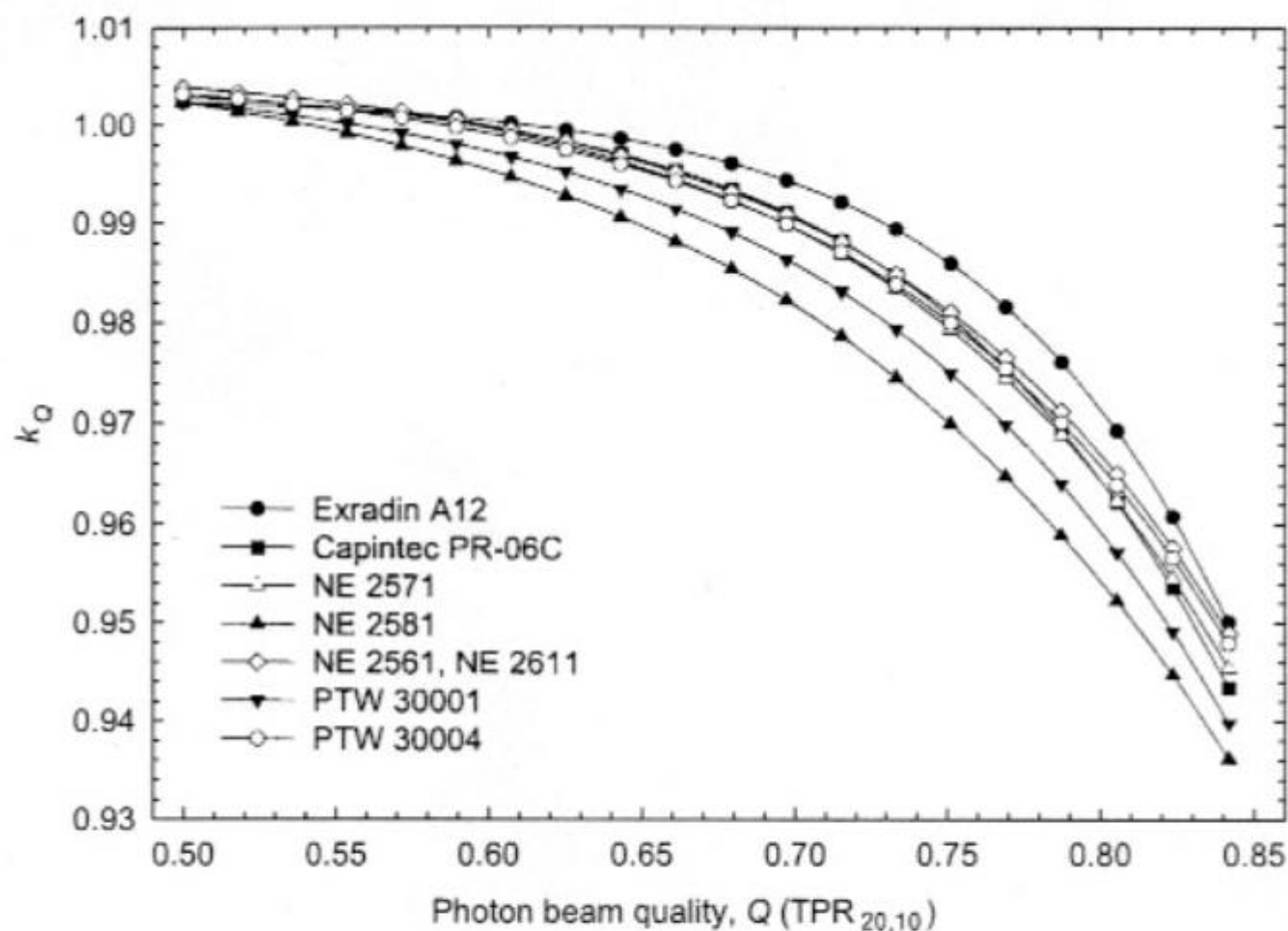


FIG. 7. Sigmoidal fits of calculated values of k_Q for various cylindrical ionization chambers commonly used for reference dosimetry, as a function of photon beam quality, Q ($TPR_{20,10}$). Open symbols correspond to graphite walled ionization chambers, solid symbols to plastic walled chambers. Data from Table 14.

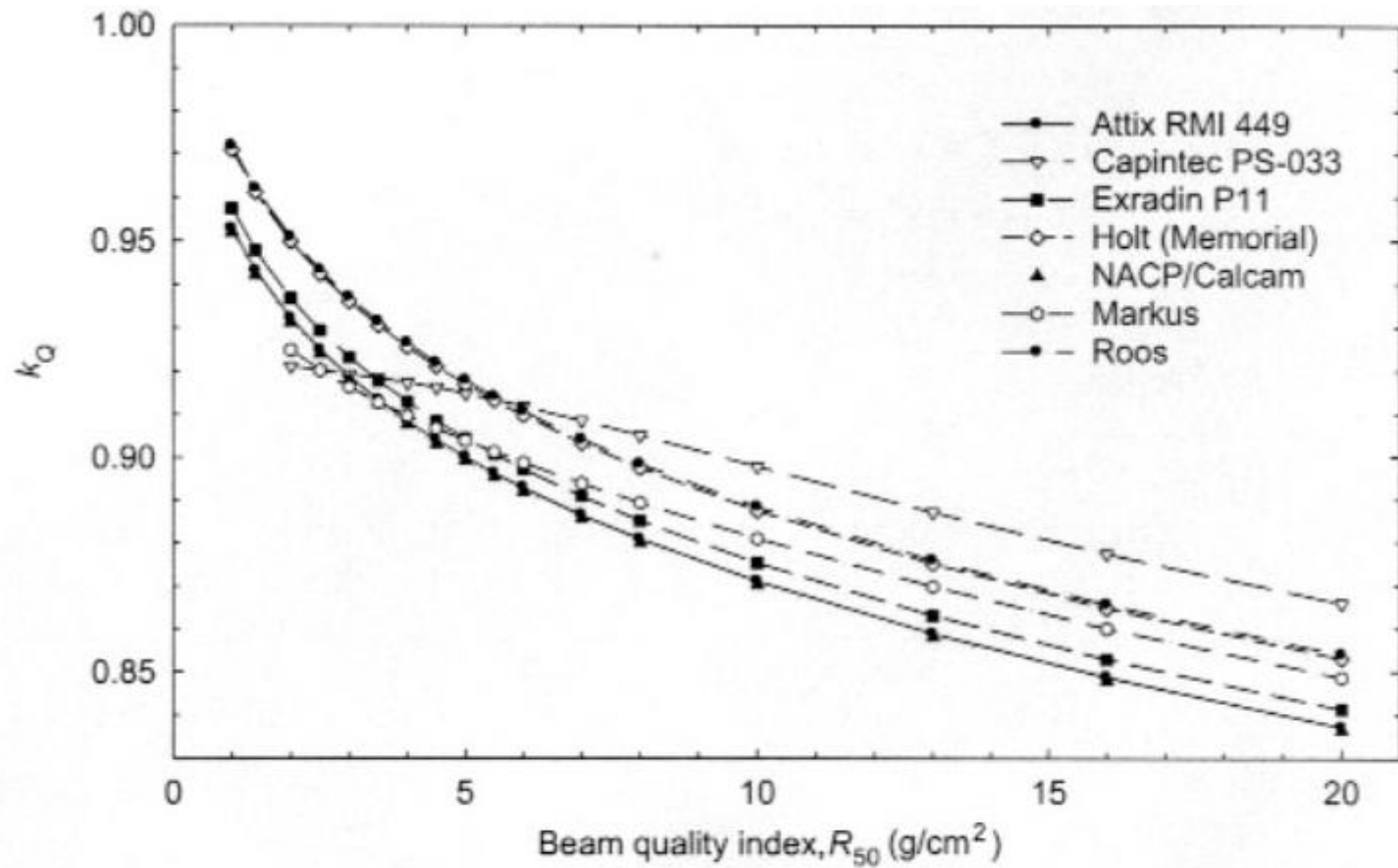


FIG. 8. Calculated k_Q values for electron beams, for various plane-parallel chamber types calibrated in ^{60}Co gamma radiation.

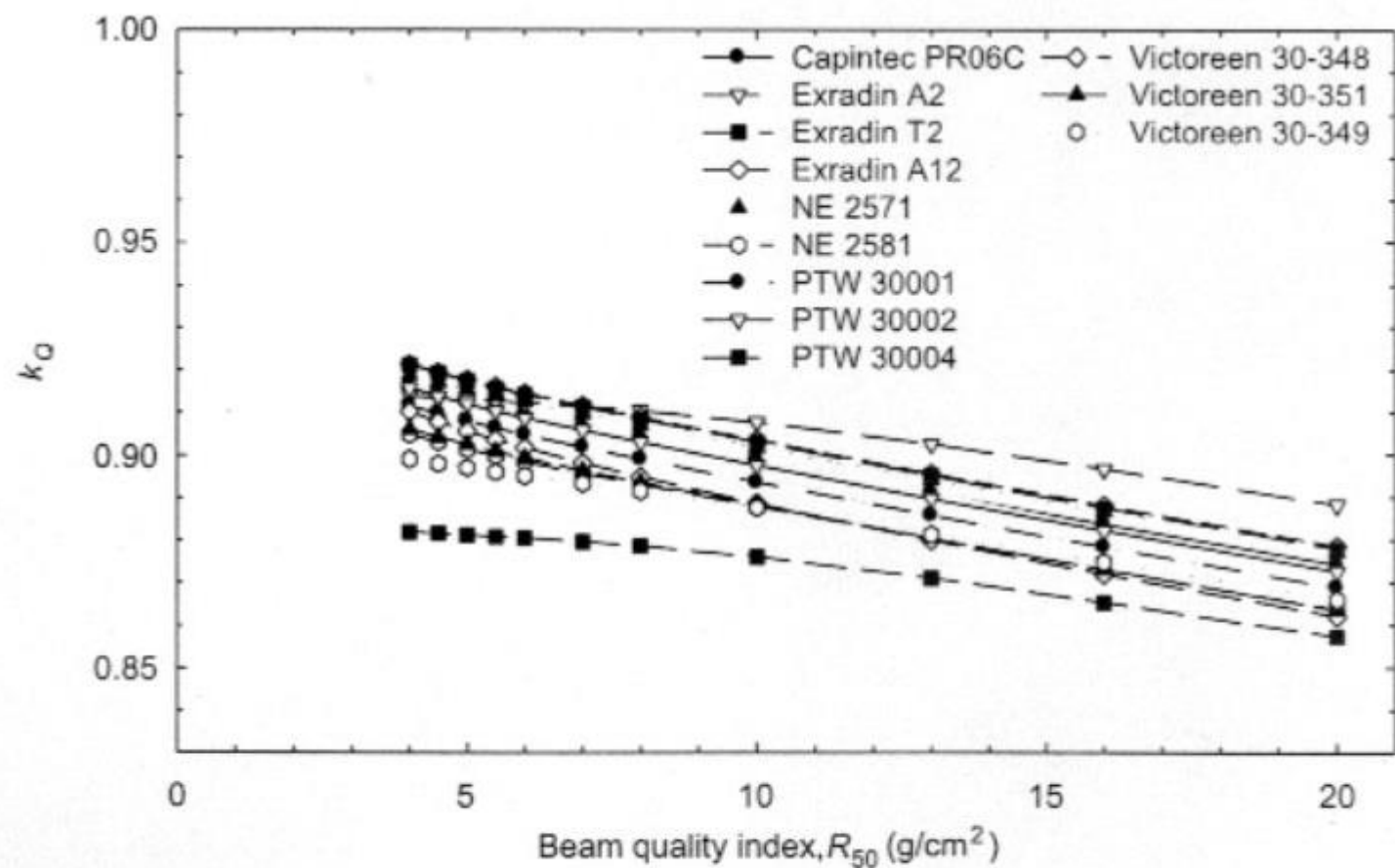


FIG. 9. Calculated k_Q values for electron beams, for various cylindrical chamber types calibrated in ^{60}Co gamma radiation.

k_{Q,Q_0}

‘1 elektronlar için uyarlamak :
iyon odalarının çapraz(cross)-kalibrasyonu

Yüksek enerjili elektron demetlerinde Q_{cross}
kalitesiyle bir iyon odasının (genellikle pp)
kalibrasyonu, referans iyon odası ile (genellikle
silindirik) yapılır.

Genellikle referans iyon odasının kalibrasyonu
İle yapılır.

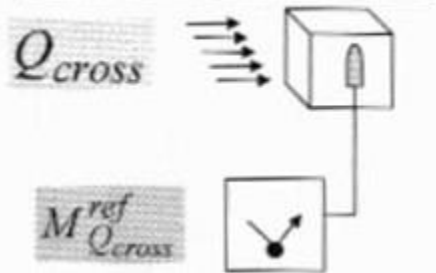
$$Q_0 = {}^{60}\text{Co}$$

${}^{60}\text{Co}$



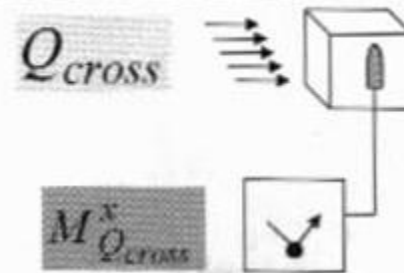
Q_{cross} Kalitesinde Bir İyon Odasının Çapraz Kalibrasyonu

Referans iyon odası



Aynı
konum

Kalibre edilen iyon odası



$$D_{w,Q_{cross}}^{ref} = M_{Q_{cross}}^{ref} N_{D,w,Q_0}^{ref} k_{Q_{cross},Q_0}^{ref}$$

$$D_{w,Q_{cross}}^x = M_{Q_{cross}}^x N_{D,w,Q_{cross}}^x$$

Her iki iyon odası da aynı $D_{w,Q_{cross}}$ değerine sahiptir.

$$N_{D,w,Q_{cross}}^x = N_{D,w,Q_0}^{ref} \frac{M_{Q_{cross}}^{ref}}{M_{Q_{cross}}^x} k_{Q_{cross},Q_0}^{ref}$$



Bir Q Elektron Demetinde Çapraz Kalibre Edilen İyon Odasının Sonraki Kullanımı

$$D_{w,Q} = M_Q^{pp} N_{D,w,Q_{cross}}^{pp} k_{Q,Q_{cross}}^{pp}$$

3-D tablolarını (iyon Odası, Q, Q_{cross}) önlemek için elektronlarda uyumlandırılmış bir geliştirilmiştir.



Elektronlar için uyumlandırılmış

$k_{Q,Q_{cross}}$

Q_{int} kalitesinde bir demet varsayarak,

$$k_{Q,Q_{cross}} = \frac{k_{Q,Q_{int}}}{k_{Q_{cross},Q_{int}}} = k_{Q,Q_{int}} k_{Q_{int},Q_{cross}} \quad \text{tanımlanırsa}$$

$k_{Q_{int},Q_{cross}}$, Q_{cross} 'u Q_{int} 'e düzeltir.

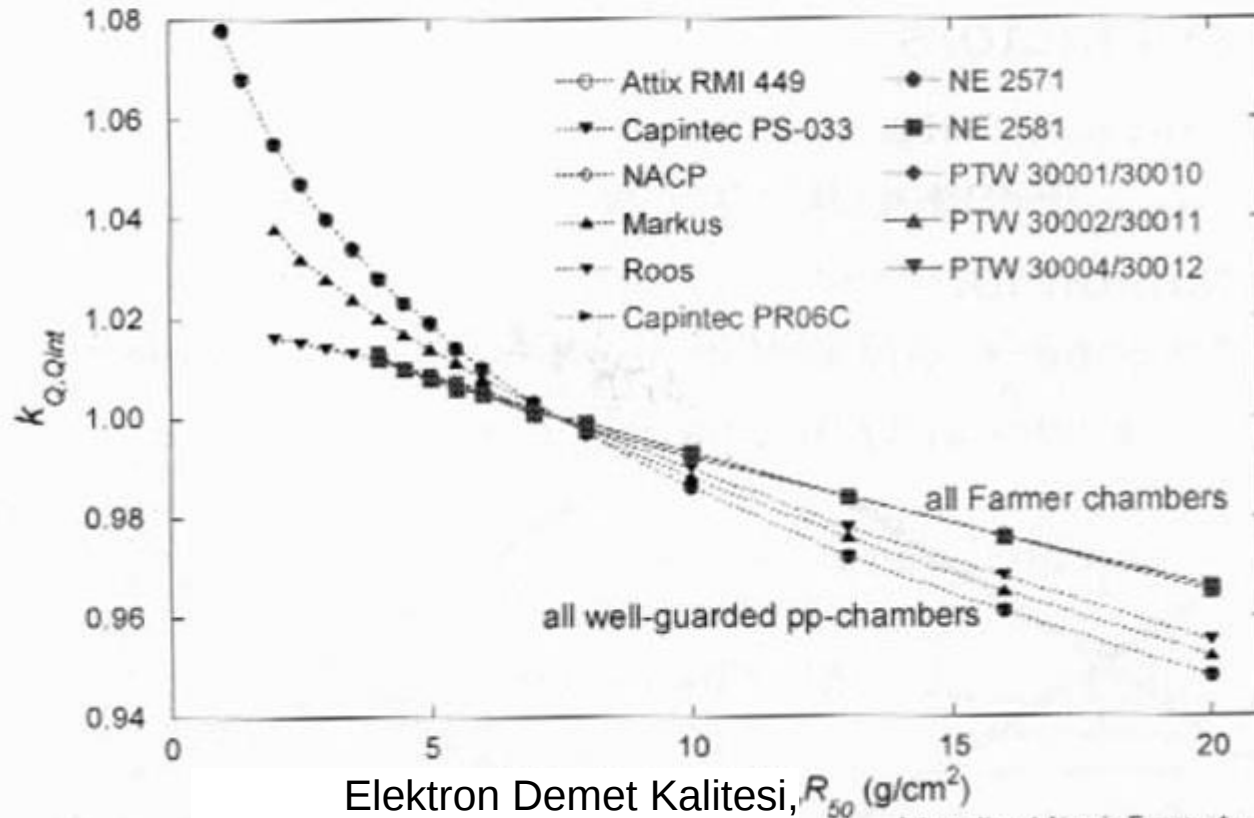
$k_{Q,Q_{int}}$, Q_{int} 'i Q 'e düzeltir.

Q_{int} kullanıcıdan bağımsız olarak keyfi bir kalite olarak seçilir.

$$R_{50} = 7.5 \text{ g cm}^{-2}$$



Çeşitli İyon Odası Tipleri için Hesaplanan $k_{Q,Qint}$ değerleri



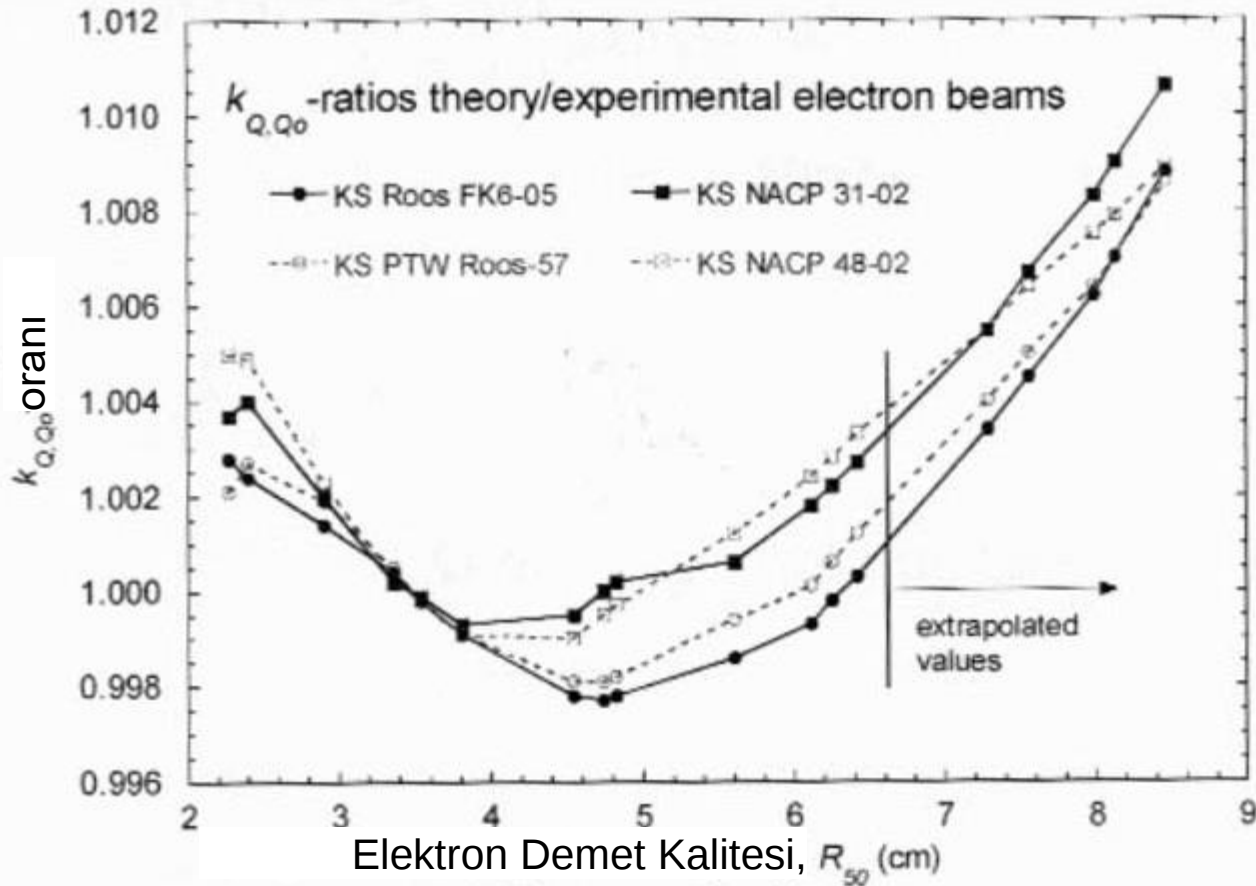
Elektron Demet Kalitesi, R_{50} (g/cm^2)

International Atomic Energy Agency



$k_{Q,Q_{int}}$

Elektron Demetleri için Teori / Deney Oranları



UYGULAMA

PSDL'lerin çoğu iyon odalarının suda soğurulan doz terimlerinde kalibrasyonlarını ^{60}Co gama ışınları ile çok azı da yüksek enerjili foton ve elektron demetleri yapar. Standart laboratuvara bağlı olarak kullanıcılara farklı opsiyonlara uygun kalibrasyonları sağlanır.



UYGULAMA

(a) Birinci yaklaşım kullanıcıya bir referans Q_0 demet kalitesinde (genellikle ^{60}Co) kalibrasyon faktörü sağlar. Özel demet kalitesi Q 'da bir özel iyon odası için doğrudan ölçülen demet kalitesi düzeltme faktörü ile birlikte sağlanır. Yalnız sayılı laboratuvarlar farklı demet kalitelerinde bu **kaliteler** için değerlerinin doğrudan ölçülebilmesini sağlayan radyasyon kaynaklarına ve standart işlemlere sahiptir. Bu yaklaşımın ana avantajı çeşitli demet tipleri ile ışınlanan su fantomunda bireysel iyon odası yanıtıdır.



UYGULAMA

(b) Bir alternatif yaklaşım Q demet kalitelerinde kullanıcı iyon odasının $N_{D,W,Q}$ kalibrasyonlarının bir serisini sağlar. Bütün kalibrasyon faktörleri in doğrudan ölçülen değerleri ile birlikte tek bir kalibrasyon faktörüne normalize edilir. Bir özel iyon odası için in doğrudan ölçülen değerleri bulunduğunda iyon odasını kullanıcı için bütün Q kalitelerinde tekrar kalibre etmek gerekmez. Fakat yalnız bir tek Q_0 referans kalitesinde gerekir. İyon odasının kalite bağımlılığı bütün kalitelerde kalibrasyon yapılarak daha az sıklıkla sağlanabilir. Daha da ileri olarak bu tek referans kalite kalibrasyonunun değerlerinin ölçüldüğü (genellikle PSDL) aynı laboratuvar olması gerekmez.



UYGULAMA

(c) Üçüncü yaklaşımda kalibrasyon faktörü en genel ^{60}Co referans demet kalitesinde iyon odası için sağlanır ve demet kalite düzeltme faktörleri diğer demet kaliteleri için teorik olarak türetilir. Bu yöntem verilen iyon odasının enerji ile yanıtının iyon odasından iyon odasına değişimini önemsemez. Ve imalatçının sağladığı iyon odası özelliklerine güvenir.



UYGULAMA

(d) Dördüncü yaklaşım bazı standart laboratuvarlarda görülür. Verilen bir iyon odası için ölçülen bir tek $N_{D,wQ0}$ ölçülerek sağlanır. Cinsi ile seçilen bir referans kalitesinde iyon odası tipi için $k_{Q,Q0}$ deneysel değerleri bulunur. bu opsiyon verilen bir iyon odası tipinde iyon odasından iyon odasına değişimi hesap etmez. Bu yaklaşım c opsiyonundan daha geneldir. Eğer verilen bir iyon odası için teorik $k_{Q,Q0}$ değerleri standart laboratuvarlarda iyon odalarının geniş bir örneğinde sağlanırsa; $k_{Q,Q0}$ ' ın teorik değerleri ortalama bir değere uyar.



UYGULAMA

(a) veya onun eşdeğeri (b) tercih edilen alternatiflerdir. (c) yaklaşımı standart laboratuvarlarda çeşitli demet kalitelerinde doğrudan ölçülen ve değerlerine ulaşamayan kullanıcılara tavsiye edilir. Bu yaklaşım bugün en çok tercih edilen yaklaşımdır. Kullanılan teorik faktörleri (yani Q_0 olarak ^{60}Co 'ın kullanıldığı) denklem 4 veya 5'e göre belirlenir. (d) yaklaşımı, veya değerleri standart laboratuvarlarda iyon odalarının geniş bir örneğinden bulunursa ve iyon odasından iyon odasına farkların standart sapması küçük ise (c) yaklaşımına bir alternatiftir.

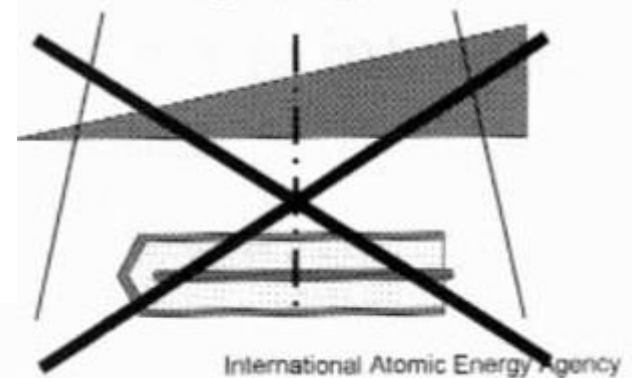
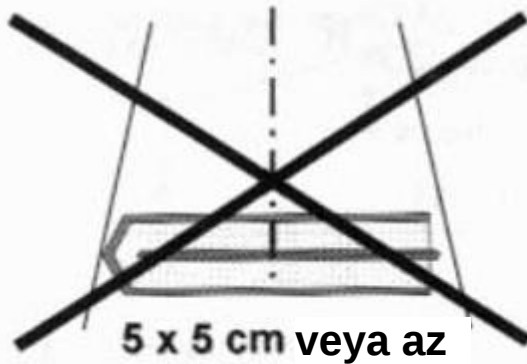


Referans Olmayan Koşullarda Ölçümler

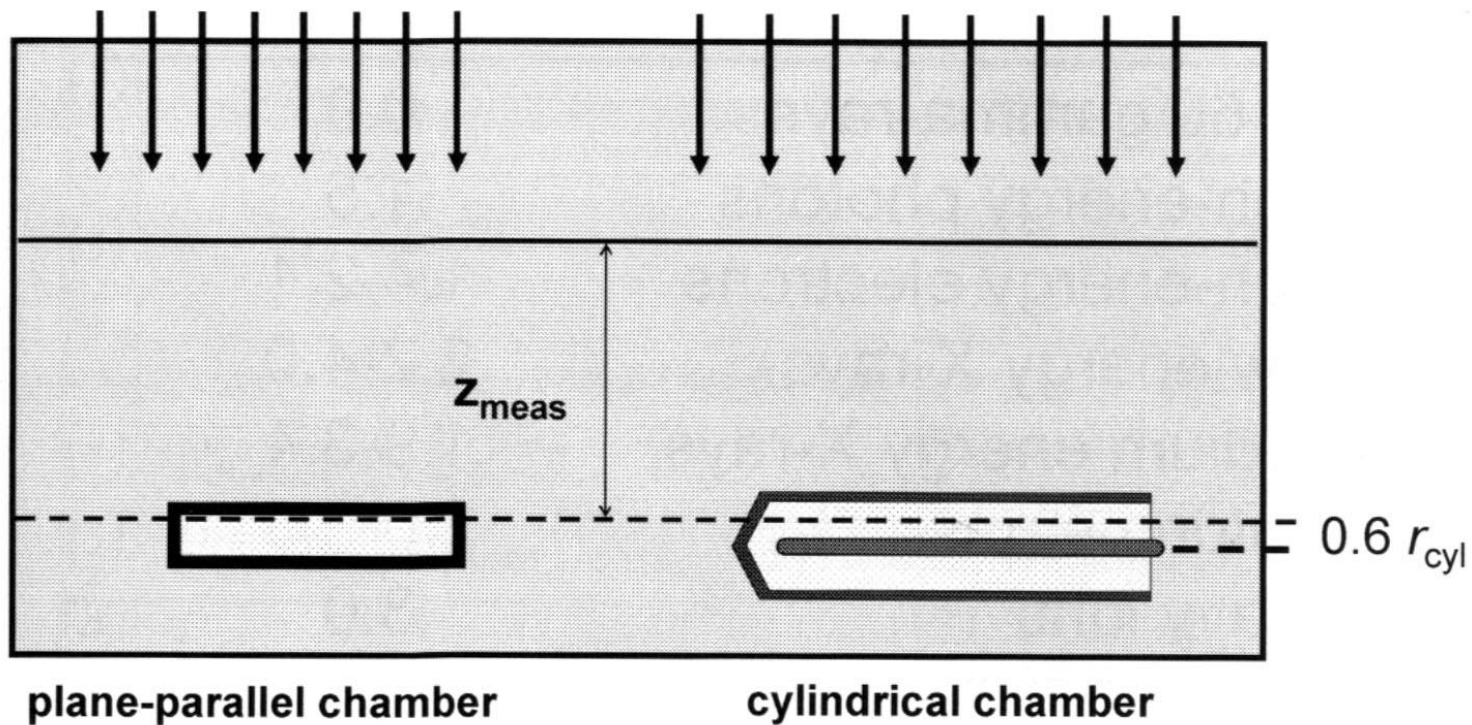
(Yüksek Enerjili Foton Demetleri)

Doz verimi Faktörleri

- Referans derinlikte yapılan ölçümler PDD (veya TMR) kullanılarak $d_{\max}$ 'a dönüştürülür.
- - ✓ Uniform olmayan küçük alanlarda iyon odası kavite hacmine,
 - ✓ Kama filtreli alanlarda iyon odası kavite yönlendirmesine, dikkat edilmelidir.



Central axis depth dose measurements (high energy photon beams)



D_w 'daki Standart Belirsizlikler

$u(N_{D,w}^{SSDL})=0.6$	SSDL k_Q^{hes}
Co-60 gama-ışını	0.9
Yüksek-enerji Fotonlar	1.5
Yüksek-enerji Elektronlar	1.4-2.1
Düşük-enerji X-ışınları	2.2-4.0
Orta -enerji X-ışınları	1.9-3.4
Proton Demetleri	2.0-2.3
Ağır İyonlar	3.0



$K_{\text{hava}}(^{60}\text{Co}$ için)'e dayanan önceki protokol ile karşılaştırma

- İyon odası tipine bağlı olarak D_w 'da % mertebesinde fark vardır.
- En olası sebepler
 1. Düzeltme faktörleri için $N_{D,\text{hava}}$ formalizminde yanlışlıklar (denkl., k_m , p_{duvar} , v.b.)
 2. N_k ve $N_{D,w}$ kalibrasyonlarının takip edilebilirliği ile ilgili primer standartlar.



Steps in the determination of D_w at the reference point using the N_K - $N_{D,air}$ formalism and the $N_{D,w}$ -formalism

(1)	K_{air,Q_0}	D_{w,Q_0}
(2)	$N_{K,Q_0} = \frac{K_{air,Q_0}}{M_{Q_0}}$	$N_{D,w,Q_0} = \frac{D_{w,Q_0}}{M_{Q_0}}$
(3)	$N_{D,air,Q_0} = \frac{\bar{D}_{air,Q_0}}{M_{Q_0}}$ $= N_{K,Q_0} (1 - g) k_{att} k_m k_{cel}$	
(4)	$N_{D,air,Q} = N_{D,air,Q_0}$	
(5)	$D_{w,Q} = \bar{D}_{air,Q} (s_{w,air})_Q p_Q$	
(6)	$D_{w,Q} = M_Q N_{D,air} (s_{w,air})_Q p_Q$	$D_{w,Q} = M_Q N_{D,w,Q_0} k_Q$



Hesaplanmış N_{D,w,Q_0} 'ın Kullanımı

$$N_{D,w,Q_0} = N_{D,air} (s_{w,air})_{Q_0} P_{Q_0}$$

$$N_{D,air} = N_K (1 - g) k_{all} k_m k_{cel}$$

$$P_{Q_0} = P_{cav} P_{dis} P_{wall} P_{cel}$$

Hesaplanmış $N_{D,w}$ bir kalibrasyon faktörü değildir ve standart laboratuvar ile tayin edilen gerçek $N_{D,w}$ 'dan yaklaşık %1 fark gösterebilir.



TABLE 14. CALCULATED VALUES OF k_Q FOR HIGH ENERGY PHOTON BEAMS FOR VARIOUS CYLINDRICAL IONIZATION CHAMBERS AS A FUNCTION OF BEAM QUALITY TPR_{20,10} (adapted from Andreo [20])

Ionization chamber type ^a	Beam quality TPR _{20,10}														
	0.50	0.53	0.56	0.59	0.62	0.65	0.68	0.70	0.72	0.74	0.76	0.78	0.80	0.82	0.84
Capintec PR-05P mini	1.004	1.003	1.002	1.001	1.000	0.998	0.996	0.994	0.991	0.987	0.983	0.975	0.968	0.960	0.949
Capintec PR-05 mini	1.004	1.003	1.002	1.001	1.000	0.998	0.996	0.994	0.991	0.987	0.983	0.975	0.968	0.960	0.949
Capintec PR-06C/G Farmer	1.001	1.001	1.000	0.998	0.998	0.995	0.992	0.990	0.988	0.984	0.980	0.972	0.965	0.956	0.944
Exradin A2 Spokas	1.001	1.001	1.001	1.000	0.999	0.997	0.996	0.994	0.992	0.989	0.986	0.979	0.971	0.962	0.949
Exradin T2 Spokas	1.002	1.001	0.999	0.996	0.993	0.988	0.984	0.980	0.977	0.973	0.969	0.962	0.954	0.946	0.934
Exradin A1 mini Shonka	1.002	1.002	1.001	1.000	1.000	0.998	0.996	0.994	0.991	0.986	0.982	0.974	0.966	0.957	0.945
Exradin T1 mini Shonka	1.003	1.001	0.999	0.996	0.993	0.988	0.984	0.980	0.975	0.970	0.965	0.957	0.949	0.942	0.930
Exradin A12 Farmer	1.001	1.001	1.000	1.000	0.999	0.997	0.994	0.992	0.990	0.986	0.981	0.974	0.966	0.957	0.944
Far West Tech. IC-18	1.005	1.003	1.000	0.997	0.993	0.988	0.983	0.979	0.976	0.971	0.966	0.959	0.953	0.945	0.934
FZH TK 01	1.002	1.001	1.000	0.998	0.996	0.993	0.990	0.987	0.984	0.980	0.975	0.968	0.960	0.952	0.939
Nuclear Assoc. 30-750	1.001	1.001	1.000	0.999	0.998	0.996	0.994	0.991	0.988	0.984	0.979	0.971	0.963	0.954	0.941
Nuclear Assoc. 30-749	1.001	1.000	1.000	0.999	0.998	0.996	0.994	0.992	0.989	0.984	0.980	0.972	0.964	0.956	0.942
Nuclear Assoc. 30-744	1.001	1.000	1.000	0.999	0.998	0.996	0.994	0.992	0.989	0.984	0.980	0.972	0.964	0.956	0.942
Nuclear Assoc. 30-716	1.001	1.000	1.000	0.999	0.998	0.996	0.994	0.992	0.989	0.984	0.980	0.972	0.964	0.956	0.942
Nuclear Assoc. 30-753	1.001	1.000	1.000	0.999	0.998	0.996	0.994	0.992	0.989	0.985	0.980	0.973	0.965	0.956	0.943
Farmer shortened															
Nuclear Assoc. 30-751 Farmer	1.002	1.002	1.000	0.999	0.997	0.994	0.991	0.989	0.985	0.981	0.977	0.969	0.961	0.953	0.940
Nuclear Assoc. 30-752 Farmer	1.004	1.003	1.001	1.000	0.998	0.996	0.993	0.991	0.989	0.985	0.981	0.974	0.967	0.959	0.947

TABLE 14. (cont.)

Victoreen	1.005	1.003	1.000	0.997	0.995	0.990	0.986	0.983	0.979	0.975	0.970	0.963	0.956	0.949	0.938
Radocon II 555															
Victoreen 30-348	1.004	1.003	1.000	0.998	0.996	0.992	0.989	0.986	0.982	0.978	0.973	0.966	0.959	0.951	0.940
Victoreen 30-351	1.004	1.002	1.000	0.998	0.996	0.992	0.989	0.986	0.983	0.979	0.974	0.967	0.960	0.952	0.941
Victoreen 30-349	1.003	1.002	1.000	0.998	0.996	0.992	0.989	0.986	0.983	0.980	0.976	0.969	0.962	0.954	0.942
Victoreen 30-361	1.004	1.003	1.000	0.998	0.996	0.992	0.989	0.986	0.983	0.979	0.974	0.967	0.960	0.953	0.942
Scdx-Wellhöfer IC 05	1.001	1.000	1.000	0.999	0.998	0.996	0.994	0.992	0.989	0.984	0.980	0.972	0.964	0.956	0.942
Scdx-Wellhöfer IC 06	1.001	1.000	1.000	0.999	0.998	0.996	0.994	0.992	0.989	0.984	0.980	0.972	0.964	0.956	0.942
Scdx-Wellhöfer IC 10	1.001	1.000	1.000	0.999	0.998	0.996	0.994	0.992	0.989	0.984	0.980	0.972	0.964	0.956	0.942
Scdx-Wellhöfer IC 15	1.001	1.000	1.000	0.999	0.998	0.996	0.994	0.992	0.989	0.984	0.980	0.972	0.964	0.956	0.942
Scdx-Wellhöfer IC 25	1.001	1.000	1.000	0.999	0.998	0.996	0.994	0.992	0.989	0.984	0.980	0.972	0.964	0.956	0.942
Scdx-Wellhöfer IC 28	1.001	1.000	1.000	0.999	0.998	0.996	0.994	0.992	0.989	0.985	0.980	0.973	0.965	0.956	0.943
Farmer shortened															
Scdx-Wellhöfer															
IC 69 Farmer	1.002	1.002	1.000	0.999	0.997	0.994	0.991	0.989	0.985	0.981	0.977	0.969	0.961	0.953	0.940
Scdx-Wellhöfer															
IC 70 Farmer	1.004	1.003	1.001	1.000	0.998	0.996	0.993	0.991	0.988	0.985	0.981	0.974	0.967	0.959	0.946

^a Some of the chambers listed in this table fail to meet some of the minimum requirements described in Section 4.2.1. However, they have been included because of their current clinical use.

TABLE 18. CALCULATED VALUES FOR k_Q FOR ELECTRON BEAMS, FOR VARIOUS CHAMBER TYPES CALIBRATED IN ^{60}Co GAMMA RADIATION, AS A FUNCTION OF BEAM QUALITY R_{50}

(the data are derived using values for stopping-power ratios and perturbation factors, as given in Appendix II)

Ionization chamber type ^a	Beam quality R_{50} (g/cm ²)																
	1.0	1.4	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	7.0	8.0	10.0	13.0	16.0	20.0
<i>Plane-parallel chambers</i>																	
Attix RMI 449	0.953	0.943	0.932	0.925	0.919	0.913	0.908	0.904	0.900	0.896	0.893	0.886	0.881	0.871	0.859	0.849	0.837
Capintec PS-033	—	—	0.921	0.920	0.919	0.918	0.917	0.916	0.915	0.913	0.912	0.908	0.905	0.898	0.887	0.877	0.866
Exradin P11	0.958	0.948	0.937	0.930	0.923	0.918	0.913	0.908	0.904	0.901	0.897	0.891	0.885	0.875	0.863	0.853	0.841
Holt (Memorial)	0.971	0.961	0.950	0.942	0.936	0.931	0.926	0.921	0.917	0.913	0.910	0.903	0.897	0.887	0.875	0.865	0.853
NACP / Calcam	0.952	0.942	0.931	0.924	0.918	0.912	0.908	0.903	0.899	0.895	0.892	0.886	0.880	0.870	0.858	0.848	0.836
Markus	—	—	0.925	0.920	0.916	0.913	0.910	0.907	0.904	0.901	0.899	0.894	0.889	0.881	0.870	0.860	0.849
Roos	0.965	0.955	0.944	0.937	0.931	0.925	0.920	0.916	0.912	0.908	0.904	0.898	0.892	0.882	0.870	0.860	0.848
<i>Cylindrical chambers</i>																	
Capintec PR06C (Farmer)	—	—	—	—	—	—	0.916	0.914	0.912	0.911	0.909	0.906	0.904	0.899	0.891	0.884	0.874
Exradin A2 (Spokas)	—	—	—	—	—	—	0.914	0.913	0.913	0.913	0.912	0.911	0.910	0.908	0.903	0.897	0.888
Exradin T2 (Spokas)	—	—	—	—	—	—	0.882	0.881	0.881	0.881	0.880	0.879	0.878	0.876	0.871	0.865	0.857
Exradin A12 (Farmer)	—	—	—	—	—	—	0.921	0.919	0.918	0.916	0.914	0.911	0.909	0.903	0.896	0.888	0.878
NE 2571 (Guarded Farmer)	—	—	—	—	—	—	0.918	0.916	0.915	0.913	0.911	0.909	0.906	0.901	0.893	0.886	0.876
NE 2581 (Robust Farmer)	—	—	—	—	—	—	0.899	0.898	0.896	0.894	0.893	0.890	0.888	0.882	0.875	0.868	0.859

TABLE 18. (cont.)

PTW 30001/30010 (Farmer)	—	—	—	—	—	—	0.911	0.909	0.907	0.905	0.904	0.901	0.898	0.893	0.885	0.877	0.868
PTW 30002/30011 (Farmer)	—	—	—	—	—	—	0.916	0.914	0.912	0.910	0.909	0.906	0.903	0.897	0.890	0.882	0.873
PTW 30004/30012 (Farmer)	—	—	—	—	—	—	0.920	0.918	0.916	0.915	0.913	0.910	0.907	0.902	0.894	0.887	0.877
PTW 31002/31003 (flexible)	—	—	—	—	—	—	0.912	0.910	0.908	0.906	0.905	0.901	0.898	0.893	0.885	0.877	0.867
Victoreen 30-348	—	—	—	—	—	—	0.910	0.908	0.906	0.903	0.902	0.898	0.895	0.888	0.880	0.872	0.862
Victoreen 30-351	—	—	—	—	—	—	0.906	0.904	0.902	0.901	0.899	0.896	0.893	0.888	0.880	0.873	0.864
Victoreen 30-349	—	—	—	—	—	—	0.899	0.898	0.897	0.896	0.895	0.893	0.891	0.888	0.881	0.875	0.866

^a Some of the chambers listed in this table fail to meet all of the minimum requirements described in Section 4.2.1. However, they have been included because of their current clinical use.

TABLE 19. CALCULATED VALUES FOR $k_{Q,Q_{int}}$ FOR VARIOUS CHAMBER TYPES CALIBRATED IN ELECTRON BEAMS, AS A FUNCTION OF BEAM QUALITY R_{50}
(the data are derived using values for stopping-power ratios and perturbation factors as given in Appendix II and taking the value $Q_{int} = 7.5 \text{ g/cm}^2$)

Ionization chamber type ^a	Beam quality R_{50} (g/cm ²)																
	1.0	1.4	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	7.0	8.0	10.0	13.0	16.0	20.0
<i>Plane-parallel chambers</i>																	
Attix RMI 449	1.078	1.068	1.055	1.047	1.040	1.034	1.028	1.023	1.019	1.014	1.010	1.003	0.997	0.986	0.972	0.961	0.948
Capintec PS-033	—	—	1.016	1.015	1.014	1.013	1.012	1.010	1.009	1.007	1.006	1.002	0.998	0.990	0.978	0.968	0.955
Exradin P11	1.078	1.068	1.055	1.047	1.040	1.034	1.028	1.023	1.019	1.014	1.010	1.003	0.997	0.986	0.972	0.961	0.948
Holt (Memorial)	1.078	1.068	1.055	1.047	1.040	1.034	1.028	1.023	1.019	1.014	1.010	1.003	0.997	0.986	0.972	0.961	0.948
NACP/Calcam	1.078	1.068	1.055	1.047	1.040	1.034	1.028	1.023	1.019	1.014	1.010	1.003	0.997	0.986	0.972	0.961	0.948
Markus	—	—	1.038	1.032	1.028	1.024	1.020	1.017	1.014	1.011	1.008	1.003	0.997	0.988	0.976	0.965	0.952
Roos	1.078	1.068	1.055	1.047	1.040	1.034	1.028	1.023	1.019	1.014	1.010	1.003	0.997	0.986	0.972	0.961	0.948
<i>Cylindrical chambers</i>																	
Capintec PR06C (Farmer)	—	—	—	—	—	—	1.012	1.010	1.008	1.006	1.005	1.001	0.999	0.993	0.984	0.976	0.966
Exradin A2 (Spokas)	—	—	—	—	—	—	1.003	1.003	1.002	1.002	1.002	1.001	0.999	0.996	0.991	0.984	0.975
Exradin T2 (Spokas)	—	—	—	—	—	—	1.003	1.003	1.002	1.002	1.002	1.001	0.999	0.996	0.991	0.984	0.975
Exradin A12 (Farmer)	—	—	—	—	—	—	1.012	1.010	1.008	1.006	1.005	1.002	0.998	0.993	0.984	0.976	0.965
NE 2571 (Guarded Farmer)	—	—	—	—	—	—	1.012	1.010	1.008	1.006	1.005	1.001	0.999	0.993	0.984	0.976	0.966

TABLE 19. (cont.)

NE 2581	—	—	—	—	—	—	1.012	1.010	1.008	1.006	1.005	1.001	0.999	0.993	0.984	0.976	0.966
(Robust Farmer)																	
PTW 30001/30010	—	—	—	—	—	—	1.013	1.010	1.008	1.007	1.005	1.002	0.998	0.992	0.984	0.976	0.965
(Farmer)																	
PTW 30002/30011	—	—	—	—	—	—	1.013	1.010	1.008	1.007	1.005	1.002	0.998	0.992	0.984	0.976	0.965
(Farmer)																	
PTW 30004/30012	—	—	—	—	—	—	1.013	1.010	1.008	1.007	1.005	1.002	0.998	0.992	0.984	0.976	0.965
(Farmer)																	
PTW 31002/31003	—	—	—	—	—	—	1.014	1.011	1.009	1.007	1.005	1.002	0.998	0.992	0.983	0.974	0.964
(flexible)																	
Victoreen 30-348	—	—	—	—	—	—	1.015	1.013	1.010	1.008	1.006	1.002	0.998	0.991	0.982	0.973	0.962
Victoreen 30-351	—	—	—	—	—	—	1.013	1.010	1.008	1.007	1.005	1.002	0.998	0.992	0.984	0.976	0.965
Victoreen 30-349	—	—	—	—	—	—	1.008	1.006	1.005	1.004	1.003	1.001	0.999	0.995	0.988	0.980	0.971

^a Some of the chambers listed in this table fail to meet all of the minimum requirements described in Section 4.2.1. However, they have been included because of their current clinical use.

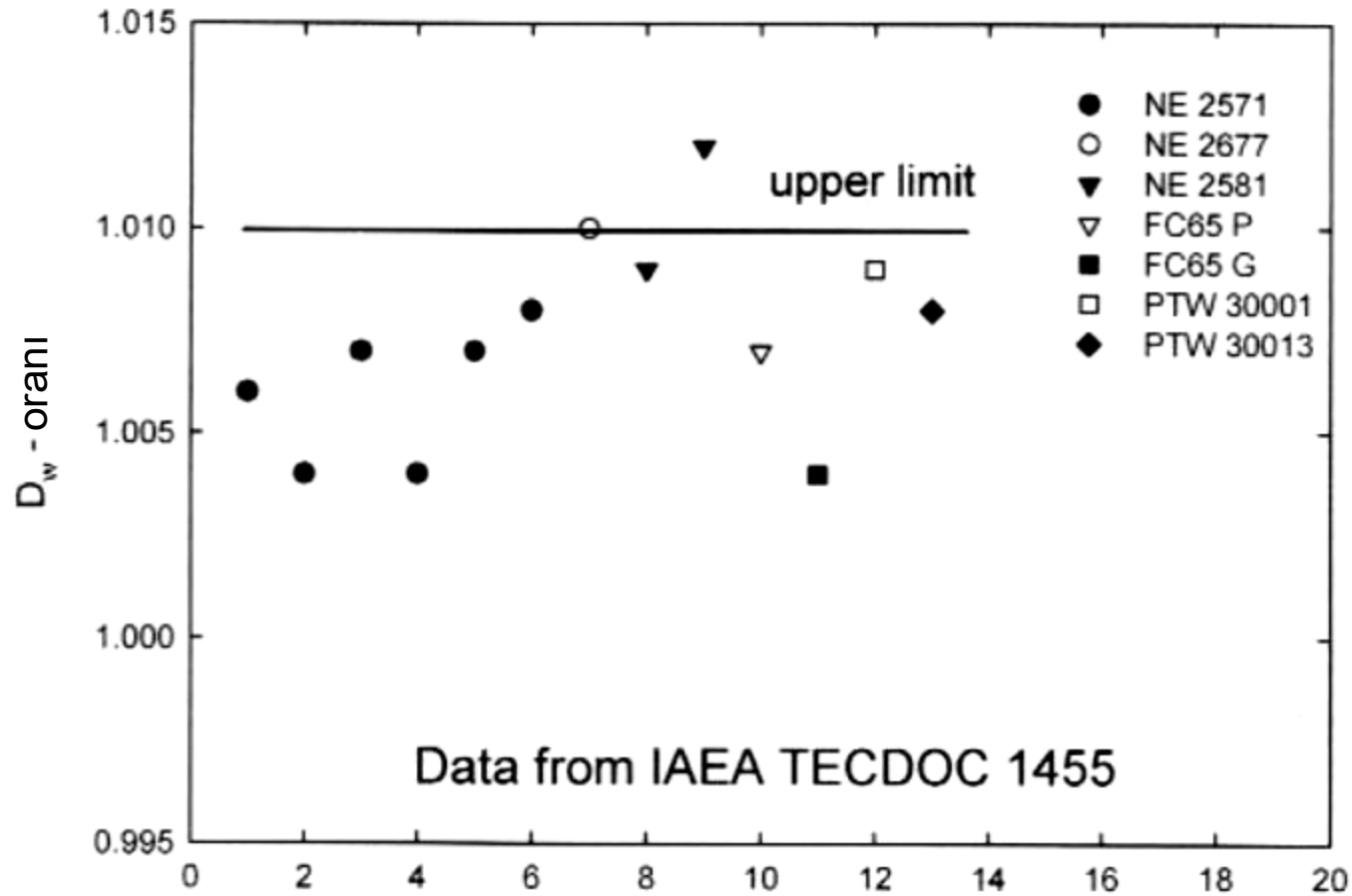
TABLE 20. SPENCER-ATTIX STOPPING-POWER RATIOS ($\Delta = 10$ keV) WATER TO AIR ($s_{w,air}$) FOR ELECTRON BEAMS, AS A FUNCTION OF BEAM QUALITY R_{50} AND RELATIVE DEPTH z/R_{50} IN WATER
(the data are derived using Eq. (66) in Appendix II [91])

	Beam quality R_{50} (g/cm ²)																
	1.0	1.4	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	7.0	8.0	10.0	13.0	16.0	20.0
z_{ref} (g/cm ²):	0.5	0.7	1.1	1.4	1.7	2.0	2.3	2.6	2.9	3.2	3.5	4.1	4.7	5.9	7.7	9.5	11.9
$s_{w,air}(z_{ref})$:	1.102	1.090	1.078	1.070	1.064	1.058	1.053	1.048	1.044	1.040	1.036	1.029	1.022	1.010	0.995	0.983	0.970
Relative depth in water z/R_{50}																	
0.02	1.076	1.060	1.042	1.030	1.020	1.012	1.004	0.997	0.991	0.986	0.980	0.971	0.963	0.950	0.935	0.924	0.914
0.05	1.078	1.061	1.044	1.032	1.022	1.014	1.006	1.000	0.994	0.988	0.983	0.974	0.965	0.952	0.937	0.926	0.916
0.10	1.080	1.064	1.047	1.036	1.026	1.018	1.010	1.004	0.998	0.992	0.987	0.978	0.970	0.957	0.942	0.931	0.920
0.15	1.083	1.067	1.050	1.039	1.030	1.022	1.014	1.008	1.002	0.997	0.992	0.983	0.975	0.961	0.946	0.935	0.924
0.20	1.085	1.070	1.053	1.043	1.034	1.026	1.019	1.012	1.006	1.001	0.996	0.987	0.979	0.966	0.951	0.940	0.929
0.25	1.088	1.073	1.057	1.046	1.037	1.030	1.023	1.017	1.011	1.006	1.001	0.992	0.984	0.971	0.956	0.945	0.933
0.30	1.091	1.076	1.060	1.050	1.041	1.034	1.027	1.021	1.016	1.010	1.006	0.997	0.989	0.976	0.961	0.950	0.938
0.35	1.093	1.079	1.064	1.054	1.045	1.038	1.032	1.026	1.020	1.015	1.011	1.002	0.995	0.982	0.966	0.955	0.943
0.40	1.096	1.082	1.067	1.058	1.049	1.042	1.036	1.030	1.025	1.020	1.016	1.007	1.000	0.987	0.972	0.960	0.948
0.45	1.099	1.085	1.071	1.062	1.054	1.047	1.041	1.035	1.030	1.025	1.021	1.013	1.006	0.993	0.978	0.966	0.953
0.50	1.102	1.089	1.075	1.066	1.058	1.051	1.046	1.040	1.035	1.031	1.027	1.019	1.012	0.999	0.984	0.971	0.959
0.55	1.105	1.092	1.078	1.070	1.062	1.056	1.051	1.045	1.041	1.036	1.032	1.025	1.018	1.005	0.990	0.977	0.964
0.60	1.108	1.095	1.082	1.074	1.067	1.061	1.056	1.051	1.046	1.042	1.038	1.031	1.024	1.012	0.996	0.984	0.970
0.65	1.111	1.099	1.086	1.078	1.072	1.066	1.061	1.056	1.052	1.048	1.044	1.037	1.030	1.018	1.003	0.990	0.976
0.70	1.114	1.102	1.090	1.082	1.076	1.071	1.066	1.062	1.058	1.054	1.050	1.043	1.037	1.025	1.010	0.997	0.983
0.75	1.117	1.105	1.094	1.087	1.081	1.076	1.072	1.067	1.064	1.060	1.057	1.050	1.044	1.033	1.017	1.004	0.989

TABLE 20. (cont.)

0.80	1.120	1.109	1.098	1.091	1.086	1.081	1.077	1.073	1.070	1.066	1.063	1.057	1.051	1.040	1.025	1.012	0.996
0.85	1.123	1.112	1.102	1.096	1.091	1.087	1.083	1.080	1.076	1.073	1.070	1.064	1.059	1.048	1.033	1.019	1.004
0.90	1.126	1.116	1.107	1.101	1.096	1.092	1.089	1.086	1.083	1.080	1.077	1.072	1.067	1.056	1.041	1.028	1.011
0.95	1.129	1.120	1.111	1.106	1.102	1.098	1.095	1.092	1.090	1.087	1.085	1.080	1.075	1.065	1.050	1.036	1.019
1.00	1.132	1.124	1.115	1.111	1.107	1.104	1.101	1.099	1.097	1.095	1.092	1.088	1.083	1.074	1.059	1.045	1.028
1.05	1.136	1.127	1.120	1.116	1.113	1.110	1.108	1.106	1.104	1.102	1.100	1.096	1.092	1.083	1.069	1.055	1.037
1.10	1.139	1.131	1.125	1.121	1.118	1.116	1.115	1.113	1.112	1.110	1.109	1.105	1.102	1.093	1.079	1.065	1.046
1.15	1.142	1.135	1.129	1.126	1.124	1.123	1.122	1.120	1.119	1.118	1.117	1.114	1.111	1.104	1.090	1.075	1.056
1.20	1.146	1.139	1.134	1.132	1.130	1.129	1.129	1.128	1.128	1.127	1.126	1.124	1.121	1.115	1.101	1.086	1.066

^{60}Co Demeti için D_w TRS-398 karşı TRS-277



İyon Odası



K_{hava} 'a dayanan önceki protokol ile karşılaştırma (Yüksek Enerjili Fotonlar ve Elektronlar için)

$N_{D,w} / N_K$ 'den kaynaklanan %1'lik farka ek olarak

- Yüksek-enerji fotonlar

P_{eff} vs P_{displ} 'den başka değişiklik yoktur.

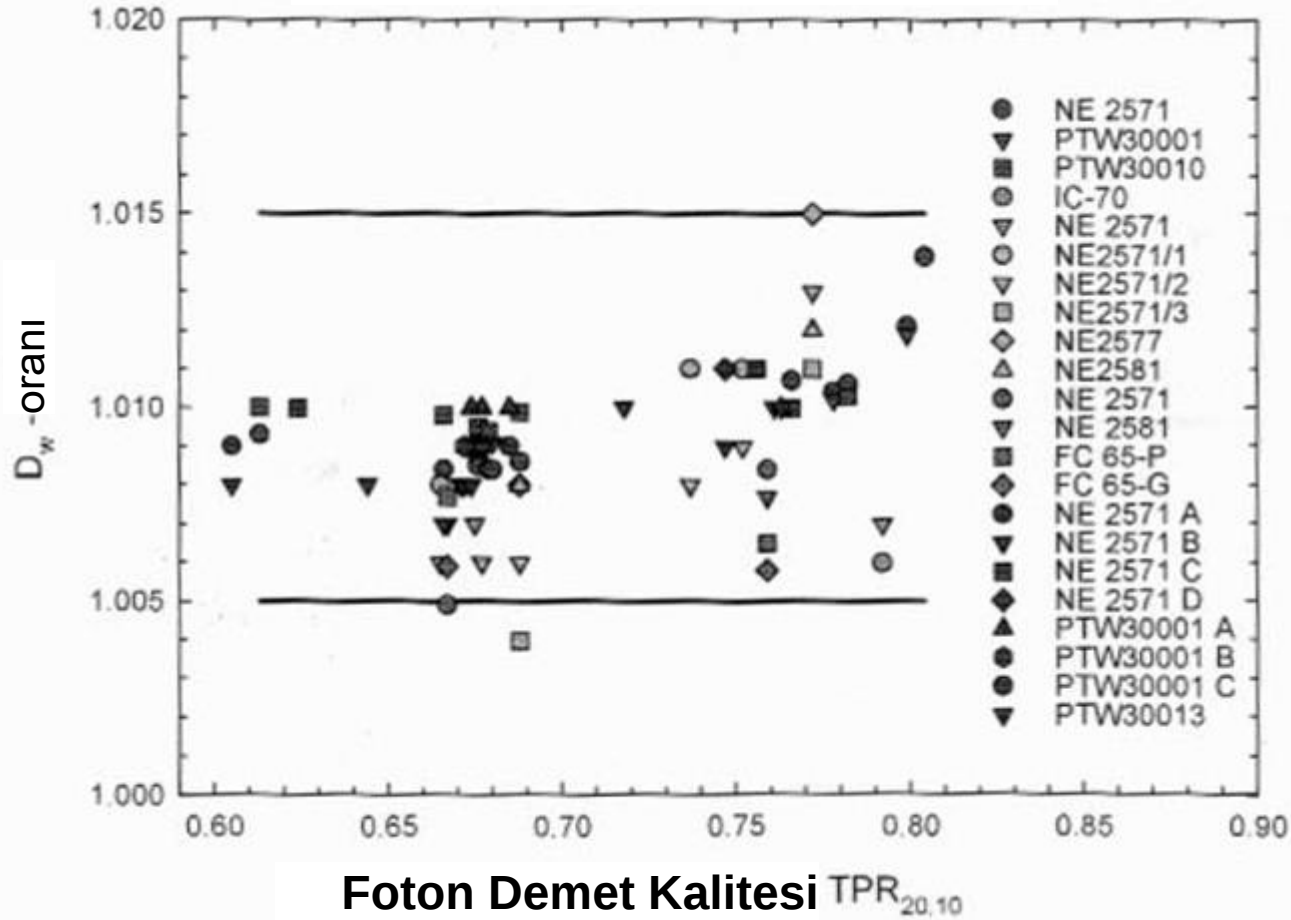
- Yüksek-enerji elektronlar

yaklaşık %0.5' lik beklenen değişiklikler

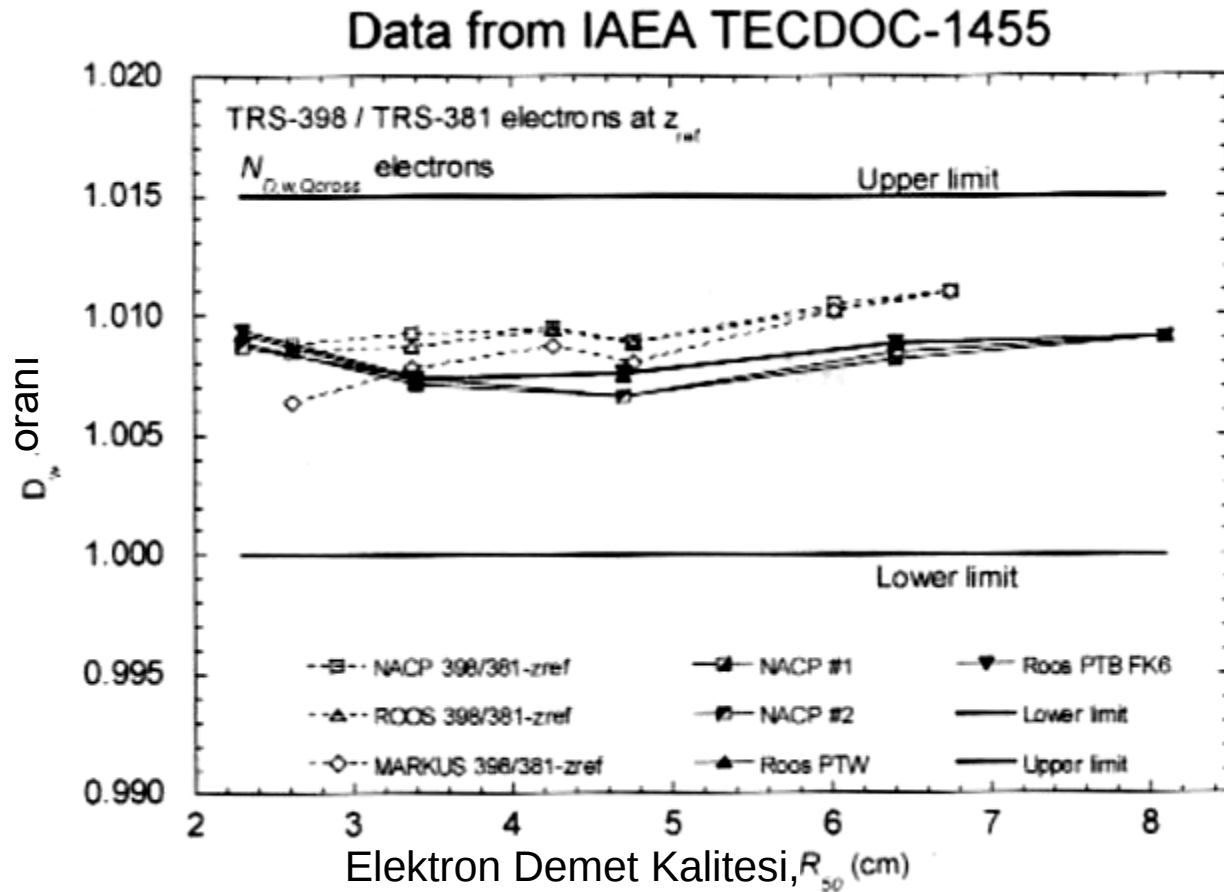


Yüksek Enerji Fotonlar için D_w TRS-398 karşı TRS-277

Data from IAEA TECDOC-1455



Elektron Demetleri (z_{ref}) için D_w TRS-398 karşı TRS-381



TRS-398 ve AAPM TG-51 Arası Karşılaştırma

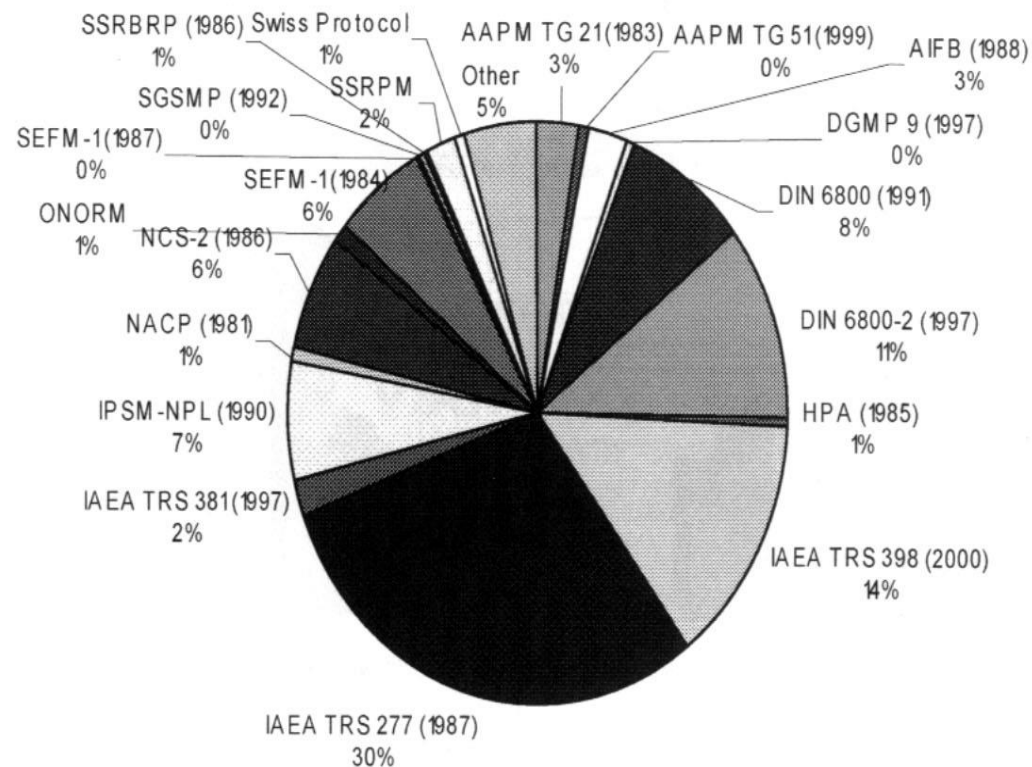
yüksek enerji fotonlar: $TPR_{20,10}$ karşı $\%dd(10)_x$

CoP $TPR_{20,10}$	TG51 $\%dd(10)_x$	ionization chamber	k_Q -ratio TG51/TRS398	D_w -ratio TG51/TRS398
0.68	67.7	PTW 30001	1.001	1.000
		NE 2571	1.002	1.000
0.80	83.5	PTW 30001	1.001	1.000
		NE 2571	1.002	1.001

data from P. Andreo



EQUAL-ESTRO: use of dosimetry codes of practice for photon beams

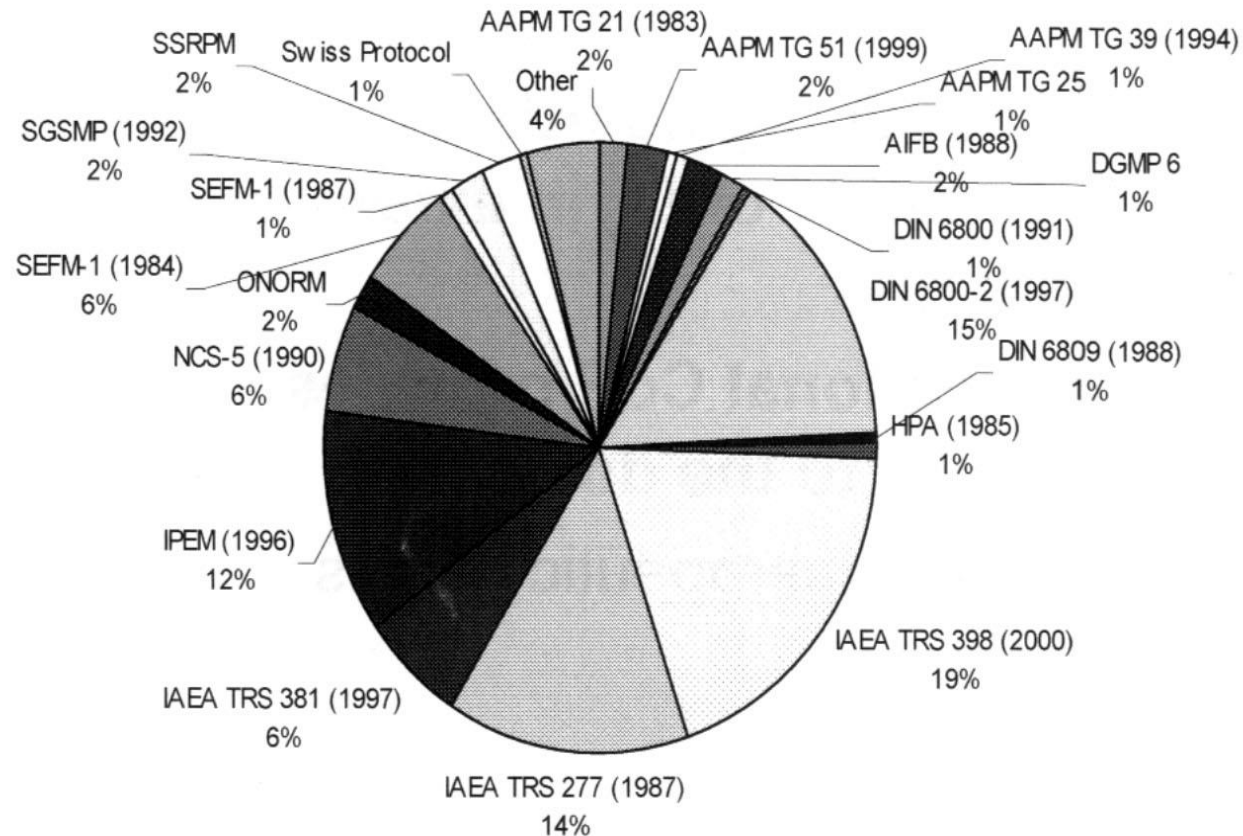


Courtesy A. Roue, EQUAL-ESTRO, status Mar-2005

International Atomic Energy Agency



EQUAL-ESTRO: use of dosimetry codes of practice for electron beams



Courtesy A. Roue, EQUAL-ESTRO

International Atomic Energy Agency



Suda soğurulan dozun belirlenmesi

- ✧ Warm-up etkisi : İyon odası ile ölçümler yapılmadan önce ölçüm sisteminin ısınması ve iyon odasının termal dengeye ulaşması için yeterli bir süre beklenmelidir.
- ✧ Sızıntı Akımı : Sızıntı akımı ölçülmelidir. Sızıntı akımı, gerçek ölçümler için bulunan akımlarla karşılaştırıldığında önemsiz olmalıdır.



Suda soğurulan dozun belirlenmesi

✧ Polarite Etkisi : İyon odasının polarite etkisi, özellikle paralel düzlem iyon odaları için kontrol edilmelidir ve Tablo I'de verilen limitler içinde bulunmalıdır. Bu etki, düşük enerjili elektronlar için büyük olabilir. Pratikte genellikle yalnız bir polarite kullanılır.

$$\text{☞ } M = \frac{|M_+| + |M_-|}{2}$$



Suda soğurulan dozun belirlenmesi

✧ **Sıcaklık ve Basınç** : İyon odaları, ölçümler esnasında iyon odasını çevreleyen hava kütlesine açıktır. İyon odasının kalibrasyon koşullarındaki oda sıcaklığı T_0 , basınç P_0 , ölçümler esnasındaki sıcaklık T ve hava basıncı P ise;

☞
$$P_{TP} = \frac{273.2 + T}{273.2 + T_0} \times \frac{P_0}{P}$$

✧ Genellikle, $T_0=20^\circ\text{C}$, $P_0=1013$ mbar (760 mm-Hg)'dir.



Suda soğurulan dozun belirlenmesi

Nem : Duvar materyali A-150 plastik veya naylon (Higroskopik materyal) olan iyon odaları dışındaki iyon odalarında nem, oda kavitesinde oluşan yük üzerinde küçük bir etkiye sahiptir. Eğer kalibrasyon faktörü %50 nemde ise, %20-%70 nem aralığında 15°C-25°C sıcaklık aralığında düzeltme gerekmez.

Kalibrasyon faktörü kuru havada ise ve ölçümler %20-%70 nem aralığında ve sıcaklık 15°C-25°C sıcaklık aralığında ise düzeltme faktörü ^{60}Co - demeti için $k_h = 0,997$ 'dir.



Suda soğurulan dozun belirlenmesi

✧ Tekrar Birleşme : İyonların tekrar birleşmesinden dolayı kavite hacminde toplanan yükün eksik etkisi bir düzeltme faktörü kullanımını gerektirir. Bu etki,

- İyon odası geometrisine,
- Uygulanan toplama voltajına,
- Radyasyonla yük oluşum hızına bağlıdır.

★ Pulsu radyasyonlarda özellikle taramalı demetler ile tekrar birleşme için düzeltme faktörü oldukça önemli olur. Diğer yandan sürekli radyasyon (γ -ışınları) için etki, genellikle çok küçüktür.



TABLE VIII. QUADRATIC FIT COEFFICIENTS FOR PULSED RADIATION AS A FUNCTION OF THE VOLTAGE RATIO V_1/V_2

These coefficients are used to calculate p_s by the two-voltage technique using $p_s = a_0 + a_1(Q_1/Q_2) + a_2(Q_1/Q_2)^2$. (From Weinhaus and Meli [74])

Voltage ratio	a_0	a_1	a_2
2.0	2.337	-3.636	2.299
2.5	1.474	-1.587	1.114
3.0	1.198	-0.8753	0.6773
3.5	1.080	-0.5421	0.4627
4.0	1.022	-0.3632	0.3413
5.0	0.9745	-0.1875	0.2135
6.0	0.9584	-0.1075	0.1495
8.0	0.9502	-0.03732	0.08750
10.0	0.9516	-0.01041	0.05909

TABLE IX. QUADRATIC FIT COEFFICIENTS FOR PULSED SCANNED RADIATION AS A FUNCTION OF VOLTAGE RATIO V_1/V_2

These coefficients are used to calculate p_s by the two-voltage technique using $p_s = a_0 + a_1(Q_1/Q_2) + a_2(Q_1/Q_2)^2$. (From Weinhaus and Meli [74])

Voltage ratio	a_0	a_1	a_2
2.0	4.711	-8.242	4.533
2.5	2.719	-3.977	2.261
3.0	2.001	-2.402	1.404
3.5	1.665	-1.647	0.9841
4.0	1.468	-1.200	0.7340
5.0	1.279	-0.7500	0.4741
6.0	1.177	-0.5081	0.3342
8.0	1.089	-0.2890	0.2020
10.0	1.052	-0.1896	0.1398

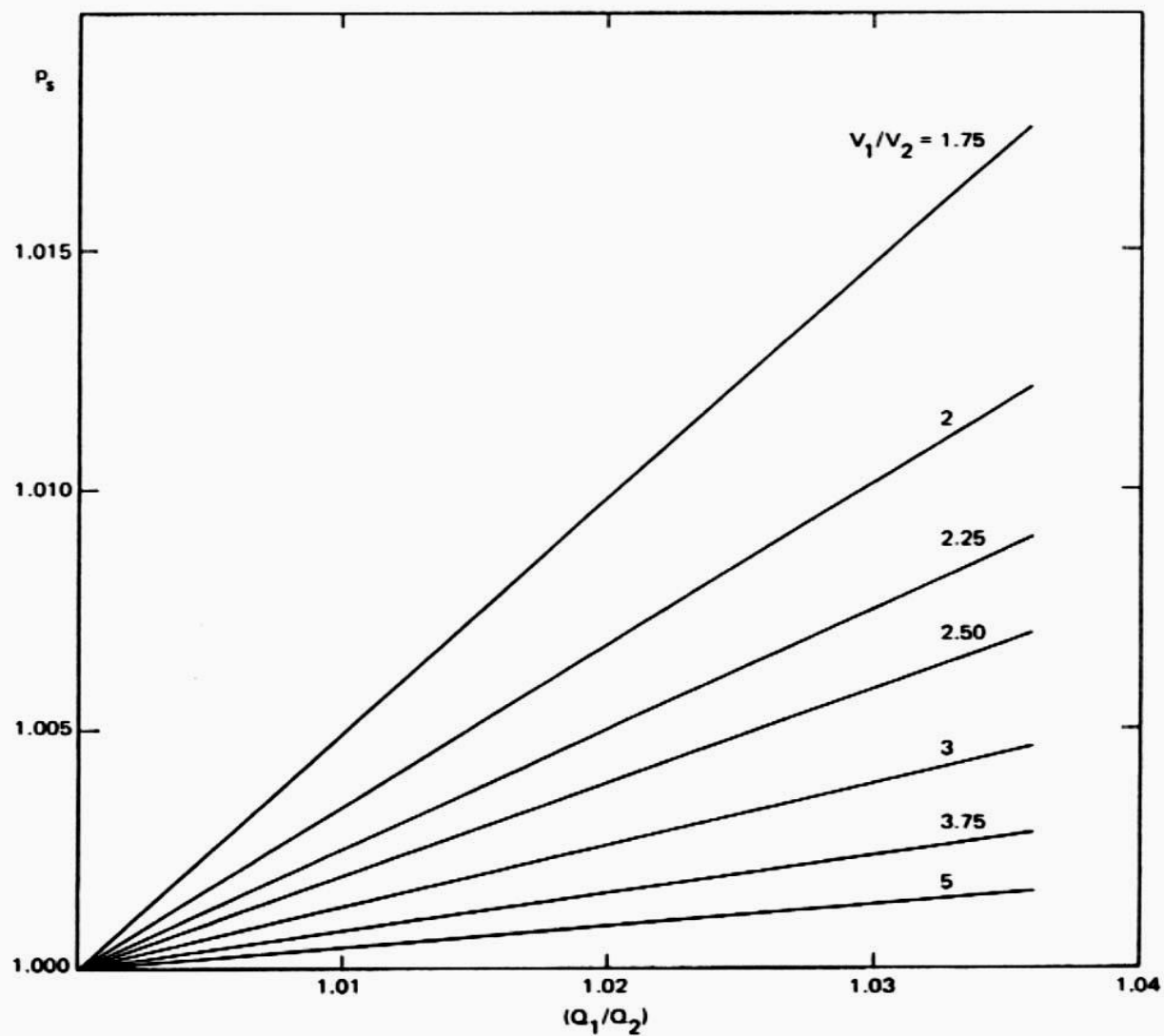


FIG. 13. The correction factor for recombination p_s in continuous radiation beams (from SEFM [9]). The 'two-voltage' method is used to determine the ratio of collected charges (or electrometer readings) Q_1/Q_2 (see text).

TRS-398

- $N_{D,W}$ formalizm temeline dayanır.
- Q_0 kalibrasyon kalitesinde

$$\text{☞ } D_{W,Q_0} = M_{Q_0} N_{D,W,Q_0}$$

- Diğer Q kullanıcı kalitesinde (fotonlar,elektronlar, ağır parçacıklar)

$$\text{☞ } D_{W,Q} = M_Q N_{D,W,Q_0} k_{Q,Q_0}$$



: Demet kalite faktörüdür.



Demet Kalite Faktörü

$$k_{Q, Q_o} = \frac{N_{D,w,Q}}{N_{D,w,Q_o}} = \frac{D_{w,Q} / M_Q}{D_{w,Q_o} / M_{Q_o}}$$

- Kullanıcı demet kalitesi ile aynı Q demet kalitesinde kullanıcı iyon odası için doğrudan ölçülmelidir.
- TRS 398'in ilk tavsiyesidir.
- Fakat bu tür ölçümler yalnız birkaç PSDL' de gerçekleştirilebilir.



k_{Q,Q_0} gerçek klinik demetler için ölçmek güç olduğundan birçok durumda düzeltme faktörleri teorik olarak hesaplanabilir. Burada Bragg-Gray teorisi uygulanabilir.

$$D_{W,Q} = MN_{D,W,Q_0} k_{Q,Q_0} \quad k_{Q,Q_0} = \frac{(S_{W,air})(W_{air})_Q P_Q}{(S_{W,air})(W_{air})_{Q_0} P_{Q_0}}$$

eşitliği ile IAEA'nın 277 ve 381 protokollerindeki $N_{D,air}$ formalizmi karşılaştırılarak için bir ifade türetilir.

için bir genel ifade

(4)

$$k_{Q,Q_0} = \frac{(S_{W,air})(W_{air})_Q P_Q}{(S_{W,air})(W_{air})_{Q_0} P_{Q_0}}$$

olarak verilir.



- Bütün yüksek enerjili demet tipleri için geçerlidir.
- Q ve Q_0 kalitelerinde Spencer-Attix (Su/Hava) durdurma gücü oranlarını ($S_{W,air}$)
- bir iyon çifti oluşturmak için harcanılacak ortalama enerjileri (W_{air}) ve
- P_Q pertürbasyon faktörlerini içerir.

P_Q ve P_{Q_0} ideal Bragg-Gray detektör koşullarından bütün ayrılımları içerir.

P_{Wall} , P_{cav} , P_{Cel} , ve P_{dis}



Terapötik elektron ve foton demetlerinde genellikle $(W_{air})_Q = (W_{air})_{Q_0}$ olduğu kabul edilir ve k_{Q,Q_0} daha basit bir eşitlik olur.

$$k_{Q,Q_0} \approx \frac{(S_{W,air})_Q}{(S_{W,air})_{Q_0}} \frac{P_Q}{P_{Q_0}} \quad (5)$$

Bu eşitlik Q ve Q_0 demet kalitelerinde yalnız sudan havaya durdurma–gücü oranları ve pertürbasyon faktörlerinin oranına bağlıdır.



$B^{\sigma} \Lambda B^{\sigma_0}$ petürbasyon düzeltme faktörleri yalnız iyon odasına özel faktörlerdir.

k_Q ve k_{Q_0} in deneysel ve teorik belirlenmesi için (4) tam eşitliği (5) yaklaşık eşitliğinden daha uygundur.

Bazı deneysel kanıtlar tarafından öne sürüldüğü gibi W_{air} 'in enerji ile değişimi olasıdır. Bu son ifadede bu nedenle yaklaşık sembolü $\approx$ kullanılır.



Elektron Demeti için Çapraz kalibrasyonlarla uyarlanmış k_{Q,Q_0}

^{60}Co Q_0 kalitesinde kalibre edilen dozimetreler elektron demetlerinde kullanılabilir.

Buna bir alternatif elektron demetlerinde iyon odalarının direkt kalibrasyonu yapılabilir. Bu tür kalibrasyonların yapılabilirliğinin sınırlı olması nedeniyle bu seçeneğin uygulaması zordur.

$$P_{Q_0} = [P_{dis}, P_{wall}, P_{caw}, P_{cell}]_{Q_0}$$

Elektron demetlerinde direkt kalibrasyonun yokluğunda tercih edilen üçüncü olanak Q_{cross} kalitesinde yüksek enerjili elektron demetinde kalibrasyonu yapılmış silindirik iyon odasına karşı bir paralel-düzlem iyon odasının çapraz kalibrasyonudur.

$k_{Q,Q_{cross}}$ faktörü Q kalitesinde elektron demeti içindir.



Elektron Demeti için Çapraz kalibrasyonlarla uyarlanmış k_{Q,Q_0}

Rastgele bir elektron demet kalitesi Q_{int} , çapraz kalibrasyon kalitesi Q_{cross} ve kullanıcı kalitesi Q arasında bir aracı rolü oynar. (Q_{int} de ölçümler yapılmaz Verilerin sunumunu kolaylaştıran bir araçtır). Gereken faktörü ve faktörlerinin oranından bulunabilir.

$$k_{Q,Q_{\text{cross}}} = \frac{k_{Q,Q_{\text{int}}}}{k_{Q_{\text{cross}},Q_{\text{int}}}}$$

faktörü, sonraki kalibrasyon faktörünü Q 'da düzeltir ve $D_{W,Q}$ için genel denklem (2) uygulanabilir.



Elektron Demeti için Çapraz kalibrasyonlarla uyarlanmış k_{Q,Q_0}

Q_{int} rastgeledir. Ve bu uygulama prensibinde $R_{50} = 7,5 \text{ g/cm}^2$ seçilmiştir. Burada R_{50} elektron demetlerinde kalite indeksidir.



Elektron Demeti için Çapraz kalibrasyonlarla uyarlanmış k_{Q,Q_0}

$k_{Q,Q_{int}}$ ve $k_{Q_{cross},Q_{int}}$ değerleri iyon odalarının bir serisi için Bölüm 7.6.1'de Tablo 19'da verilmiştir.

Tablo 19'daki datanın (verinin) diğer bir avantajı daha vardır. Verilen Q ve Q_{cross} için değerleri iyi muhafazalı (Well Guarded) paralel düzlem iyon odaları için aynıdır. Silindirik iyon odaları için iyon odasının r_{sil} yarıçapına bağlıdır. Q_{int} için seçilen değer silindirik iyon odaları için demet kalitelerinin range'i (aralığı) üzerinden farklı r_{sil} silindirik iyon odalarının farkını minimuma indirir. Bu değer Q_{int} ($R_{50}=7.5 \text{ g/cm}^2$)dir.



Elektron Demeti için Çapraz kalibrasyonlarla uyarlanmış k_{Q,Q_0}

Böylece Denklem 6'da kullanılan $k_{Q,Q_{int}}$ ve $k_{Q_{cross},Q_{int}}$ için değerleri ölçülen veya hesaplanan değerle uyumludur.



Elektron Demeti için Çapraz kalibrasyonlarla uyarlanmış k_{Q,Q_0}

N_k 'ye dayanan formalizm ile ilişki N_k - $N_{D,air}$ formalizmi ile $N_{D,W}$ formalizmi arasındaki bağıntı yüksek enerjili demetler için;

$$N_{D,W,Q_0} = N_{D,air} (S_{W,air})_{Q_0} P_{Q_0} \quad (7)$$

dir. Burada Q_0 referans demet kalitesi (önceki protokolde ^{60}Co γ ışınları idi) ve toplam pertürbasyon faktörüdür. Ve

$$P_{Q_0} = [P_{dis}, P_{wall}, P_{caw}, P_{cell}]_{Q_0} \quad (8)$$

ile verilir.



ÇALIŞMA KAĞIDI

^{60}Co γ -ışını Demetinde Suda Soğurulan Dozun Belirlenmesi

Kullanıcı:		Tarih:	
1. D_w 'nın Belirlenmesinde Radyasyon Tedavi Cihazı ve Referans Koşulları			
^{60}Co Tedavi Cihazı:.....			
Referans fantom:	su	Set-up:	☐ SSD ☐ SAD
Referans alan boyutu:	10x10 cmxcm	Referans mesafe:	cm
Referans derinlik z_{ref} :	 g/cm ²		

ÇALIŞMA KAĞIDI
 ^{60}Co γ -ışını Demetinde Suda Soğurulan Dozun Belirlenmesi

2. İyon Odası ve Elektrometre

İyon odası modeli:.....				Seri No:.....		Tipi: ☐ sil. ☐ pdüzlem	
İyon odası duvarı/pencere		Materyal:.....		Kalınlık:..... g/cm ²			
Su geçirmez kılıf/kaplama:		Materyal:.....		Kalınlık:..... g/cm ²			
Fantom penceresi		Materyal:.....		Kalınlık:..... g/cm ²			
Suda soğurulan doz kalibrasyon faktörü $N_{D,w}$: ☐ Gy/nC ☐ Gy/okuma							
Kalibrasyon referans koşulları		P_0 :	T_0 : °C		Relatif nem: %.....		
Polarizasyon potansiyeli		kPa V_1 :	Kalibrasyon polaritesi		☐ + ☐ - ☐ düzeltilmiş		
		.V	Kullanıcı polaritesi		☐ + ☐ -		
Kalibrasyon laboratuvarı:.....					Tarih:.....		
Elektrometre modeli:.....					Seri No:.....		
İyon odasından ayrı mı kalibre edilmiş?		☐ evet ☐ hayır			Set aralığı:.....		
Evet ise kalibrasyon laboratuvarı:.....					Tarih:.....		

ÇALIŞMA KAĞIDI

⁶⁰Co γ -ışını Demetinde Suda Soğurulan Dozun Belirlenmesi

3. Dozimetre okuması^a ve etkileyen nicelikler için düzeltme			
V ₁ 'de Düzeltilmemiş dozimetre okuması ve kullanıcı polaritesi:..... ☐			
nC ☐ okuma. Okuma süresi:..... dakika			
Dozimetreten Monitor Unit başına okuma ^b :	M ₁ :.....	☐ nC/dak ☐ okuma/dak	
(i) Basınç P: kPa	Sıcaklık T: $k_{TP} = (273.2 + T) \cdot P_0^{\circ C} / (273.2 + T_0) \cdot P =$	Rel. Nem (biliniyorsa):	
(ii) Elektrometre kalibrasyon faktörü ^c k _{elek} :	☐ nC/dg	☐	k _{elek} =
	boyutsu		
(iii) Polarite düzeltmesi ^d	+V ₁ 'de okuma z M ₊ =	-V ₁ 'de okuma M ₋ =	
$k_{pol} = (M_+ + M_-) / 2M =$			
(iv) Tekrar birleşme düzeltmesi (iki voltaj yöntemi)			
Polarizasyon voltajı:	V ₁ (normal) = V	V ₂ (azaltılmış) = V	
Herbir V 'deki okuma ^e :	M ₁ =	M ₂ =	
Voltaj oranı V ₁ /V ₂ =		Okumaların oranı M ₁ /M ₂ =	
$k_s = \{ (V_1 / V_2)^2 - 1 \} / \{ (V_1 / V_2) - (M_1 / M_2) \}$			
M ₂ voltajında düzeltilmiş dozimetre okuması:			
M = M ₁ / k _{TP} k _{elek} k _{pol} k _s = ☐ nC/dak ☐ okuma/dak			

ÇALIŞMA KAĞIDI

^{60}Co γ -ışını Demetinde Suda Soğurulan Dozun Belirlenmesi

4. z_{ref} referans derinlikde suda soğurulan doz hızı

$$D_w(z_{\text{ref}}) = M N_{D,w} = \dots\dots\dots \text{Gy/dak}$$

5. z_{maks} doz maksimum derinliğinde suda soğurulan doz hızı

$$\text{Doz maksimum derinliği } z_{\text{maks}} = 0.5 \text{ g/cm}^2$$

ÇALIŞMA KAĞIDI

^{60}Co γ -ışını Demetinde Suda Soğurulan Dozun Belirlenmesi

(i) SSD Set-up

10 cm x 10 cm alan büyüklüğü için z_{ref} derinliğinde derin doz yüzdesi

$\text{PDD}(z_{\text{ref}} = \dots\dots\dots \text{g/cm}^2) = \% \dots\dots\dots$

z_{maks} 'da kalibrasyon soğurulan doz hızı

$D_w(z_{\text{maks}}) = 100 D_w(z_{\text{ref}}) / \text{PDD}(z_{\text{ref}}) = \dots\dots\dots \text{Gy/dak}$

(ii) SAD Set-up

10 cm x 10 cm alan büyüklüğü için z_{ref} derinliğinde

$\text{TMR}(z_{\text{ref}} = \dots\dots\dots \text{g/cm}^2) = \% \dots\dots\dots$

z_{maks} 'da kalibrasyon soğurulan doz hızı

$D_w(z_{\text{maks}}) = D_w(z_{\text{ref}}) / \text{TMR}(z_{\text{ref}}) = \dots\dots\dots \text{Gy/dak}$

(a) Bütün okumalar sızıntı için kontrol edilmelidir ve gerekiyorsa düzeltilmelidir.

(b) Zamanlayıcı hatası hesaba katılmalıdır.

(c) Eğer elektrometre ayrı kalibre edilmemişse $k_{\text{elec}} = 1$.

(d) k_{pol} kullanıcı polaritesindeki okuma için kalibrasyon faktörünü ifade eder. Farklı polaritelerdeki M_+ ve M_- okumaları ile ortalama değer alınarak bulunmalıdır.

(e) Okumalar polarite etkileri için düzeltilmelidir.

ÇALIŞMA KAĞIDI

Yüksek Enerjili Foton Demetlerinde Suda Soğurulan Dozun Belirlenmesi

Kullanıcı: MEDİKAL FİZİK KURSU ANTALYA		Tarih:14.11.2007	
1. $D_{w,Q}$ 'nın Belirlenmesinde Radyasyon Tedavi Cihazı ve Referans Koşulları			
Hızlandırıcı: Clinac 2300 C/D..... Nominal doz hızı:.....300.....MU/dk		Nominal hızlandırma Potansiyeli:6..... MV Demet kalitesi, Q (TPR _{20,10}):.....0,668.....	
Referans fantom:	su	Set-up: ☐ SSD ☒ SAD	
Referans alan boyutu:	10x10 cmxcm	Referans mesafe:	100.....cm
Referans derinlik z_{ref} :	 g/cm ²		

ÇALIŞMA KAGIDI

Yüksek Enerjili Foton Demetlerinde Suda Soğurulan Dozun Belirlenmesi

2. İyon Odası ve Elektrometre

İyon odası modeli: ...NE 2571 Farmer		Seri No: 2	
İyon odası duvarı	Materyal: graphite.....	Kalınlık: ...0,065..... g/cm ²	
Su geçirmez kılıf:	Materyal: PMMA.....	Kalınlık: g/cm ²	
Fantom penceresi	Materyal:	Kalınlık: g/cm ²	
Suda soğurulan doz kalibrasyon faktörü N_{D,w,Q_0} : ...0,00952..... ☐ Gy/nC ☒ Gy/okuma Kalibrasyon kalitesi Q_0 ☒ Co-60 ☐ Foton Kalibrasyon derinliği: ...5..... g/cm ² Eğer Q_0 foton demeti ise $TPR_{20,10}$:			
Kalibrasyon referans koşulları	P_0 : 101,3...k	T_0 : ...20,0..... °C	Relatif nem: %.....
Polarizasyon potansiyeli	P_a V_1 : ...250.....	Kalibrasyon polaritesi	☐ + ☒ - ☒ düzeltilmiş
	V	Kullanıcı polaritesi	☐ + ☒ -
Kalibrasyon laboratuvarı:			Tarih:
Elektrometre modeli:Farmer.....			Seri No: ...2.....
İyon odasından ayrı mı kalibre edilmiş?	☐ evet ☒ hayır		Set aralığı:
Evet ise kalibrasyon laboratuvarı:			Tarih:

ÇALIŞMA KAGIDI

Yüksek Enerjili Foton Demetlerinde Suda Soğurulan Dozun Belirlenmesi

3.Dozimetre okuması ^b ve etkileyen nicelikler için düzeltme			
V ₁ ' de Düzeltilmemiş dozimetre okuması ve kullanıcı polaritesi:.....210,31..... ☐ nC ☒ okuma			
Okumadaki Monitor Unit sayısı:..... MU			
Dozimetreten Monitor Unit başına okuma:	M ₁ :...1,0516.	☐ nC/MU ☒ okuma/MU	
(i) Basınç P: 101,0..... kPa	Sıcaklık T: ..20,3..... °C	Rel. Nem (biliniyorsa): %50	
		$k_{TP} = (273.2 + T) P_0 / (273.2 + T_0) P = 1,004$	
(ii)Elektrometre kalibrasyon faktörü ^c k _{elek} :	☐ nC/okuma	☐ boyutsuz	k _{elek} =
(iii)Polarite düzeltmesi ^d	+V ₁ 'de okuma M ₊ = 210,82.....	-V ₁ 'de okuma M ₋ = ...210,31.....	
		$k_{pol} = M_+ + M_- / 2M = ..1,001.....$	
(iv)Tekrar birleşme düzeltmesi (iki voltaj yöntemi)			
Polarizasyon voltajı:	V ₁ (normal)=.....250.....V	V ₂ (azaltılmış)=...62,5.....V	
Herbir V'deki okuma ^e :	M ₁ = ...210,31.....	M ₂ =206,78.....	
Voltaj oranı V ₁ /V ₂ =4,0000.....		Okumaların oranı M ₁ /M ₂ =1,017.....	

ÇALIŞMA KAĞIDI

Yüksek Enerjili Foton Demetlerinde Suda Soğurulan Dozun Belirlenmesi

Tablo 9'un kullanıldığı demet tipi: ☒ puls ☐ puls taramalı		
$a_0 = ..1,0220....$	$a_1 = ..-0,3632....$	$a_2 =0,3413$
$k_s = a_0 + a_1(M_1/M_2) + a_2(M_1/M_2)^2 = ..1,006.g.h$		
V ₁ voltajında düzeltilmiş dozimetre okuması:		
$M_Q = M_1 k_{TP} k_{elec} k_{pol} k_s =1,0633E+00.....$ ☐ nC/MU ☒ okuma/MU		
4. z_{ref} referans derinlikde suda soğurulan doz		
Q kullanıcı kalitesi için demet kalite düzeltme faktörü $k_{Q,Q_0} =0,9938.....$ ☒ Tablo 14 ☐ Diğerleri		
$D_{w,Q}(z_{ref}) = M_Q N_{D,w,Q_0} k_{Q,Q_0} =1,0060E-02.....Gy/MU$		
5. z_{maks} doz maksimum derinliğinde suda soğurulan doz hızı		
Doz maksimum derinliği $z_{maks} =g/cm^2$		

ÇALIŞMA KAGIDI

Yüksek Enerjili Foton Demetlerinde Suda Soğurulan Dozun Belirlenmesi

(i) SSD Set-up

10 cm x 10 cm alan büyüklüğü için z_{ref} derinliğinde derin doz yüzdesi

$PDD(z_{ref} = \dots\dots 10 \dots\dots \text{g/cm}^2) = \% \dots\dots\dots$

z_{maks} 'da kalibrasyon soğurulan doz hızı

$D_{w,Q}(z_{ref}) = 100 D_{w,Q}(z_{ref}) / PDD(z_{ref}) = \dots\dots\dots \text{Gy/MU}$

(ii) SAD Set-up

10 cm x 10 cm alan büyüklüğü için z_{ref} derinliğinde

$TMR(z_{ref} = \dots\dots 10 \dots\dots \text{g/cm}^2) = \% \dots\dots\dots$

z_{maks} 'da kalibrasyon soğurulan doz hızı

$D_{w,Q}(z_{maks}) = D_{w,Q}(z_{ref}) / TMR(z_{ref}) = \dots\dots\dots \text{Gy/MU}$

(a) Eğer Q_0 ^{60}Co ise N_{D,w,Q_0} ifadesi $N_{D,w}$ olur.

(b) Bütün okumalar sızıntı için kontrol edilmelidir ve gerekiyorsa düzeltilmelidir.

(c) Eğer elektrometre ayrı kalibre edilmemişse $k_{elec} = 1$.

(d) k_{pol} kullanıcı polaritesindeki okuma için kalibrasyon faktörünü ifade eder. Farklı polaritelerdeki M_+ ve M_- okumaları ile ortalama değer alınarak bulunmalıdır.

Okumalar polarite etkileri için düzeltilmelidir.

ÇALIŞMA KAGIDI

Yüksek Enerjili Elektron Demetlerinde Suda Soğurulan Dozun Belirlenmesi

Kullanıcı: MEDİKAL FİZİK KURSU ANTALYA		Tarih:14.11.2007	
1. $D_{w,Q}$ 'nın Belirlenmesinde Radyasyon Tedavi Cihazı ve Referans Koşulları			
Hızlandırıcı: Clinac 2300 C/D.....		Nominal Enerji:18,000..... MeV	
Nominal doz hızı:..300.....MU/dk		Ölçülen R_{50} :.....7,488..... g/cm ²	
Referans fantom:	☒ su ☐ plastik	Nereden bulunduğu ☐ İyonizasyon ☒ Doz eğrileri	
Referans alan boyutu:	 cmxcm	Referans mesafe:	100 cm
Demet kalitesi, $Q(R_{50,w})$:..7,488..... g/cm ²		Referans derinlik $z_{ref,w}=0.6R_{50}-0.1$:...4,4.. g/cm ²	

ÇALIŞMA KAĞIDI

Yüksek Enerjili Elektron Demetlerinde Suda Soğurulan Dozun Belirlenmesi

2.İyon Odası ve Elektrometre

İyon odası
modeli:.....Markus.....

Seri No:....1.....

Tipi: ☐ sil. ☒ pdüzlem

İyon odası duvarı/pencere

Materyal:..Polyethylene.....
.....

Kalınlık:.....0,1020..... g/cm²

Su geçirmez kılıf/kaplama:

Materyal:.....
.....

Kalınlık:..... g/cm²

Fantom penceresi

Materyal:.....
.....

Kalınlık:..... g/cm²

ÇALIŞMA KAĞIDI

Yüksek Enerjili Elektron Demetlerinde Suda Soğurulan Dozun Belirlenmesi

Suda soğurulan doz kalibrasyon faktörü ^a N_{D,w,Q_0} :...0,4781..... ☒ Gy/nC ☐ Gy/okuma			
Kalibrasyon kalitesi Q_0 : ☐ Co-60 ☒ Elektron demeti Kalibrasyon derinliği:...5,2...g/cm ²			
Eğer Q_0 elektron demeti ise R_{50} :...8,750..... g/cm ²			
Kalibrasyon referans koşulları	P_0 : ...101,3...kPa	T_0 : ...20,0..... °C	Relatif nem: %..10.
Polarizasyon potansiyeli	V_1 : ..300.....V	Kalibrasyon polaritesi	☒ + ☐ - ☒ düzeltilmiş
		Kullanıcı polaritesi	☒ + ☐ -
Kalibrasyon laboratuvarı:.....			Tarih:.....
Elektrometre modeli:....Unidos.....			Seri No:..1.....
İyon odasından ayrı mı kalibre edilmiş?	☐ evet ☒ hayır		Set aralığı:.....
Evet ise kalibrasyon laboratuvarı:.....			Tarih:.....

ÇALIŞMA KAĞIDI

Yüksek Enerjili Elektron Demetlerinde Suda Soğurulan Dozun Belirlenmesi

3. Fantom		
Su fantomu	pencere materyali:.....	kalınlık:.....g/cm ²
Plastik fantom	fantom materyali:.....	yoğunluk:..... g/cm ³
Derinlik skala faktörü c_{pl} :.....	referans derinlik $z_{ref,pl}=z_{ref}/c_{pl}$:..... g/cm ²	
Ak1 skala faktörü ^b :	h_{pl} =.....	

ÇALIŞMA KAĞIDI

Yüksek Enerjili Elektron Demetlerinde Suda Soğurulan Dozun Belirlenmesi

4.Dozimetre okuması^c ve etkileyen nicelikler için düzeltme

V₁ ' de Düzeltilmemiş dozimetre okuması ve kullanıcı polaritesi:.....2,007..... nC ☐ okuma

Okumadaki Monitor Unit:.....100.....MU

Dozimetreden Monitor Unit başına okuma:

M₁:...0,0201..

☐ nC/MU ☐ okuma/MU

(i) Basınç P:101,1.... kPa

Sıcaklık T:22..... °C

Rel. Nem (biliniyorsa): %50

$k_{TP} = (273.2+T) P_o / (273.2+T_o) P = 1,0091$

(ii)Elektrometre kalibrasyon faktörü^c k_{elek}:

☐ nC/okuma

☐ boyutsuz

k_{elek}=.....

(iii)Polarite düzeltmesi^e

+V₁ 'de okuma M₊=.....2,007.....

-V₁ 'de okuma M₋=.....2,008.....

ÇALIŞMA KAĞIDI

Yüksek Enerjili Elektron Demetlerinde Suda Soğurulan Dozun Belirlenmesi

$$k_{pol} = |M_{+}| + |M_{-}| / 2M = 1,0002$$

(iv) Tekrar birleşme düzeltmesi (iki voltaj yöntemi)

Polarizasyon voltajı:

V_1 (normal)=.....300.....V

V_2 (azaltılmış)=.....100.....V

Herbir V'deki okuma^f:

M_1 =.....2,007.....
.....

M_2 =.....1,97.....

Voltaj oranı V_1/V_2 =.....3,000.....

Okumaların oranı M_1/M_2 =....1,0188.....

Tablo 9'un kullanıldığı demet tipi: ☒ puls ☐ puls taramalı

a_0 =....1,1980..

a_1 =.....-0,8753

a_2 =...0,6773

$$k_s = a_0 + a_1(M_1/M_2) + a_2(M_1/M_2)^2 = \dots 1,0092 \dots g,h$$

V_1 voltajında düzeltilmiş dozimetre okuması:

$$M_Q = M_1 \cdot h_{pl} \cdot k_{TP} \cdot k_{elec} \cdot k_{pol} \cdot k_s = \dots 2,0444E-02 \dots$$

☒ nC/MU ☐ okuma/MU

ÇALIŞMA KAĞIDI

Yüksek Enerjili Elektron Demetlerinde Suda Soğurulan Dozun Belirlenmesi

5. z_{ref} referans derinlikde suda soğurulan doz

Q kullanıcı demet kalitesi için demet kalite düzeltme faktörü:

Eğer Q_0 ^{60}Co ise Tablo 18'den

$k_{Q,Q_0} = \dots\dots\dots$

Eğer Q_0 elektron demeti ise Tablo 19'dan

$k_{Q,Q_{int}} = \dots 1,000 \dots$ $k_{Q_0,Q_{int}} = \dots 0,994 \dots\dots\dots$

$k_{Q,Q_0} = k_{Q,Q_{int}} / k_{Q_0,Q_{int}} = \dots\dots\dots$

Eğer k_{Q,Q_0} elektron demet kalibrasyonlarının bir serisinden türetilmişse $k_{Q,Q_0} = \dots\dots\dots$

Kalibrasyon laboratuvarı:.....

Tarih:.....

$D_{w,Q}(z_{ref}) = M_Q N_{D,w,Q_0} k_{Q,Q_0} = \dots\dots 9,8378\text{E-}03 \dots\dots\dots \text{Gy/MU}$

ÇALIŞMA KAĞIDI

Yüksek Enerjili Elektron Demetlerinde Suda Soğurulan Dozun Belirlenmesi

6. z_{maks} doz maksimum derinliğinde suda soğurulan doz hızı

Doz maksimum derinliği z_{maks} =
..2,20...g/cm²

.... cm x cm alan büyüklüğü için z_{ref} derinliğinde derin doz yüzdesi

PDD (z_{ref} =**4,4**.....g/cm²) = %.....**97,30**.....

z_{maks} 'da kalibrasyon soğurulan doz hızı

$D_{w,Q}(z_{maks}) = 100 D_{w,Q}(z_{ref}) / PDD(z_{ref}) =$**1,0111E-02**.....Gy/MU

(a) Eğer Q_0 ⁶⁰Co ise N_{D,w,Q_0} ifadesi $N_{D,w}$ olur.

(b) Eğer su fantomu kullanılırsa akı skala faktörü $h_{pl}=1$ 'dir.

(c) Bütün okumalar sızıntı için kontrol edilmelidir ve gerekiyorsa düzeltilmelidir.

(d) Eğer elektrometre ayrı kalibre edilmemişse $k_{elec}=1$.

(e) k_{pol} kullanıcı polaritesindeki okuma için kalibrasyon faktörünü ifade eder. Farklı polaritelerdeki M_+ ve M_- okumaları ile ortalama değer alınarak bulunmalıdır.

(f) Okumalar polarite etkileri için düzeltilmelidir.

(g) $k_s-1 \approx (M_1/M_2-1) / (V_1/V_2-1)$ kontrol edilmelidir.

(h) $k_s^{-1} = k_s / k_{s,Q_0}$



Teşekkür Ederim