The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	外面照射時に於ける放射性燐32Beta-RayのEnergy分布に関する研究
Author(s)	磯部, 寛
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1964, 24(9), p. 1094-1099
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/19007
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

外面照射時に於ける放射性燐 32 Beta-Ray の Energy 分布に関する研究

東北大学医学部放射線医学教室
磯 部 寛

(昭和39年10月28日受付)

Fundamental Examination of Energy Distribution on the External Beta Radiation by Radiophosphorus ^{32}P

By
Hiroshi Isobe
Department of Radiology, Faculty of Medicine, Tohoku University

The spectral energy distribution for a large number of beta-ray emitters has been measured by means of magnetic beta-ray spectrometers.

External beta irradition method with radiophosphorus ^{32}P has been adequately investigated by means of various measuring methods. β-ray scintillation spectrometer method was used to this work, and measured the shape of ^{32}P beta spectrum.

The shape of this spectrum was deformed its original form. By using an air absorber, the measurements were made in air tank.

^{32}P β-ray source and β-ray detector were set in this tank. Air pressure in this tank was varied from 20 mmHg to 4.5×10^3 mmHg by using a vacuum pump and an air compressor.

From the result it was found that the distribution of β-spectra of ^{32}P is closed to Fermi theoretical curve for its thin absorber (within about 0.2 mg/cm^2) and observed the systematic deformation. (Fig 11)

I. 緒言

従来，表在性諸疾患に対して放射性核種 ^{32}P 及び ^{90}Sr 等が臨床上使用されてきた．この使用結果は多くの報告[1)2)]により明らかにされつゝある．

即ちその主なものとして ^{32}P 使用時には皮膚組織内表面から 0.5mm でその線量は半減し，又 ^{90}Sr では 1 mmで半減すると云う程度の結論がなされてある．

又理論的には点線源と仮定した場合や無限大面積についての計算[3)4)]がある．

測定方法はフィルムによる黒化度測定[5)~8)] G-M カウンター等による吸収の測定[9)~11)]及び電離槽による測定[11)~15)]がある．

之等の測定の大部分は皮膚組織内の線量分布に就いて行われている．

放射線生物学の物理過程の研究では放射線照射時の二次電子の energy spectrum が重要であり，最高 energy から下つて殆んと熱 energy に近い所まで完全に求められるのが望ましいが，現在の測定器類では之のみを β線，X線等と分離して検出測定するのは困難である．β 線照射時には一次線電子（β 線）と二次電子，更には δ 線との

區別は困難であるが，最近では D.O. Schneider 等[16)~17)] による統計的なモデル (Monte Carlo Calculation) があり近似的に求められる．又半導体を利用した特殊な半導体放射線検出器の開発[18)]が行われているが，この分野での実験的資料は少い．

一般に放射性核種から放出されるβ粒子はその energy が zero から最大値までに亘る連続的 energy 分布をもつて放出される．β線のこの状態，即 β線 spectrum は磁気偏向法によりやゝ詳細に研究されている．β線 spectrum の典型的な形状は Fig 1 に示す通りである．

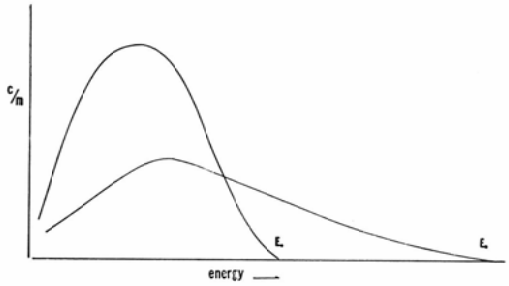


Fig. 1 Typical energy distribution in β-spectra.

通常は平均 energy E_β は最大 energy E_0 のほぼ1/3である[19)]．

^{32}P を核種とする場合，その放出するβ線の energy 分布は大気中で，Fig 2 の様に測定される．即，最大 energy $E_0=1.71$ Mev に始まり，平均 energy $E_\beta=0.69$ Mev 附近で peak を作り以下減少する．之はほぼ Fermi の理論[20)]に基いたβ粒子spectrumの形状を示している．

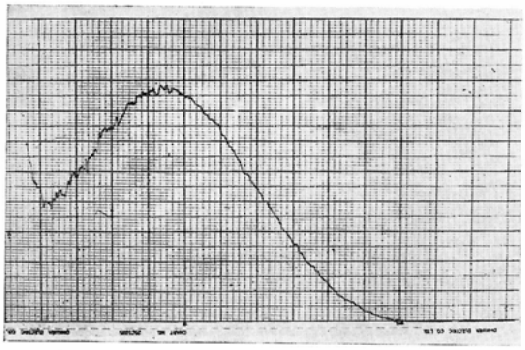


Fig. 2. Energy distribution of ^{32}P β-spectrum

この ^{32}P β線源から放出されたβ粒子が吸収体を透過した場合，如何なる形状の spectrum に変化してゆくかについてはあまり検討されてない．この energy spectrum の変遷を追求する為，測定装置にβ線 scintillation spectrometer 及び吸収体の厚み mg/cm² 値を連続的に精度良く変化させる装置を試作使用した．

II. 実験方法

吸収面からの厚み mg/cm² を種々変化さす事が出来，しかも均等な物質としては気体及び液体がある．本研究では吸収物質として空気を用い，その密度即ち圧力を種々変え且又空気層の厚みを最大80cmの範囲内で自由に可変出来，1/20mm の精度でβ線源と detector 間の距離を読取れるよう設計した．之等空気層透過後のβ線 energy 分布をβ線用 scintillation detector を検出器に使用して測定した．

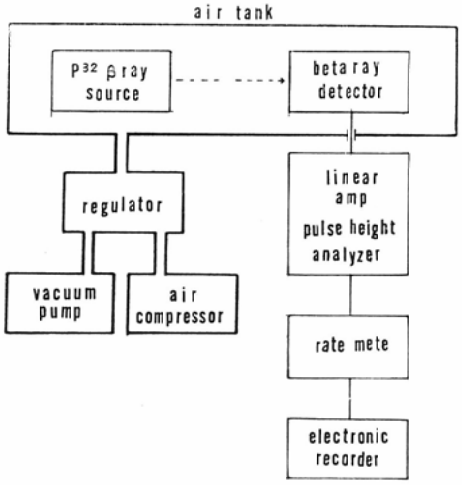


Fig. 3. Block diagram of measuring circuit

測定装置はβ線 scintillation detector, amplianalyzer, ratemeter 及び electronic recorder を組合せ使用した．その配置構成は Fig 3 の block diagram に示す．

^{32}P 線源は 6 mm φの濾紙 (10 mg/cm²) に ^{32}P 溶液を 0.7mc 程度吸着させ，中心を 2 mm φの plastic 棒（長さ 100mm）に接着固定したものを使用した．

β線 detector には有機螢光体と二次電子増倍

管の組合を使用した．螢光体としてはanthracene及び stilbene の Xtal を厚みにより数種使用した．即ち1″ϕ×5㎜，1″ϕ×8㎜及び 1.5″ϕ×5㎜等である．

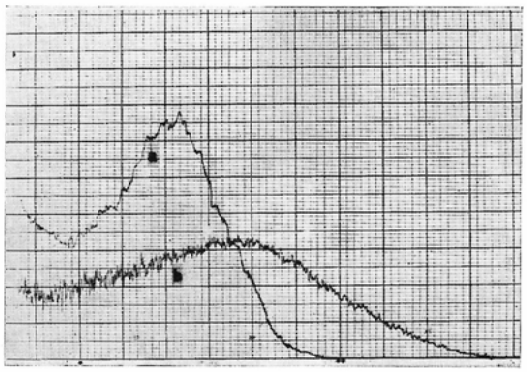
二次電子増倍管には東芝製7696（増巾率 $\mu=3\times10^6$ 程度）を使用し，之を特殊容器に収納し測定用架台に固定させた．測定用架台はこの detector の他にβ線源を取付けた移動台が設けてある．β線源と detector 間距離は最大80㎝であり，線源移動台は電動駆動装置によりこの間を移動出来る．

以上の装置が測定用架台に取付けられたまま，内容積 0.108m^3 の横形空気タンク内に固定されてある．タンクの最高使用圧力は10kg/cm^2，胴部の最大内径 337㎜，長さ1220㎜，胴部には電極取出栓6箇（電極数12筒）が装着され，絶縁には tefron 30mm ϕ を加工使用している。

空気タンク内の空気圧力調整には加圧用として 10 kg/cm^2 用の air compressor，減圧用として 250 l/min の rotary vacuum pump を用いた．

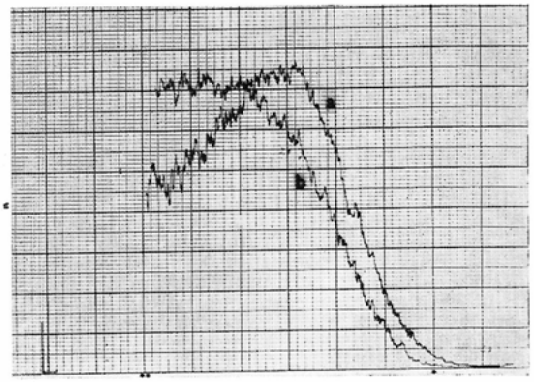
III　実験結果及び考按

一般にβ線 scintillation spectrometer により空気中でβ線源から得られる energy 分布即ちβ線 spectrum の形状は Fig 2 の例の様にその低 energy 部は高 energy 部の影響(δ線を含む)を受け計数率（縦軸）は増加している．之は Fig 1 の図形と比較すれば明かである．これは核種が異つた場合についても同様であり Fig 4 に ^{32}P と ^{90}Sr+^{90}Y の測定例を上げる．



a … ^{32}P　　b … ^{90}Sr + ^{90}Y

Fig. 4. Energy distribution of ^{32}P and ^{90}Sr+^{90}Y



a … absorbed by air (about 1 mg/cm^2)
b … absorbed by air and the thin part of rabbits ear

Fig. 5. ^{32}P β-ray spectra

外面照射時に於て，皮膚等の吸収体透過前と透過後のβ線 spectrum 形状の相違を示す簡単な例として Fig 5 の様な結果がある．吸収体として家兎耳介部中最も薄い部分（厚さ 0.6㎜程度）を選んだ．

以上の例から明らかな様にβ線 spectrum は吸収体の透過によりその形状は著しく変形する．この定量的関係は praffinwax 又は plastic plate 等を使用して稍詳しく測定する事が出来る．その測定例を Fig 6, Fig 7 に示す．

試作した空気タンクによる測定結果は Fig 8, Fig 9 に示す．線源，検出器間距離は Fig 8 では70㎝，Fig 9 では5㎝で夫々気圧を変えて測定した．

β線の energy spectra については既に物理学

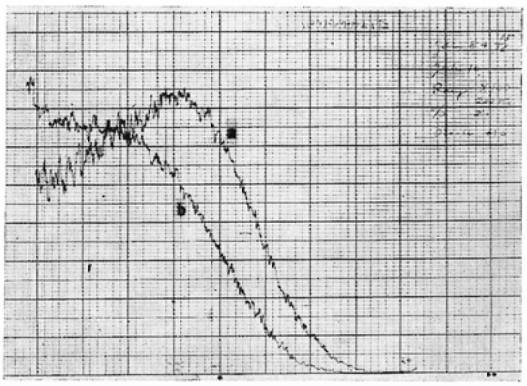
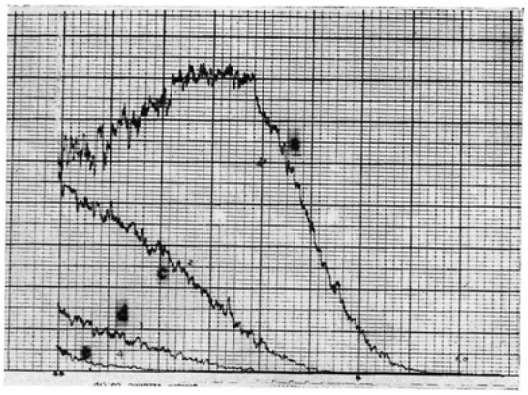
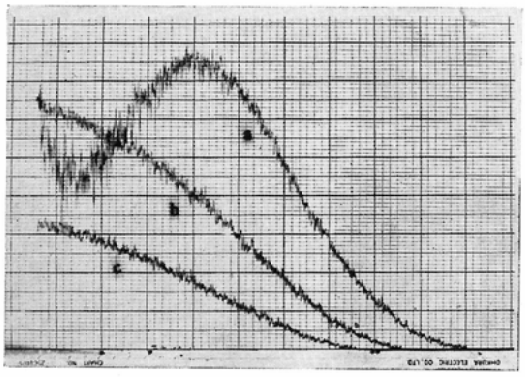


Fig. 6.



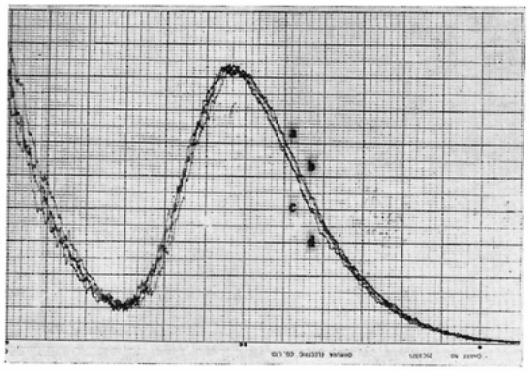
a … about 2 mg/cm² b … about 141 mg/cm²
c … about 300 mg/cm² d …about 420 mg/cm²
e … about 558 mg/cm²

Fig. 6. Fig. 7. ^{32}P β-rayspectra absorbed by paraffin wax



a … 8. mg/cm² b … 180 mg/cm² c …300 mg/cm²

Fig. 8. ^{32}P β-ray spectra absorbed by air in the air tank

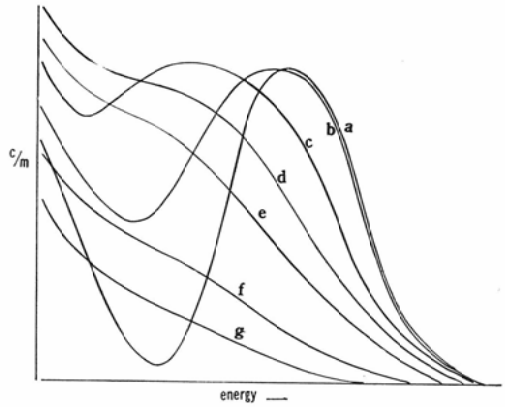


a … 180 μg/cm² b … 190 μg/cm²
c … 210 μg/cm² d … 225 μg/cm²

Fig. 9. ^{32}P β-ray spectra absorbed by air in the air tank

的理論及び基礎実験があり，各放射性核種の殆んどについて，その最大 energy，平均 energy が明確に決定付けられ，β-decay の Fermi theory によつて allowed spectrum は数式化されてある[20)~31)].

単色電子線については，Marshall, Ward 等[32)]による単色電子線の吸収について，又 White, Milligton[33)]による mica 透過後の energy 分布等の研究がある．之等の実験結果によつて単色電子線の場合には物質透過によつて，そのspectrum



a … 0.18 mg/cm² b … 1. mg/cm² c … 10. mg/cm²
d … 150. mg/cm² e … 200mg/cm² f … 300 mg/cm²
g … 400 mg/cm²

Fig. 10. Shape of ^{32}P β-ray spectra absorbed by air in the air tank

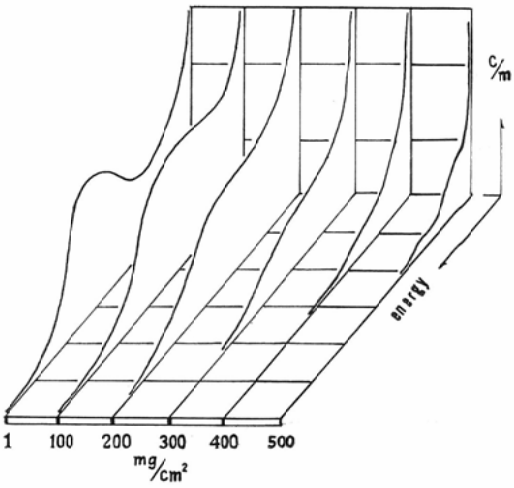


Fig. 11. Multidemensional shape of ^{32}P β-spectra

分布が崩れる事が知られている.

連続 spectrum である β 線 spectrum の場合には，物質即ち吸収体透過によつてその高 energy 部 spectrum がより低い energy spectrum に順次遷移して行く事は予想され，或る程度の吸収体透過後には全体として高 energy 部が欠損したような spectrum が得られる.

Fig 8 と同様な結果を 1 mg～ 500mgの範囲で整理すると Fig 10 が求められる.

又立体的表現として Fig 11 が得られ，この横軸から皮膚組織表面からの深さに於る energy spectrum が容易に観察出来る.

(1) 線源による spectrum 歪

Fermi theory による分布は β 粒子が単一の原子核から放出される場合であり，実際には放射線源自身が有限な大きさを有し，しかもその保持体が存在するため，線源自身の中で，また保持体のため，散乱，吸収を受ける．従つてこの energy 分布はかなりの変動をうける．β 線 spectrum の測定において，測定値が Fermi 分布と異つた形態をとることについては，Cook, Langer等[36~37]によつて Fermi の理論式からの偏差が指摘され，Albert, Wu, Schmidt 等[34)~39)]によつて検討されている．Fig 8, Fig 9 に於ても之等の傾向は含まれ，β 線源の幾可学的大きさ，形状に或る程度支配されるものと思われる.

(2) 散乱による spectrum 歪

一次電子による二次電子の energy 分布は，Bethe の式[40)]から得られた結果から見ても，一次電子の energy 10^3～10^6 ev に亘り二次電子の energy 分布は殆んど変化しない．二次電子の約半数は数 ev 以下の energy に過ぎないし，平均 energy は約70 ev 程度である．測定には使用した air tank は S.T.S 38の内壁に 0.1mm程度．亞鉛鍍金処理を行い，更に内壁に密着して Acryl 板を二層に 4 mm, 1.0mm内順に接着，1.0mm層の両面は Aquadag を塗布，電極化して之に20～150 V (D.C) を与えて散乱による二次電子の影響を極力除去した.

線源による後方散乱についても同様の措置を行つたが，検出器自体については尚問題が多々ある.

外面照射に ^{32}P を利用した臨床結果として皮膚内 表面から 1 mm以内が治療の対象とされ フイルム等による線量測定でもその半価層が 0.5mm以下である事はよく知られているがその数値にはかなりの幅がある．Fig 11の測定結果から，500 mg/cm^2 の位置では，初めの最大energy(E_0=1.7 Mev) は 1 Mev 以下に又 150～ 200mg/cm^2 程度以上に増加すると平均 energy は 0.3 Mev 程度に急減する事が観測される.

空気中に於る β 線の諸測定は，大気圧時で線源，検出器間距離10mmであつても既に 1.3mg/cm^2 程度の吸収体（空気）による影響を受け，その energy spectrum は本来の形から大巾に遷移した状態になる．従つて外面照射時に使用する線源の保持体及び汚染防止の為の遮蔽物には特別の注意が必要である.

IV. 結論

^{32}P β 線 energy spectrm の吸収による遷移を scintillation spectrometer により求めた.

測定範囲 0.1mg/cm^2 ～ 500mg/cm^2 に亘り，空気を吸収体に使用，圧力及び距離を適宜連続的に変化させて測定した．Fermi の理論値と近似した spectrum を薄い吸収層で得られたが，大気圧中での測定は常に数 mg/cm^2 の空気層が介入する為その spectrum は低 energy 過剰を思わせる本来の分布と異つた状態にある.

測定値全般に亘り規則的な spectrum の遷移が観測される．(Fig 11) 外面照射時の臨床結果として得られた幾つかの資料を解析する為にこの energy spectrum は有効であると思われる.

本論文の要旨は第28回日本医学放射線学会北日本部会で発表した．尚本研究に関し御教示，御援助頂いた東北大学名誉教授古賀良彦先生，及び実験を行うに当り終始御協力頂いた星野文彦助教授に深く感謝致します.

文 献

1) Sinclair, W.K andBlondal, H.: ^{32}P β Sources for superficial therapy. Brit. J. Rad 25, 360, 1952.
2) Low-Beer, B.V.A.: "The Clinical Use of Radioactive Isotopes" C.C. Thomas, Springfield, 1950.

3) Loevinger, R.: The dosimetry of β radiation. Radiology 62, 74, 1954.
4) Loevinger, R.: The dosimetry of β sources in tissue. Radiology 66, 55, 1956.
5) Tochilin, E and Golden, R.: Film measurement of beta-ray depth dose. Nucleonics 11, 8, 26, 1953.
6) 宮川他：日医放誌, 14, 440, 1954.
7) 永井：日医放誌, 18, 75, 1958.
8) 高橋：日医放誌, 22, 44, 1962.
9) 尾内他：Radio Isotopes 9, 96, 1960.
10) 竹井他：Radio Isotopes 12, 55, 1962.
11) R.S. Caswell: The average energy of beta spectra Phys. Rev. 86, 82, 1952.
12) Gray, L.H.: The experimental determination by ionization methods of the rate of emission of beta and gamma-ray energy by radioactive substances. Brit. J. Radiol 22, 677, 1947.
13) Loevinger. R and Feitelberg. S.: Using bremsstrahlung detection by a scintillator for simplified beta counting. Nucleonics 9, No. 4, 42, 1955.
14) Loevinger. R.: Extrapolation chamber for the measurement of beta sources. Rev. Sci. Instr. 24, 907, 1953.
15) Brabant, J.M., Cochran, L.W., and Caswell, R.S.: The average energy of the beta-rays of P^{32} and Ag^{111}. Phys. Rev. 91, 210A, 1953.
16) Schneider, D.O and Cormack, D.V.: Monte carlo calculations of electron energy loss. Radi. Research 11, 418, 1959.
17) Sidei, T., Higasimura. T and Kinoshita, K.: Monte carlo calculations of the multiple scattering of the electron. Mem. Fac. Eng. Kyoto Univ. 19, 220, 1957.
18) Blankenship. J.L., and Borkwoski. C.J.: Silicon surface-barrier nuclear particle spectrometer. I.R.E. Trans. Vol. NS-7, Nos 2—3, 190, 1960.
19) Marinelli. L.D., Brinckerhoff. R.F and Hine. G.J.: Average energy of beta-rays emitted by radioactive isotopes. Revs. Modern Physics 19, 25, 1947.
20) Fermi, E.: Zeits. f. Physik 88, 161, 1934.
21) Siegbahn, K.: "β and γ-Ray Spectroscopy" Interscience Publishers, New York. 1955.
22) Mayer, M.G and Moszkowski, S.A.: Nuclear shell structure and beta-decay. Revs. Modern Phys. 23, 315, 1951.
23) Nordheim, L.W.: Nuclear shell structure and betadecay. Revs. Modern Phys. 23, 322, 1951.
24) Wu. C.S.: Recent investigation of the shapes of β-ray spectra. Revs. Modern Phyg. 22, 386, 1950.
25) Feenberg, E and Trigg. G.: The interpretation of comparative half-lives in the Fermi theory of beta-decay. Revs. Modern Phys. 22, 399, 1950.
26) Hine. G.J.: Beta and gamma-ray spectroscopy-I Nucleonics 3, No. 6, 32, 1948.
27) Hine, G.J.: Beta and gamma-ray spectroscopy-II Nucleonics 4, No. 2, 56, 1949.
28) Glendenin. L.E.: Determination of the energy of beta particles and photons by absorption. Nucleonics 2, No. 1, 12, 1948.
29) Clark, R.K and Brar. S.S.: Air absorption of P^{32} β-particles. Phys. Rev. 81, 297A, 1951.
30) Clark, R.K., Brar. S.S and Marinelli, L.D.: Ionization of air by β-rays from point sources. Radiology 64, 94, 1955.
31) National Bureau of Standards: Tables of the analysis of β-spectra. Appl. Math. Ser, No. 13, 1952.
32) Marshall and Ward: Absorption of monochromatic electrons in Al. Can. J. Research A 15, 39, 1937.
33) White, P and Millington, G.: The velocity distribution of β-particles after passing through thin foils. Proc. Roy. Soc. A120, 701, 1928.
34) Schmidt. H.: Physik. Z. 8, 361, 1907.
35) Madgwick, E.: The absorption and reduction in velocity of β-rays on their passage through matter. Proc. Camb Phil. Soc. 23, 970, 1927.
36) Cook, C.S and Langer. L.M.: The beta-spectra of Cu^{64} as a test of the Fermi theory. Prys. Rev. 73, 601, 1948.
37) Cook, C.S., Langer. L.M. and Price. C.: Study of the beta-spectra of C^{14} and S^{35}. Phys. Rev. 74, 548, 1948.
38) Wu. C.S. and Albert. R.D.: The bete-ray spectra of Cu^{64}. Phys. Rev. 75, 315, 1949.
39) Reitz, J.R.: The effect of screening on beta-ray spectra and internal conversion. Phys. Rev. 77, 10, 1950.
40) Bethe. H.: Bremsformel für Elektronen relativistischer Geschwindigkeit, Z. Physik. 76, 293, 1932.