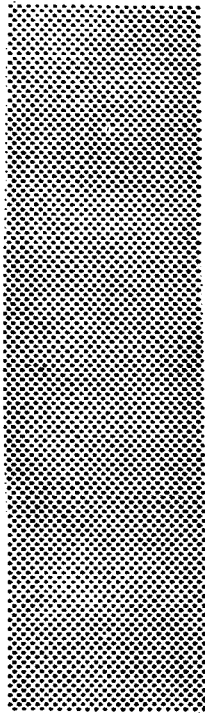


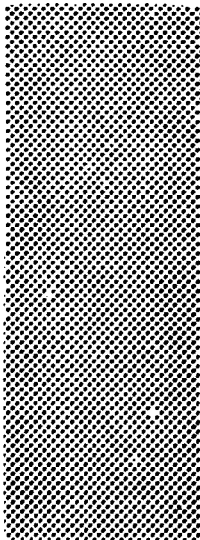
SSI:1977-011



ENERGIBEROENDE HOS ULTRATUNNA LiF-DOSI-
METRAR FÖR HÖGENERGIELEKTRONER OCH HÖG-
ENERGETISK RÖNTGENSTRÅLNING

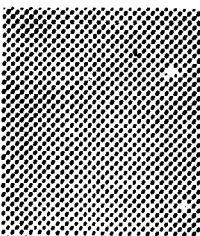
TERESA KUFTER

75000 6438



STATENS STRÅLSKYDDSINSTITUT

Pack, 10: 01 STOCKHOLM



Februari 1977

ENERGIBEROENDE HOS ULTRATUNNA LiF-DOSIMETRAR FÖR
HÖGENERGIELEKTRONER OCH HÖGENERGETISK RÖNTGENSTRÅLNING

Teresa Kupfer ¹⁾

Handledare: Bo Nilsson ²⁾

INLEDNING

Detta arbete är ett försök att experimentellt bestämma energi-beroendet hos ultratunna LiF-dosimetrar för högenergielektroner (5 - 40 MeV) och högenergetisk röntgenstrålning (6 MV, 42 MV) relaterad till ⁶⁰Coγ-strålning.

För att kunna bestämma absorberad dos med hjälp av LiF-dosimetrar är det viktigt att känna till förhållandet mellan dos i dosimetern och dos i fantommaterialet. Detta beror delvis på variationer i absorberad dos i dosimetern vid samma absorberad dos i fantommaterialet och delvis på variationer i TL-signalen från dosimetern vid samma absorberad dos i dosimetern, d v s LET-beroendet. Eftersom LET-beroendet har försumbar effekt (<1%) vid högenergi-bestrålningar med elektroner eller röntgenstrålning (Jähnert 1972) kan energiberoendet anges som förhållande mellan TL-signalen från dosimetern och dos i fantommaterialet. Detta kallas ofta respons. Vanligen jämförs responsen hos dosimetrar vid olika strålkvaliteter och energier med responsen för ⁶⁰Coγ-strålning. Då kan responsen hos LiF-dosimetrar för elektroner (E) eller röntgenstrålning (λ) relaterad till responsen för ⁶⁰Co γ-strålning skrivas som:

$$f_{E,\lambda}^{Co} = \frac{(TL\text{-signal per rad i fantommaterialet})_{E,\lambda}}{(TL\text{-signal per rad i fantommaterialet})_{Co}}$$

¹⁾ Studerande, radiofysiska institutionen,
fack, 104 01 Stockholm 60

²⁾ Fil.lic., radiofysiska institutionen,
fack, 104 01 Stockholm 60

Det har utförts flera försök att teoretiskt beräkna responsen (Burlin 1969, Almond 1970, Holt 1975, Rudén 1975) men ingen av teorierna är tillfyllest. Det är angeläget att undersöka detta på experimentell väg.

Ett stort antal experimentella undersökningar har redan utförts för LiF-dosimetrar. Resultaten är dock varierande, särskilt för elektroner. Almond och McCray (1970), Paliwal och Almond (1975) rapporterar omkring 10% lägre respons hos LiF-dosimetrar relaterad till ^{60}Co γ -strålning för elektroner med energier mellan 6 - 35 MeV och högenergetisk röntgenstrålning. Suntharalingam (1969), Ehrlich (1970) och Antoku (1973) rapporterar samma respons hos LiF-dosimetrar för elektroner som för ^{60}Co γ -strålning. Holt, Edelstein och Clark (1975) rapporterar c:a 12% lägre respons för 3 kV elektroner, 3% för 6 - 10 MeV elektroner och samma respons för högre energi jämfört med ^{60}Co γ -strålning. I figur 1 och 2 se de hittills uppnådda resultaten för högenergielektroner resp. högenergetisk röntgenstrålning sammanställda.

Variationerna i de experimentellt erhållna responserna hos LiF-dosimetrar beror till stor del på typ av dosimeter, d v s kvalitativ och kvantitativ sammansättning, samt dess storlek. Rudén (1975) har undersökt responsen hos LiF-dosimetrar med olika tjocklekar från 0,13 mm till 1 mm och rapporterar 7 - 2% lägre respons för dosimetrar med tjockleken 0,13 mm och 10 - 5% för dosimetrar med tjockleken 1 mm för 5 - 40 MeV elektroner jämfört med responsen för ^{60}Co γ -strålning. Gantchew och Kapka-Toushlekova (1976) rapporterar 8 - 5% lägre respons hos LiF-200-Ti-80T dosimetrar och 1% högre respons hos LiF-200-MgS dosimetrar för 6 - 40 MeV elektroner jämfört med responsen för ^{60}Co γ -strålning. Eftersom responsen hos dosimetrar varierar med dess typ bör man kalibrera varje typ av dosimetrar före dess användning. Vid radiofysiska institutionen användes ultratunna LiF-dosimetrar. Dessa har därför i detta Cl-arbete kalibrerats med avseende på de elektron- och röntgenenergier som finns vid radiumhemmet.

DOSIMETRAR

Vid experimentet användes 30 st ultratunna LiF-dosimetrar i teflon, UT-LiF-7, med diameter 6 mm och medeltjocklek 0.03 mm. Enligt tillverkaren (Isotope Inc) skulle tjockleken vara 0.02 mm. Efter kontrollmätning med en mikrometer och mikrovågsvägning visade det sig att den verkliga tjockleken var 50% större. Uppmätt medelvikt var 0.0017 g som motsvarade en medeltjocklek på 0.060 g/cm². Det förekom också stora variationer i vikten mellan enskilda dosimetrar, upp till 100% som automatiskt förorsakade variationer i känsligheten hos dosimetrarna.

Termoluminescensen hos LiF-dosimetrarna mättes med utläsningsinstrument Teledyne 7300 C. Eftersom dosimetrarna var så tunna, kunde man inte använda standardplanschett på grund av att uppvärmning då inte kunde uppnås. Istället övertäcktes dosimetern med mikroglas, som pressades mot planschetten.

Känsligheten och reproducerbarheten hos LiF-dosimetrar är mycket beroende av pre- och postannealing-proceduren. Det finns många rekommendationer beträffande detta (Carlsson 1968, Mårtensson 1969). Från primära kalibreringar med ⁶⁰Co γ -strålning valdes ut en avläsningsmetod utan nollställning i ugn med preheat i 130^o C och postannealing i 300^o C inställda på utläsningsinstrumentet. Eftersom avsvalningshastigheten påverkar känsligheten fick dosimetrarna ligga kvar i utläsningsenheten 1 min efter avläsningen. Med hänsyn till fading avlästes varje dosimeter vid samma tidpunkt efter bestrålningen.

Under kalibreringarna fann man att känsligheten hos dosimetrarna ökade något från gång till gång. Om flera bestrålningar gjordes samma dag, d v s tätare än normalt, minskade dock känsligheten. För att kontrollera variationer i dosimetrarnas känslighet utvaldes en grupp dosimetrar, som kalibrerades med ⁶⁰Co γ -strålning parallellt med den experimentella bestrålningen. Experimentet utfördes med antagandet att alla grupper dosimetrar, som behandlades på samma sätt, har konstant förändring i känsligheten.

Vid bestrålningarna användes: ^{60}Co γ -källa (Gammatron 1), 6 MV linjäraccelerator (Varian Clinac 6) och 42 MV betatron (Siemens). Alla mätningar gjordes i polystyrenfantom ($\rho = 1.045 \text{ kg/dm}^3$).

Dosimetrarna uppdelades i fyra grupper - tre bestående av 8 st dosimetrar och en av 6 st. Den fjärde gruppen användes för att bestämma bakgrund. Under experimentets gång visade det sig, att bakgrunden kunde försummas. Vid varje mätning placerades resp dosimetergrupp centrerad i polystyrenfantomet på olika djup beroende på använd energi. I Tabell 1 anges använd elektronenergi vid fantomytan, använt mätdjup samt medelenergin för detta djup. Alla tre grupper av dosimetrar kalibrerades med ^{60}Co γ -strålning, dels för att bestämma responsen för de två första grupperna, dels för att bestämma korrektionsfaktorn för referensgruppen för att kunna kontrollera eventuella förändringar i dosimetrarnas känslighet. De två första grupperna bestrålades vid experimenten med högenergielektroner eller högenergetisk röntgenstrålning.

ABSORBERAD DOSBESTÄMNING

För linjäracceleratoren och betatronen gjordes kalibreringar av beam-monitor med jonisationskammare typ PTW (23312) före och efter varje dosimeterbestrålning. Kammaren placerades i polystyrenfantomet på samma djup som dosimetrarna med effektiva mätpunkten förskjuten från kammarcentrum $3/4 r$ (ICRU, 1972). Ur de mätningarna bestämdes absorberad dos i polystyrenfantomet enligt ekvationen:

$$D_{\text{pol}} = M N_c C_{E,\lambda}$$

D_{pol} är absorberad dos i ett homogent polystyrenfantom i den punkt där jonisationskammarens centrum är placerad för elektroner resp röntgenstrålning.

M är elektrometerutslaget korrigerat för tryck och temperatur.

N_C är expositionskalibreringsfaktorn som gäller för kammaren för ^{60}Co γ -strålning.

C_E resp C_λ är konversionsfaktorn mellan absorberad dos i polystyren och jonisationskamarutslag för elektroner resp röntgenstrålning.

Konversionsfaktorerna C_E och C_λ beräknades för polystyren enligt ICRU 21 (1972) resp ICRU 14 (1969). Vid beräkning av C_E användes "perturbation factor" - $P_{\text{pol,luft}}$ - som erhöles ur Tabell 3.5 (ICRU, 1972) under antagande att "perturbation factor" är samma för vatten och polystyren. "Masscollision stopping power" för medelelektronenergin för polystyren och luft erhöles ur data från Berger och Seltzer (1966). Massenergiabsorptionskoefficienten för fotoner erhöles från NBS (Hubbell 1976).

Vid elektronstrålning bestämdes "masscollision stopping power" för elektronernas medelenergi vid det aktuella djupet. Vid röntgenstrålning bestämdes "masscollision stopping power" för sekundärelektronernas medelenergi, som beräknades enligt följande: monoenergetisk ekvivalent till röntgenstrålning uppskattades genom att multiplicera maxenergi med 0.425, medelelektronenergin för Compton-elektroner erhöles från Fig. 1 A4 i Handbook NBS 85 (1965); medelelektronenergin för parbildning antogs vara $0.5 (h\nu_0 - 1.02)$ där $h\nu_0$ är fotonenergin i MeV; viktning mellan Compton- och parbildningsprocesserna erhöles från data enligt NBS Circular 583 (1965). Den slutliga medelsekundärelektronenergin antogs vara lika med $1/2 E_0$ på grund av energidegradering, där E_0 är sekundärelektronernas initiala energi.

BERÄKNING AV RELATIVA RESPONSEN $f_{Co}^{E,\lambda}$ UR EXPERIMENTELLA DATA

Respons hos LiF-dosimetrar för elektroner (E) och röntgenstrålning (λ) relaterad till responsen för ^{60}Co γ -strålning beräknades genom att antaga, att TL-signalen från LiF-dosimetrar är proportionell mot absorberad dos i LiF. Då erhålles nedanstående uttryck

$$f_{Co}^{E,\lambda} = \frac{(A / D_{pol})_{E,\lambda}}{(C / D_{pol})_{Co} k}$$

$f_{Co}^{E,\lambda}$ är relativa responsen för LiF-dosimetrar för elektroner (E) resp röntgenstrålning (λ).

$(A)_{E,\lambda}$ är medelvärdet av TL-signalen för gruppen bestrålad med elektroner resp röntgenstrålning.

$(D_{pol})_{E,\lambda}$ är absorberad dos i polystyrenfantom som erhålls från jonkanummätningar.

$(C)_{Co}$ är medelvärdet av TL-signalen för gruppen bestrålad med ^{60}Co γ -strålning under två kalibreringar.

$(D_{pol})_{Co}$ är absorberad dos i polystyrenfantomet.

k är korrektionsfaktor för förändring i TL-signalen mellan experimentet och kalibreringen. Medelvärdet av en kalibrering före och en efter experimentet användes.

$$k = \frac{(\text{TL-signalen för referensgruppen vid experimentet})_{Co}}{(\text{TL-signalen för referensgruppen vid kalibreringen})_{Co}}$$

FELANALYS

Osäkerheten uttryckt som två standardavvikelser (S) i den experimentellt erhållna relativa responsen hos ultratunna LiF-dosimetrar beräknades till $\pm 2.8\%$ erhållet som kvadratroten ur summan av de enskilda felens kvadrater enligt följande:

$$S_{f_{Co}^{E,\lambda}} = \sqrt{S^2 (D_{pol})_{Co} / (D_{pol})_{E,\lambda} + S^2 (TL)_{E,\lambda} / (TL)_{Co}}$$

Felet i absolut dosbestämningen d v s $(D_{pol})_{Co} / (D_{pol})_{E,\lambda}$ togs som felet i förhållandet mellan konversionsfaktorerna C_{Co} och $C_{E,\lambda}$ eftersom det vid alla mätningar användes samma mätutrustning och avläsningsfelen var försumbara och uppskattades till $\pm 2.3\%$ (2 S).

Felet i kvoten (Tl-signalen) $_{E,\lambda} / (TL-signalen)_{Co}$ antogs vara lika med medelvärdet av förändringarna i responsen vid två mätningar och uppskattades till $\pm 1.5\%$ (2 S).

Som framgår av ovanstående kommer det största felet från dosbestämning i polystyrenfantomet (2.3%). Eftersom denna absorberade dosbestämning gjordes med hjälp av jonisationskammare, uppstår största felet från förhållandet mellan "stopping power" i polystyren och luft samt eventuella störningskorrektioner. För att minska detta fel borde man använda sig av andra mätmetoder för absolut dosbestämning t ex Fricke-dosimetri.

EXPERIMENTELLA RESULTAT

Experimentellt erhållen respons hos 0.03 mm tunna LiF-dosimetrar för elektroner 5 - 40 MeV och 6 MV samt 42 MV röntgenstrålning relaterad till ^{60}Co γ -strålning presenteras i Tabell 1 samt i Fig. 3 som medelvärde av två enskilda mätningar.

Resultaten för 6 MV och 42 MV röntgenstrålning visar samma respons hos LiF-dosimetrar som för ^{60}Co γ -strålning. För elektroner 7.4 - 39.1 MeV erhålls en svag ökning av relativa responsen från 0.98 till 1.02 dock med undantag för lägsta undersökta energi 4.3 MeV som erhålles denna lika med 1.00. Det är svårt att dra några andra slutsatser om det erhållna energiberoendet än att variation i relativ respons ligger inom felgränsen $\pm 3\%$ (2 S). Resultaten borde dock kunna vara tillförlitliga för kliniska ändamål.

I Tabell 2 samt Fig. 3 jämförs resultaten erhållna i detta arbete med resultat rapporterade av Rudén (1975) för samma typ av LiF-dosimetrar (LiF-7 i teflon) dock med olika tjocklekar. Det kan observeras en tydlig tendens att för samma energier har tunnare dosimetrar högre relativ respons.

TEORETISKA MODELLER

Det har utförts flera försök att teoretiskt beräkna förhållande mellan absorberad dos i LiF-dosimeter och absorberad dos i fantom-materialet, d v s responsen hos dosimetrar för elektroner och röntgenstrålning, men ingen av teorierna är dock tillfyllest, speciellt inte för elektroner. Responsen har nedan beräknats enligt de mest uppmärksammade teorierna:

1. Bragg-Gray (1936)
2. Burlin (1969)
3. Almond och McCray (1970).
4. Holt (1975).

Kort presentation av dessa teorier ges i Appendix.

TEORETISKA RESULTAT

I Tabell 1 samt i Fig. 4 ges den beräknade och den experimentellt erhållna responsen hos ultratunna LiF-dosimetrar relaterad till ^{60}Co γ -strålning.

Osäkerheten i dessa experimentella data är av sådan art, att det är svårt att avgöra, vilken teori som stämmer bäst. Ingen av dem tar hänsyn till alla fenomen som förekommer i LiF-dosimetrar. Det behövs ytterligare undersökningar för att kunna dra mera konkreta slutsatser. Till exempel att ha noggrannare metod för absolut dos-bestämning i polystyren samt använda teflonfantom för att försumma "stopping-power"-beroendet samt att använda lägre elektronenergier, där korrektionerna kommer att ha mera signifikant betydelse för de ultratunna LiF-dosimetrarna.

APPENDIX

1. Bragg-Grays ekvation $D_m = D_I S_I^m$, gäller med antagandet att kavitet (I) inte förändrar elektronspektrum som genereras i medium (m). Uttrycket för respons hos LiF-dosimetrar för elektroner relaterad till ^{60}Co γ -strålning kan då skrivas som:

$$f_{\text{Co}}^E = \left(\bar{S}_{\text{LiF}}^{\text{pol}} \right)_{\text{Co}} / \left(\bar{S}_{\text{LiF}}^{\text{pol}} \right)_E$$

$\bar{S}_{\text{LiF}}^{\text{pol}}$ är "masscollision stopping power"-förhållandet beräknat för elektronernas medelenergi.

2. Burlins ekvation för elektronresponsen utgår från allmänna kavitetsteorin för fotoner (Burlin 1968), med antagandet att primära elektroner inte genererar sekundära elektroner i kaviteten och att elektroner absorberas exponentiellt. Responsen hos LiF-dosimetrar för elektroner relaterad till ^{60}Co γ -strålning anges då av ekvationen:

$$f_{\text{Co}}^E = (d / \bar{S}_{\text{LiF}}^{\text{pol}})_E / \left[(d / \bar{S}_{\text{LiF}}^{\text{pol}}) + (1-d) \frac{(\mu_{\text{en}}/\rho)_{\text{LiF}}}{(\mu_{\text{en}}/\rho)_{\text{pol}}} \right]_{\text{Co}}$$

d är medelattenueringsfaktorn för elektronspektrumet som genereras i polystyren i LiF-dosimetern. $(1-d)$ är "build-up" av sekundärelektronspektrum i dosimetern. $(\mu_{\text{en}}/\rho)_{\text{LiF}}$ och $(\mu_{\text{en}}/\rho)_{\text{pol}}$ är massenergiabsorptionskoefficienterna. Medelattenueringsfaktorn anges av ekvationen.

$$d = \frac{1 - \exp(-\beta g)}{\beta g}$$

där β är effektiva massabsorptionskoefficienten för LiF för elektroner och g är medelkordalängden för elektroner genom dosimetern.

3. Almond och McCray använder sig av Burlins teori men antar att elektroner genererar sekundära elektroner i kaviteten. Deras ekvation för responsen hos LiF-dosimetrar för elektroner relaterad till ^{60}Co γ -strålning kan skrivas som:

$$f_{\text{Co}}^E = \frac{\left[(d/m S_{\text{LiF}}^{\text{pol}}) + (1-d) \frac{(Z/A)_{\text{LiF}}}{(Z/A)_{\text{pol}}} \right] E}{\left[(d/m S_{\text{LiF}}^{\text{pol}}) + (1-d) \frac{(\mu_{\text{en}}/\rho)_{\text{LiF}}}{(\mu_{\text{en}}/\rho)_{\text{pol}}} \right] E} \text{Co}$$

Z och A är atomnummer resp atommassa.

4. Holts empiriska teori för LiF-dosimetrar antar att energin deponeras linjärt och att sekundära elektroner produceras i kaviteten. Responsen hos LiF-dosimetrar för elektroner relaterad till ^{60}Co γ -strålning definieras som:

$$f_{\text{Co}}^E = 1/K_E$$

där

$$K_E = \left[1 + f_{\text{LiF}} (m S_{\text{LiF}}^{\text{pol}} - 1) \right]$$

f_{LiF} är fraktion av energi som absorberas i dosimeter och ges av förhållandet mellan medelväglängden för elektroner i dosimeter och deras maximalräckvidd.

Referenser

- Almond, P.R. and McGray, K., 1970, Phys. Med. Biol., 15, 335.
- Antoku, S., Sunayashiki, T., Takeoka, S. and Takeshita, K., 1973, Phys. Med. Biol., 18, 889.
- Berger, M.J. and Seltzer, S.M., 1964, Tables of Energy Losses and Ranges of Electrons and Positrons, NASA SP - 3012.
- Berger, J. J. and Seltzer, S.M., 1966, Additional Stopping Power and Range Tables for Protons, Mesons and Electrons, NASA SP - 3036.
- Binks, C., 1969, Phys. Med. Biol., 14, 327.
- Cameron, J. R., Suntharalingam, N., Kenney, G.N., 1968. Thermoluminescent Dosimetry.
- Carlsson, C.A., Mårtensson, B.K.A. and Alm-Carlsson, G., 1968, Proc. 2nd Int. Conf. on Luminescence Dosimetry, CONF - 680920 (US AEC: Washington, DC), p. 936.
- Carlsson, C.A., 1969, Phys. Med. Biol., 14, 107.
- Crosby, E.H., Almond, P.R. and Shalek, R.J., 1966, Phys. Med. Biol., 11, 131.
- Gantchew, H.G. and Kapka-Toushlekoyov, 1976, Phys. Med. Biol. 21, 300.
- Greene, D. and Massey, J.B., 1966, Phys. Med. Biol., 11, 569.
- Greene, D. and Massey, J.B., 1971, Phys. Med. Biol., 16, 319.
- Holt, J.G., Edelstein, G.R. and Clark, T.E., 1975, Phys. Med. Biol., 20, 559.
- Hubbell, J.H., 1976, Photon Mass Energy - absorption coefficient Air/Medium Ratio for Jonometric Dosimetry 0,1 keV to 20 MeV., Symposium at NBS March 1-4, 1976.
- ICRU, 1969, Report 14, Radiation Dosimetry: X Rays and Gamma Rays with Maximum Photon Energies Between 0,6 and 50 MeV.
- ICRU, 1972, Report 21, Radiation Dosimetry: Electrons with Initial Energies Between 1 and 50 MeV.
- Jähnert, B., 1972, Health Phys., 23, 112.
- Liu, B.M. and Bagne, F., 1974, Proc. 4th Int. Conf. on Luminescence Dosimetry Krakow, Poland, p. 937.

Mårtensson, B.K.A., 1969, Phys. Med. Biol., 14, 119.

Paliwal, B.R. and Almond, P.R., 1975, Phys. Med. Biol., 20, 547.

Pinkerton, A.P., Holt, J.G. and Laughlin, J.S., 1966, Phys. Med. Biol., 11, 129.

Rudén, B.-J., 1975, Accuracy of Megavolt Radiation Dosimetry Using Thermoluminescent Lithium Fluoride (Stockholm).

Suntharalingam, N., 1967, Ph. D. Thesis, University of Wisconsin, Madison, Wisc.

Turner, A.P. and Anderson, D.W., 1973. Phys. Med. Biol., 18, 46.

Tabell 1.

Jämförelse mellan experimentella data och teoretiskt beräknad respons hos ultratunna LiF-dosimetrar relaterad till ^{60}Co γ -strålning.

E_0 (MeV)	\bar{E} (MeV)	djup (cm)	Experiment	Teoretiskt beräknad $f_{\text{Co}}^{E,\lambda}$			
			$f_{\text{Co}}^{E,\lambda} \pm (2 S)$	(1)	(2)	(3)	(4)
4.3	2.2	1.0	1.00 ± 0.03	1.00	0.97	1.00	1.00
7.4	4.1	1.5	0.98 ± 0.03	1.01	0.99	1.00	1.00
9.8	4.9	2.4	0.98 ± 0.03	1.01	0.99	1.00	1.00
11.6	6.7	2.4	0.98 ± 0.03	1.01	1.00	1.01	1.00
14.3	9.6	2.4	1.00 ± 0.03	1.01	1.00	1.01	1.00
19.4	14.7	2.4	1.02 ± 0.03	1.02	1.01	1.01	1.00
28.2	23.5	2.4	1.02 ± 0.03	1.02	1.02	1.02	1.00
39.1	34.5	2.4	1.02 ± 0.03	1.02	1.02	1.02	1.00
6 MV		1.5	1.01 ± 0.03	1.00	1.00		
42 MV		5.0	1.01 ± 0.03	1.01	1.01		

(1) Bragg-Gray (1936)

(2) Burlin (1969)

(3) Almond och McCray (1970)

(4) Holt (1974)

Tabell 2.

Experimentella responser hos LiF-dosimetrar i teflon relaterad till ^{60}Co γ -strålning för olika dosimetrars tjocklek.

Elektroner \bar{E}/MeV	LiF-dosimetrarnas tjocklek		
	(1) 0.03 mm	0.13 mm (2)	0.38 mm (2)
2.2	1.00 ± 0.03	0.93 ± 0.03	0.90 ± 0.03
4.1	0.98 ± 0.03	0.93 ± 0.03	0.91 ± 0.03
4.9	0.98 ± 0.03	0.93 ± 0.02	0.91 ± 0.02
6.7	0.98 ± 0.03	0.93 ± 0.02	0.91 ± 0.02
9.6	1.00 ± 0.03	0.95 ± 0.02	0.92 ± 0.02
14.7	1.02 ± 0.03	0.96 ± 0.03	0.92 ± 0.02
23.5	1.02 ± 0.03	0.96 ± 0.03	0.93 ± 0.02
34.5	1.02 ± 0.03	0.98 ± 0.03	0.93 ± 0.02
Röntgen- strålning			
6 MV	1.01 ± 0.03	0.97 ± 0.02	0.96 ± 0.02
42 MV	1.01 ± 0.03	0.98 ± 0.02	0.96 ± 0.02

(1) Detta arbete

(2) Rudén (1975)

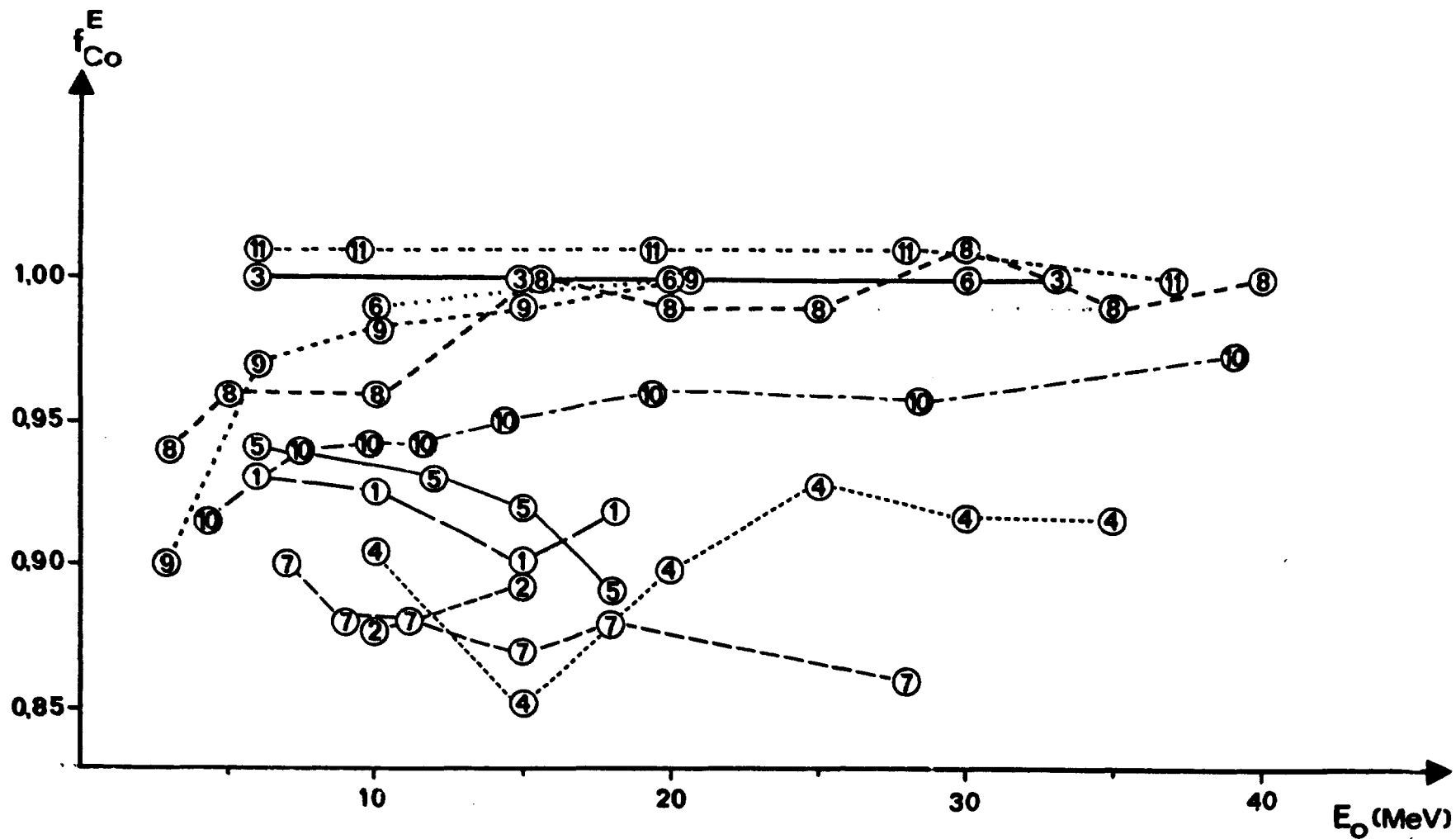
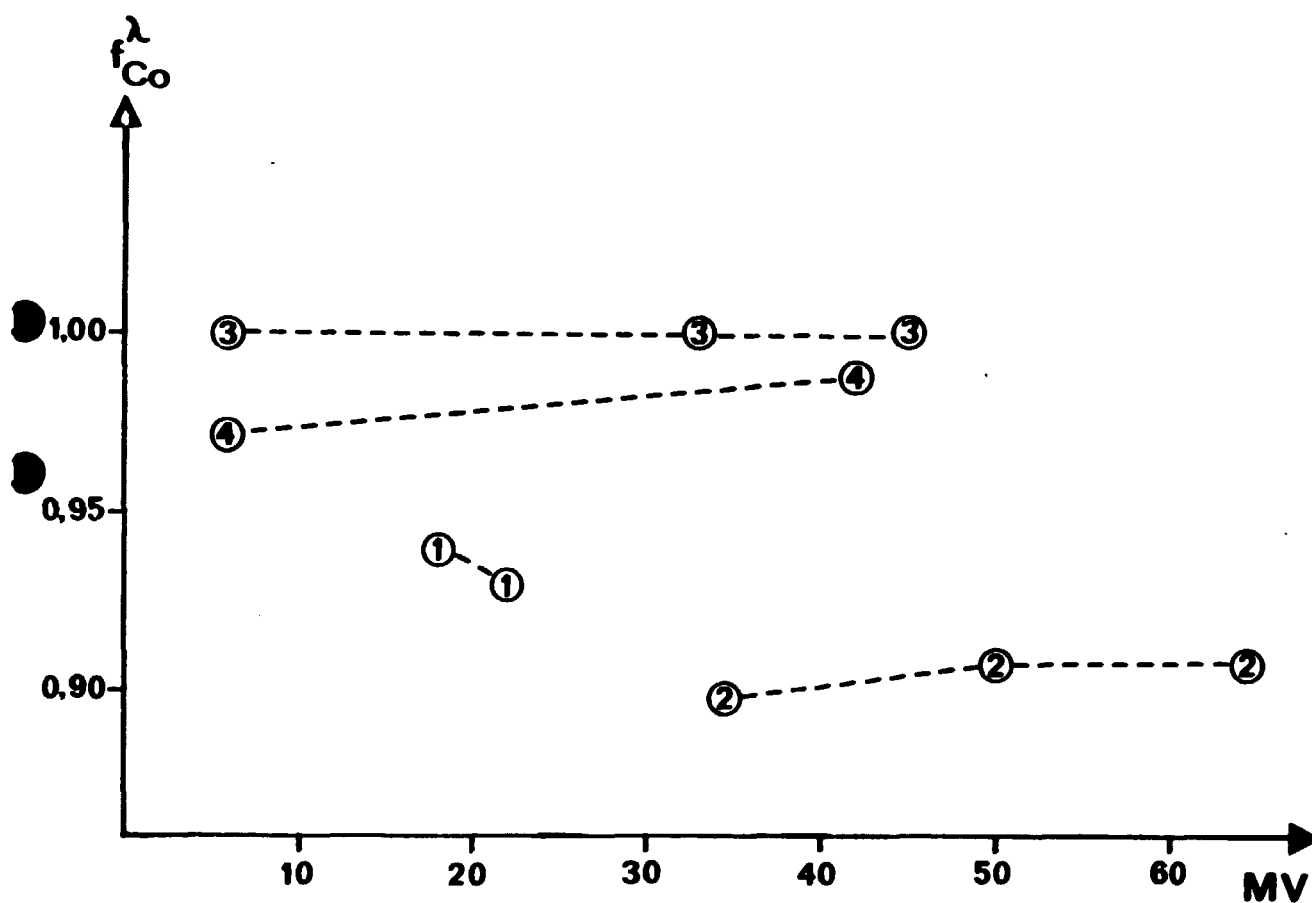


Fig.1 Experimentellt erhållen energirespons hos LiF-dosimetrar för elektroner relaterad till ^{60}Co γ -strålning. För identifiering av resultaten se sida 16.

TIDIGARE EXPERIMENT

- (1) Crosby 1966LiF-700
- (2) Pinkerton 1966TLD-100
- (3) Suntharalingham och Cameron 1967TLD-100, pulver
- (4) Binks 1969Con-Rad typ 7
- (5) Almond och McCray 1970TLD-700, pulver
- (6) Antaku 1973TLD-100, tjockl 0.5-4.0 mm
- (7) Paliwal och Almond 1974LiF-kristall, 9x11x1.8 mm
- (8) Liu och Bagne 1974TLD-700, rods 1x1x6 mm
- (9) Holt 1975TLD-700, rods 1x1x6 mm
- (10) Rudén 1975TLD-100, rods 1x1x6 mm
- (11) Gantchew och Kapka-Toushlekova 1976 ...LiF-200-MgS pulver



● Fig.2 Experimentell respons (f_{Co}^{λ}) hos LiF-dosimetrar relaterad till ^{60}Co γ -strålning vid tidigare försök:

-
- (1) Almond (1970).....TLD-700, pulver
 - (2) Turner (1973).....TLD-700, 1 x 1 x 6 mm
 - (3) Liu och Bagne (1974)....TLD-700, 1 x 1 x 6 mm
 - (4) Rudén (1975).....TLD-700, 1 x 1 x 6 mm

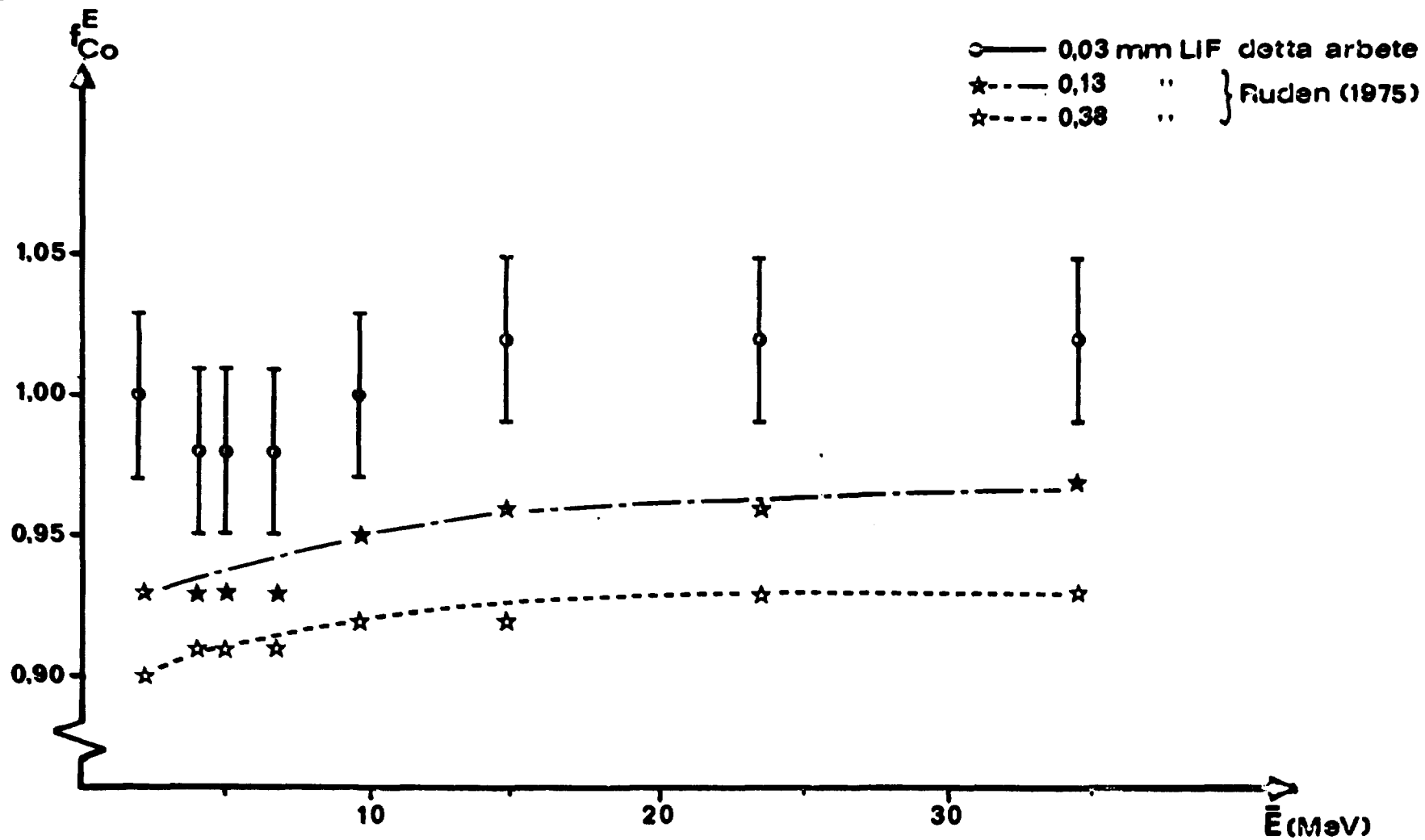


Fig.3 Experimentell respons hos LiF-dosimetrar i teflon för elektroner för olika dosimetertjocklek relaterad till ^{60}Co γ -strålning som funktion av elektronmedelenergin.

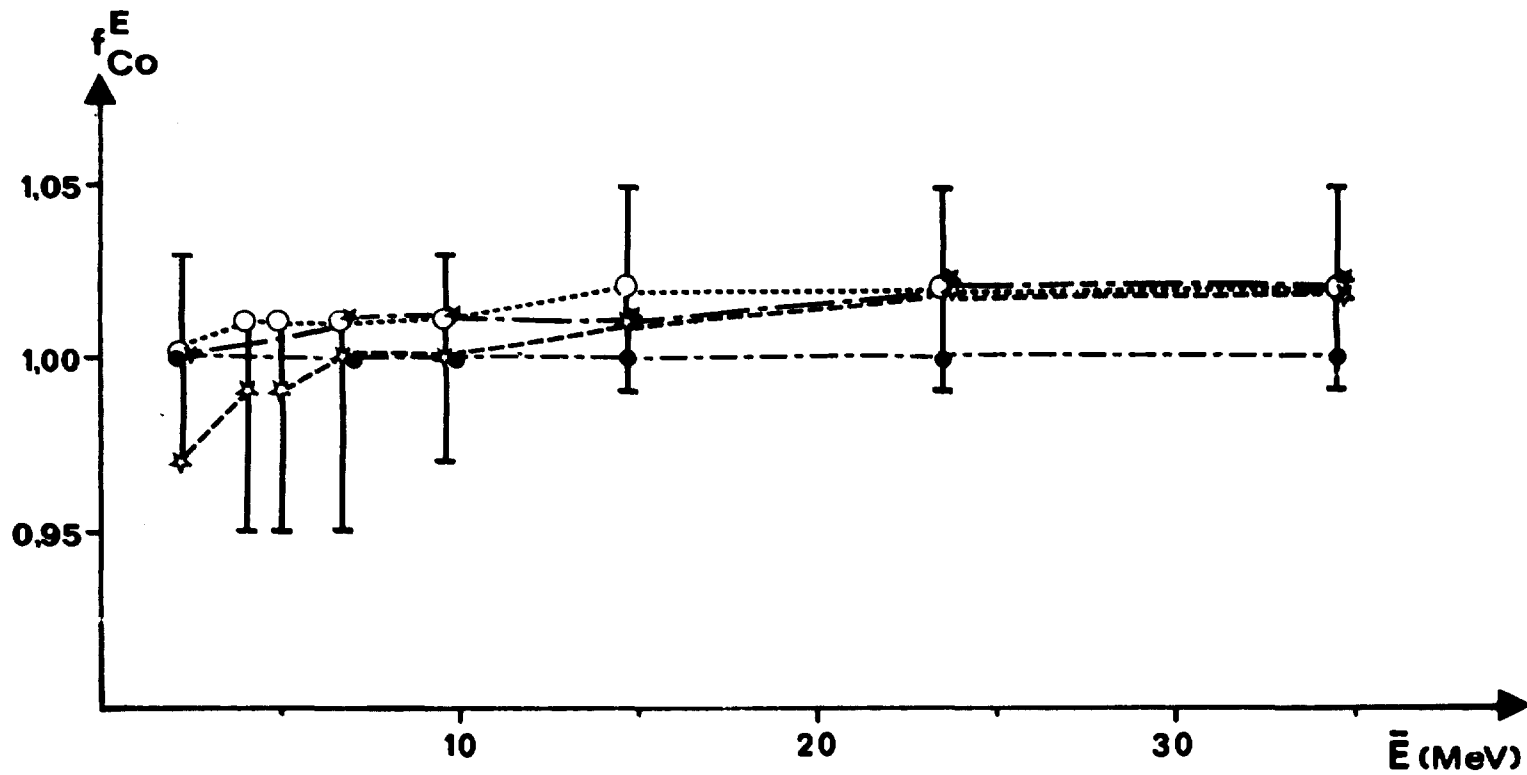


Fig. 4 Experimentell och teoretisk respons hos ultratunna LiF-dosimetrar för elektroner relaterad till ^{60}Co γ -strålning som funktion av elektronmedelenergin.

- Experimentella data med osäkerheten $\pm 3\%$ (2 S)
- Enligt Bragg-Gray (1936)
- ☆- - - - " Burlin (1969)
- ☆- · - - " Almond-McCray (1970)
- - - - " Holt (1975)