

JAERI-M

5466

フィールド・チューブを設けた反跳陽子
比例計数管の特性

1973年12月

大部 誠・一守俊寛・白方敬章

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

この報告書は、日本原子力研究所がJAERI-Mレポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

フィールド・チューブを設けた反跳陽子比例計数管の特性

日本原子力研究所東海研究所原子炉工学部

大部 誠・一守俊寛・白方敬章

(1973年11月14日受理)

本報告書は、反跳陽子中性子スペクトロメータに用いる比例計数管の特性およびそのフィールド・チューブの改良について述べている。フィールド・チューブは従来の金属円筒電極の代りに磁器表面を金属皮膜化したものを用い、その構造はきわめて単純化された。計数管の分解能は非常によく、 ${}^3\text{He}(n, p)\text{T}$ 反応を利用して得た結果はガス増幅度 17.6 の点で 3.9% であった。ガス増幅度の飽和は単色中性子による計数管の応答から、集電極における全イオン対数が $2\sim 3 \times 10^5$ 個で起り初める。注射針型フィールド・チューブを備えた計数管がその構造上からチューブ部分で一次電離の信号を誘起することを実験的に確めた。これは、注射針型電極の計数管が、低いガス増幅度における使用に不適當であることを、磁器金属皮膜電極型のそれとの比較により示している。

Characteristics of the Proton-recoil Proportional
Counters with Field Tubes

Makoto OBU, Toshihiro ICHIMORI, Keisho SHIRAKATA

Div. of Reactor Engineering, Tokai, JAERI

(Received November 14, 1973)

The proportional counters used for a proton-recoil spectrometer and improvement made on the field tubes are described. Configuration of the electrodes is simplified by using a ceramic cylinder with metal layer, instead of the ordinary metallic tubes.

The resolution of counters is very high and shown to be 3.9 % at the gas multiplication of 17.6 for the hydrogen filling gas. From the responses of counters to mono-energetic neutrons, the saturation in gas multiplication is found to occur at about 2×10^5 ion pairs at the collecting electrode.

In the hypodermic-needle field-tubes, the events due to primary ionizations are caused. The hypodermic-needle type is thus not suitable in low gas multiplications.

目 次

1. 緒 言	1
2. 計 数 管	1
2.1 フィールド・チューブの構造	1
2.2 計 数 管	2
3. 一般特性	3
4. フィールド・チューブ印加電圧	4
5. ガス増幅飽和現象	5
6. 一次電離とその抑制	6
7. ま と め	6
謝 辞	7
参考文献	7

1. 緒 言

高速炉体系の炉内中性子スペクトルの測定では、計数管を直接原子炉内に挿入しなければならないので、計数管の大きさに制限をうける。これは、計数管の製作およびスペクトル算出に必要な計算管のパラメータの決定に種々の困難を伴うことになる。この事に関連して最近反跳陽子中性子スペクトロメータに使用している計数管のフィールドチューブの構造上の検討がされている¹⁾

従来使用されてきたフィールドチューブの問題点を考えてみると、(1) 電界調整用電極としてコパールなどの金属パイプを設ける方法は形状を複雑にする。(2) 陽極芯線の端末保持をかねてフィールドチューブに注射針状の金属チューブを用いる方法は構造の簡単さから小型計数管には適しているが、²⁾ 芯線とチューブ間の電氣的な導通が原因でチューブ部分で一次電離の信号が発生する恐れがある。

ここでは(1)の観点から、フィールドチューブとして磁器表面を金属皮膜加工したものをを用い、計数管の芯線保持および計数管の内部を気密にする機能とを一体化させた磁器気密端子を開発して比例計数管に適用した。計数管は熱中性子による ${}^3\text{He}(n, p)\text{T}$ 反応および単色中性子ビームを利用してその特性を求めて検討した。フィールドチューブの構造に関しては注射針電極型の計数管が一次電離の信号を誘起し、ガス増幅飽和現象と関連して高エネルギー領域の測定には不適當であることを指摘している。またガス増幅の飽和現象を単色中性子ビームを用いた計数管の方向依存の応答から推定して論議している。

2. 計 数 管

2.1 フィールドチューブの構造

円筒型比例計数管は、通常その両端に芯線を固定するための支持端子 (Support) を有するが、そのために芯線の端近くの電界にゆがみを生ずる。このため電極の終端近くでは、電界が弱まることからその周辺のガス増幅率が局部的に減少し、計数管の寸法から定まる有効体積と実際に計数管が動作するときの有効体積が異なることになってしまう。³⁾

この効果をさけて計数管の有効体積を正しく規定する方法の一つは、計数管の終端近くに中心芯線と同軸に電界補正電極としてのフィールドチューブを設けることである。もしフィールドチューブの表面電位を中心芯線から同じ距離だけはなれた場所のガス中の点の電位と等しくなるように保てば、芯線の終端近くの電界の乱れを抑えることができる。⁴⁾

今、円筒型比例計数管において Fig. 1 に示すように、陽極芯線の半径を a 、カソード半径を b 、フィールドチューブの外径を c とすると、フィールドチューブ表面に相当する距離の電位差 V_c は

$$V_c = V_0 \cdot \log \frac{b/c}{\log b/a}$$

1. 緒 言

高速炉体系の炉内中性子スペクトルの測定では、計数管を直接原子炉内に挿入しなければならないので、計数管の大きさに制限をうける。これは、計数管の製作およびスペクトル算出に必要な計算管のパラメータの決定に種々の困難を伴うことになる。この事に関連して最近反跳陽子中性子スペクトロメータに使用している計数管のフィールドチューブの構造上の検討がされている¹⁾

従来使用されてきたフィールドチューブの問題点を考えてみると、(1) 電界調整用電極としてコパールなどの金属パイプを設ける方法は形状を複雑にする。(2) 陽極芯線の端末保持をかねてフィールドチューブに注射針状の金属チューブを用いる方法は構造の簡単さから小型計数管には適しているが、²⁾ 芯線とチューブ間の電氣的な導通が原因でチューブ部分で一次電離の信号が発生する恐れがある。

ここでは(1)の観点から、フィールドチューブとして磁器表面を金属皮膜加工したものをを用い、計数管の芯線保持および計数管の内部を気密にする機能とを一体化させた磁器気密端子を開発して比例計数管に適用した。計数管は熱中性子による ${}^3\text{He}(n, p)\text{T}$ 反応および単色中性子ビームを利用してその特性を求めて検討した。フィールドチューブの構造に関しては注射針電極型の計数管が一次電離の信号を誘起し、ガス増幅飽和現象と関連して高エネルギー領域の測定には不適當であることを指摘している。またガス増幅の飽和現象を単色中性子ビームを用いた計数管の方向依存の応答から推定して論議している。

2. 計 数 管

2.1 フィールドチューブの構造

円筒型比例計数管は、通常その両端に芯線を固定するための支持端子 (Support) を有するが、そのために芯線の端近くの電界にゆがみを生ずる。このため電極の終端近くでは、電界が弱まることからその周辺のガス増幅率が局部的に減少し、計数管の寸法から定まる有効体積と実際に計数管が動作するときの有効体積が異なることになってしまう。³⁾

この効果をさけて計数管の有効体積を正しく規定する方法の一つは、計数管の終端近くに中心芯線と同軸に電界補正電極としてのフィールドチューブを設けることである。もしフィールドチューブの表面電位を中心芯線から同じ距離だけはなれた場所のガス中の点の電位と等しくなるように保てば、芯線の終端近くの電界の乱れを抑えることができる。⁴⁾

今、円筒型比例計数管において Fig. 1 に示すように、陽極芯線の半径を a 、カソード半径を b 、フィールドチューブの外径を c とすると、フィールドチューブ表面に相当する距離の電位差 V_c は

$$V_c = V_0 \cdot \log \frac{b/c}{\log b/a}$$

で与えられる。ここで V_0 は陽極供給電圧である。

従来フィールドチューブ付きの電極端子には、フィールドチューブにコパールなどの金属パイプを用い、それを支持する絶縁端子および陽極端子により構成されているが、形状が複雑となるので、製作に手数がかかり、小型化されにくい欠点があった。

ここではフィールドチューブと芯線保持および計数管内部を気密にする端子を、磁器を使用して一体構造とし、フィールドチューブ部分は磁器の表面を金属皮膜加工（通称メタライズ加工）して導電性をもたせたものを使用した。さらに電圧供給端子とフィールドチューブ間の導通もメタライズ処理でもたせてある。

フィールドチューブ付き磁器気密電極の外観をFig. 2に示す。図中の左端に見えるのは芯線保持線である。気密電極の右端は陽極端子で左端の円筒部分がメタライズしたフィールドチューブになっている。陽極芯線はフィールドチューブの回転中心を通過して陽極端子に結線される。中央部のメタライズ部分は気密電極を計数管本体に取付ける際にこの部分で低温半田仕上げで封じるためのものである。このように磁器を用いて各部分を一体化することにより製作が容易になり、加工精度が上がると同時に耐電圧の面からも有利となった。

用いた磁器はアルミナ磁器で、メタライズ厚みは $10\sim 30\mu$ である。なお材質の電気特性は耐電圧 $10KV/mm$ 、比誘電率は8.5である。

2.2. 計数管

実験に用いた比例計数管の構造をFig. 3-(a)-(c)に示す。図中の(a)は、水素ガス充填計数管で、本体はアルミ材質を使いその壁の厚さは $0.5mm$ である。計数管の端部には磁器気密電極を低温半田仕上げで封じてある。フィールドチューブの長さは $10mm$ であり、各電極には外部より電圧ラインを通じて電圧が供給される。前述の如く、フィールドチューブ印加端子と内部のフィールドチューブとはメタライズ皮膜により導通を保っている。

陽極芯線は直径 $0.0254mm$ ($1mil$)のソフトステンレス線を用い、その長さは $42mm$ である。芯線は磷青銅スプリングにより張力をかけている。

計数管のガス圧は計 $5.42atm$ でありその内容は H_2 ガス $5.14atm$ 、クエンチング用 CH_4 ガス $195.8mmHg$ およびエネルギー較正用 3He ガス $19.1mmHg$ からなっている。ガス封入管 ($1''$ 外径銅パイプ)はガス封入後機械的に圧着しその上を低温半田で封着した。水素計数管は低エネルギー領域の測定に使用する。

(b)はメタンガス充填計数管で、その構造は内径 $20mm$ フィールドチューブ長さ $15mm$ であることを除いては(a)と同様である。そのガス圧は計 $3.01atm$ でありそのうち $3.03atm$ の CH_4 とエネルギー較正用 3He $10mmHg$ を含む。

(c)には注射針をフィールドチューブとして用いた型の計数管の構造を示す。絶縁性支持端子は磁器を用いステンレス注射針の外径は $3mm$ であった。この型は(a), (b)型電極の計数管と特性の比較をするために準備したもので、電極の構造を除いては他の寸法、電極長さ、ガス圧などはすべて同じにつくってある。その他、工作上的比較のためステンレス壁の計数管も試作してあるが、特に大きな利点は見当らないようである。

3. 一般特性

計数管内のガス中にはエネルギー較正用の少量の ^3He ガスが封入してあり、計数管を熱中性子に照射することにより、 $^3\text{He}(n, p)\text{T}$ 反応の波高分布(764KeVピーク)が得られる。この反応ピークを利用して、製作した計数管のガス増幅度および分解能を測定した。

計数管をAm-Be 1.5 Ciの中性子源を埋込んだ43 cm×33 cm×40 cmのパラフィン・ブロック内で発生する熱中性子で照射し、その出力を前置増幅器、主増幅器およびマルチ・チャンネル波高分析器を通じて測定した。

Fig. 4に水素計数管で陽極電圧2700V印加の場合に得た陽子の応答を、Fig. 5には陽極印加電圧に対するガス増幅度の関係を示す。ガス増幅度は出力波高と印加電圧の関係から定まるが、計数管の印加電圧を下げてゆき、ガス増幅を行わなくなったときの出力波高値を基準点とし、それとの比較によりガス増幅度を決定した。

Fig. 6は計数管のガス増幅度に対する分解能(FWHM)の変化である。図からわかるように低いガス増幅度では分解能が悪くなって行くが、これは一次電極数の統計変動が悪くなるため、この要因による変動はガス増幅度が増すにつれて小さくなる。最もよい分解能はガス増幅度18(陽極電圧2700V)で得られ、その値は3.9%であった。この値は現在使われている反跳陽子比例計数管としてはかなり良い値であろう。ガス増幅度をさらに増加させると分解能は再び悪化する。ガス増幅度150近傍をさかいにして分解能は急激に悪化するが、これは空間電荷の飽和の影響として知られており^{5),6)}この領域の波高分布のピークの形には非対称性が出てくる。

水素計数管で得たデータを再びプロットして陽極電圧と分解能の関係を示した図を参考のためFig. 7に示した。

また上と同様の方法で行ったメタン計数管のガス増幅特性と分解能特性をそれぞれFig. 8とFig. 9に示す。

比例計数管では、印加電圧とガス増幅度の間にDiethorn⁷⁾が発表した次の関係が知られており計数管のエネルギー較正に広く利用されている^{2),3),8)}。

$$(\log M)/V = C(\log V) + D \quad (2)$$

ここでMはガス増幅度、Vは陽極印加電圧、CとDは計数管の形状で定まる定数である。

水素およびメタン計数管の(2)式を用いたDiethornプロットをFig. 10に示す。これはガス増幅度の一定範囲内でMとVの間に直線性が成り立つことを示した関係であるが、ここで得た結果では例えば水素計数管では $\log \cdot V$ が7.87から8.15の間で直線性が保持される。メタン計数管では7.60から7.87の範囲であった。

試みに注射針電極型の計数管を使って行った実験と上の結果とを比較した。例えば水素計数管の場合ガス増幅特性は注射針型と磁気気密電極型では約3%以内で一致し、これは各計数管の製作によるばらつきの範囲内である。分解能特性は注射針型の方がやや悪いが全体の傾向は

一致している。メタン計数管でも同様なことが言えるので、これからみて計数管の基本特性に
関しては両計数管の間に大きな相違はないように思われる。

4. フィールドチューブ印加電圧

フィールドチューブに印加する電圧は Eq.(1) で示されるように、計数管の電極寸法を固定し
た場合陽極電圧に比例するので、通常陽極電圧の関数として与えられる。

このフィールドチューブ電圧が正しく加えられているかどうかを、熱中性子反応のピークの
分解能が正しく加えられているかどうかを、熱中性子反応のピークの分解能の変化をみるこ
とにより実験的に確かめた。

もし、電圧の正しい印加により芯線端の電界の乱れを打ち消すことができれば、このとき計
数管の分解能は粒子の総計的変動によるものと、計数管の構造上および封入ガスの不純物によ
る出力形成過程によるものとに分けられるが、後者の原因によるものが小さい場合、得られる
分解能はガウス分布に近い形となる筈である。

一方フィールドチューブ電圧が最適値からずれた場合、それに起因するフィールドチューブ
の乱れは計数管の分解能を低下させるので、その様子は分解能の変化を観察することにより調
べられる。

Fig. 11 は水素カウンターの場合 $^3\text{He}(n, p)\text{T}$ 反応の波高分布を陽極電圧を一定にし
て、フィールド・チューブ電圧を変化させて得た結果である。波高分布は 764 KeV の顕著な
熱中性子ピーク部分とそれに続く下方チャンネルの Wall effect 部分とからなっている。チ
ャンネルの半値巾による分解能 (FWHM) はフィールドチューブ電圧の変化の範囲内ではあ
まり大きな影響を受けず、電界の乱れの効果はむしろピークの形のみに現れることがわかる。
電圧値 558 V をさかいにしてフィールド電圧の不足補償の場合は、ピーク値より高いチ
ャンネルに計数値がこぼれて形の裾がもち上るが過補償の場合は反対にけずられてピーク値より低
いチャンネル側がもち上る。以上の変化からピークの形をくずすことなくピークの形が対称形
を保つ電圧の値は 558 V 近辺にあることが知られるであろう。

つぎに各々の波高分布のピーク値と半値巾を使って、ピーク部分の形 (Wall effect によ
る部分を除く) をガウス分布に適合させた。ガウス分布からのずれはガウス分布に適合させた
ピーク部分の面積に対するガウス分布から外れた面積の百分率であらわすことができる。この
結果はフィールドチューブ電圧値 511 V の点で 17.3%, 558 V の点で 4% であるので値
を外挿すると電圧の最適値は 575 V 程度と思われる。

以上の結果から判断しても、計数管内で起った反応の中でフィールドチューブ電圧を変化さ
せて、ピークの形が変わった部分は電界の乱れを起した部分として理解できよう。電圧の変化を
これ以上大きくすると乱れの部分はさらに大きくなる。

Fig. 12 と 13 に比較のため陽極電圧 2900 V と 3200 V の場合の同様な測定結果を示す。
分解能は 2700 V のときに比べて低下している。陽極電圧 2900 V と 3200 V の場合の同様
な測定結果を示す。分解能は 2700 V のときに比べて低下している。陽極電圧が高くなり分

一致している。メタン計数管でも同様なことが言えるので、これからみて計数管の基本特性に
関しては両計数管の間に大きな相違はないように思われる。

4. フィールドチューブ印加電圧

フィールドチューブに印加する電圧は Eq.(1) で示されるように、計数管の電極寸法を固定し
た場合陽極電圧に比例するので、通常陽極電圧の関数として与えられる。

このフィールドチューブ電圧が正しく加えられているかどうかを、熱中性子反応のピークの
分解能が正しく加えられているかどうかを、熱中性子反応のピークの分解能の変化をみるこ
とにより実験的に確かめた。

もし、電圧の正しい印加により芯線端の電界の乱れを打ち消すことができれば、このとき計
数管の分解能は粒子の総計的変動によるものと、計数管の構造上および封入ガスの不純物によ
る出力形成過程によるものとに分けられるが、後者の原因によるものが小さい場合、得られる
分解能はガウス分布に近い形となる筈である。

一方フィールドチューブ電圧が最適値からずれた場合、それに起因するフィールドチューブ
の乱れは計数管の分解能を低下させるので、その様子は分解能の変化を観察することにより調
べられる。

Fig. 11 は水素カウンターの場合 ${}^3\text{He}(n, p)\text{T}$ 反応の波高分布を陽極電圧を一定にし
て、フィールド・チューブ電圧を変化させて得た結果である。波高分布は 764 KeV の顕著な
熱中性子ピーク部分とそれに続く下方チャンネルの Wall effect 部分とからなっている。チ
ャンネルの半値巾による分解能 (FWHM) はフィールドチューブ電圧の変化の範囲内ではあ
まり大きな影響を受けず、電界の乱れの効果はむしろピークの形のみに現れることがわかる。
電圧値 558 V をさかいにしてフィールド電圧の不足補償の場合は、ピーク値より高いチ
ャンネルに計数値がこぼれて形の裾がもち上るが過補償の場合は反対にけずられてピーク値より低
いチャンネル側がもち上る。以上の変化からピークの形をくずすことなくピークの形が対称形
を保つ電圧の値は 558 V 近辺にあることが知られるであろう。

つぎに各々の波高分布のピーク値と半値巾を使って、ピーク部分の形 (Wall effect によ
る部分を除く) をガウス分布に適合させた。ガウス分布からのずれはガウス分布に適合させた
ピーク部分の面積に対するガウス分布から外れた面積の百分率であらわすことができる。この
結果はフィールドチューブ電圧値 511 V の点で 17.3%、558 V の点で 4% であるので値
を外挿すると電圧の最適値は 575 V 程度と思われる。

以上の結果から判断しても、計数管内で起った反応の中でフィールドチューブ電圧を変化さ
せて、ピークの形が変わった部分は電界の乱れを起した部分として理解できよう。電圧の変化を
これ以上大きくすると乱れの部分はさらに大きくなる。

Fig. 12 と 13 に比較のため陽極電圧 2900 V と 3200 V の場合の同様な測定結果を示す。
分解能は 2700 V のときに比べて低下している。陽極電圧 2900 V と 3200 V の場合の同様
な測定結果を示す。分解能は 2700 V のときに比べて低下している。陽極電圧が高くなり分

解能にガス増幅度の飽和の影響がでてくるとこのときはフィールドチューブ電圧が最適値であってもピークの形はもはやガウス分布には適合しなくなる。しかしいずれの場合にもピークにあらわれる乱れの振舞いは上に述べた状態と本質的に同じ傾向を示している。

5. ガス増幅飽和現象

比例計数管を中性子スペクトロメータとして使用する場合、入射中性子と検出器の出力波高との間に比例関係が成り立つことが必要であり、ガス増幅の直線性の成り立つ範囲内で計数管を使用しなければならない。ガス増幅の直線性を悪化させる飽和現象は空間電荷による電界の遮蔽効果によるものであり、直線性の関係の成り立つエネルギーの上限は、計数管内でガス増幅後生じるイオン対総数の使用限度を定めることになる。また計数管への入射放射線の量が多いと計数管内のイオン密度が上り電界を弱めるため飽和の原因となることも考慮すべきであろう。

ここでは検出器に 2 MeV ヴァン・デ・グラーフ型加速器から発生する単色中性子を検出器の軸方向と直角方向に入射させて（芯線に対して局所的にイオン対を増大させる目的で）その出力波高分布に生ずる飽和現象を調べた。

Fig. 14 と 15 は加速器の P-T 反応から得られる 300 KeV の中性子を水素計数管の芯線に直角と平行方向に入射させて得た入射中性子の方向に依存する波高分布である。陽極電圧が 2800 V（ガス増幅度 24）の点では波高分布に、入射方向による違いはでていない。3000 V（ガス増幅度 47）の点では明らかに差が出ており、直角方向入射の方が平行入射に比べて波高が低い方にずれた分布となる。従って芯線の局所的な部分でガス増幅が行われた場合、ガス増幅の飽和が起り始める条件下の全イオン対数を推定すると、この場合 $2 \sim 3 \times 10^5$ 程度である。

同様の方法でメタン計数管の芯線に直角方向と平行方向に 574 KeV の単色中性子を入射させたときの陽極電圧 2500 V（ガス増幅度 25）の点におけるパルス波高分布を Fig. 16 に示す。この点ではわずかに分布の違いが起り始めている。測定の結果ガス増幅の飽和が起らない限界は 2300 V（ガス増幅度 12）以下の領域でこのときの総イオン対数は $\sim 2 \times 10^5$ であった。この値は前の水素計数管の実験結果とよく一致している。

ガス増幅の飽和は Diethorn プロットにも直線性からのずれとなって現れるが、これはガス増幅と電圧の関係がガス増幅度の直線性を仮定しているため飽和の影響がプロットの縦軸にあらわれるためである。この影響は直接的には前節で述べたように熱中性子反応のピークの分解能の広がりをとるなり。プロットによりガス増幅の変化をみる方法は電圧に対してあまり敏感でないのでこれから求めた計数管の使用領域はガス増幅飽和の影響を過大評価することになる。例えば前節の Fig. 10 に示す水素計数管のプロットでは、ガス増幅度 200 まで直線性を保つことが確かめられている。この点における総イオン対数を推定すると、約 6×10^6 個である。その他高いガス増幅領域においては、高いエネルギー較正源を使うと飽和点の使用エネルギーに依存する恐れがあるので注意を要する。

解能にガス増幅度の飽和の影響がでてくるとこのときはフィールドチューブ電圧が最適値であってもピークの形はもはやガウス分布には適合しなくなる。しかしいずれの場合にもピークにあらわれる乱れの振舞いは上に述べた状態と本質的に同じ傾向を示している。

5. ガス増幅飽和現象

比例計数管を中性子スペクトロメータとして使用する場合、入射中性子と検出器の出力波高との間に比例関係が成り立つことが必要であり、ガス増幅の直線性の成り立つ範囲内で計数管を使用しなければならない。ガス増幅の直線性を悪化させる飽和現象は空間電荷による電界の遮蔽効果によるものであり、直線性の関係の成り立つエネルギーの上限は、計数管内でガス増幅後生じるイオン対総数の使用限度を定めることになる。また計数管への入射放射線の量が多いと計数管内のイオン密度が上り電界を弱めるため飽和の原因となることも考慮すべきであろう。

ここでは検出器に 2 MeV ヴァン・デ・グラーフ型加速器から発生する単色中性子を検出器の軸方向と直角方向に入射させて（芯線に対して局所的にイオン対を増大させる目的で）その出力波高分布に生ずる飽和現象を調べた。

Fig. 14 と 15 は加速器の P-T 反応から得られる 300 KeV の中性子を水素計数管の芯線に直角と平行方向に入射させて得た入射中性子の方向に依存する波高分布である。陽極電圧が 2800V（ガス増幅度 24）の点では波高分布に、入射方向による違いはでていない。3000V（ガス増幅度 47）の点では明らかに差が出ており、直角方向入射の方が平行入射に比べて波高が低い方にずれた分布となる。従って芯線の局所的な部分でガス増幅が行われた場合、ガス増幅の飽和が起り始める条件下の全イオン対数を推定すると、この場合 $2 \sim 3 \times 10^5$ 程度である。

同様の方法でメタン計数管の芯線に直角方向と平行方向に 574 KeV の単色中性子を入射させたときの陽極電圧 2500V（ガス増幅度 25）の点におけるパルス波高分布を Fig. 16 に示す。この点ではわずかに分布の違いが起り始めている。測定の結果ガス増幅の飽和が起らない限界は 2300V（ガス増幅度 12）以下の領域でこのときの総イオン対数は $\sim 2 \times 10^5$ であった。この値は前の水素計数管の実験結果とよく一致している。

ガス増幅の飽和は Diethorn プロットにも直線性からのずれとなって現れるが、これはガス増幅と電圧の関係がガス増幅度の直線性を仮定しているため飽和の影響がプロットの縦軸にあらわれるためである。この影響は直接的には前節で述べたように熱中性子反応のピークの分解能の広がりをもとに。プロットによりガス増幅の変化をみる方法は電圧に対してあまり敏感でないのでこれから求めた計数管の使用領域はガス増幅飽和の影響を過大評価することになる。例えば前節の Fig. 10 に示す水素計数管のプロットでは、ガス増幅度 200 まで直線性を保つことが確かめられている。この点における総イオン対数を推定すると、約 6×10^6 個である。その他高いガス増幅領域においては、高いエネルギー較正源を使うと飽和点の使用エネルギーに依存する恐れがあるので注意を要する。

6. 一次電離とその抑制

電界の有効範囲を規定するために注射針を使っている型の計数管は構造が簡単で、取扱いが容易であるのでよく使われる。

しかし、注射針と芯線が一体構造になっており両者間に電気的な導通があるので、注射針部分ではガス増幅が行なわれぬが、一次電離に対する出力が発生する欠点がある。この一次電離効果の信号パルスに対する寄与は、ガス増幅が低くなるにつれ大きくなっていくので、比較的高い入射エネルギーと低いガス増幅領域で使用するメタン計数管では特に問題になる。

一次電離効果は陽性とフィールドチューブが分離した構造の電界補正電極をもつ計数管を使うことによりさけることができる。磁器気密電極型および注射針電極型のメタン計数管に単色中性子を照射してその応答を求め両者を比較した。Fig. 17は注射針型メタン計数管に787 KeVの中性を入射させたときの増幅度2.4および3.7におけるパルス波高分布である。一次電離部分が反跳陽子スペクトルの矩形分布に重なり低パルス波高チャンネルにこぶをつくっている。図ではガス増幅度を変化させても一次電離のこぶの位置が移動しないことを示す（一次電離の波高値はガス増幅度に依存しない）。これらの一次電離出力の発生状態は ${}^3\text{He}(n, p)T$ 反応による熱中性子ピークのパルス波高分布が計数管のガス増幅度が1に相当するチャンネルで発生することでも確めた。

反跳陽子スペクトルによる分布からこの一次電離による寄与を除かなければならないが、両者を分離することは非常に困難であり、實際上この影響がおよんでいるチャンネル以下のエネルギー領域は使用できないことになろう。

メタン計数管による中性子スペクトル測定ではガス増幅の飽和をさけるため低いガス増幅度で動作させる使用が多いが、この場合には一次電離効果の影響は相対的に大きくなる。

磁器気密電極型と注射針電極型のメタン計数管の波高分布を同じ照射条件で比較した結果をFig. 18に示す。磁器気密電極型の計数管は明らかに一次電離の効果を生じないことがわかる。

両計数管は前述の如く寸法、形状、ガス圧などが同じ条件になるように作ってあるので、ここにおける結果は明らかに電極構造の改造によるものと言えるであろう。

7. ま と め

計数管については注射針式の支持構造は一次電離の発生を伴うのでよくなく、陽極と補正電極とが分離している構造でなければならない。特に一次電離の影響は低エネルギー領域で高いガス増幅度で用いる水素計数管では比較的少ないが、低ガス増幅度で用いるメタン計数管では無視できない。

ここで示した磁器気密電極は上の要求を満たすと同時に、形状が単純化されて製品にばらつきが少ない、寸法精度が出し易い、小型化に適しているなど多くの利点があることがわかった。中性子源を用いた計数管の特性試験の結果は良好で本計数管が中性子スペクトルの検出器としてすぐれていることが検討された。

6. 一次電離とその抑制

電界の有効範囲を規定するために注射針を使っている型の計数管は構造が簡単で、取扱いが容易であるのでよく使われる。

しかし、注射針と芯線が一体構造になっており両者間に電気的な導通があるので、注射針部分ではガス増幅が行なわれないが、一次電離に対する出力が発生する欠点がある。この一次電離効果の信号パルスに対する寄与は、ガス増幅が低くなるにつれ大きくなっていくので、比較的高い入射エネルギーと低いガス増幅領域で使用するメタン計数管では特に問題になる。

一次電離効果は陽性とフィールドチューブが分離した構造の電界補正電極をもつ計数管を使うことによりさげることができる。磁器気密電極型および注射針電極型のメタン計数管に単色中性子を照射してその応答を求め両者を比較した。Fig. 17は注射針型メタン計数管に787 KeVの中性を入射させたときの増幅度2.4および3.7におけるパルス波高分布である。一次電離部分が反跳陽子スペクトルの矩型分布に重なり低パルス波高チャンネルにこぶをつくっている。図ではガス増幅度を変化させても一次電離のこぶの位置が移動しないことを示す（一次電離の波高値はガス増幅度に依存しない）。これらの一次電離出力の発生状態は ${}^3\text{He}(n, p)T$ 反応による熱中性子ピークのパルス波高分布が計数管のガス増幅度が1に相当するチャンネルで発生することでも確めた。

反跳陽子スペクトルによる分布からこの一次電離による寄与を除かなければならないが、両者を分離することは非常に困難であり、實際上この影響がおよんでいるチャンネル以下のエネルギー領域は使用できないことになろう。

メタン計数管による中性子スペクトル測定ではガス増幅の飽和をさげるため低いガス増幅度で動作させる使用が多いが、この場合には一次電離効果の影響は相対的に大きくなる。

磁器気密電極型と注射針電極型のメタン計数管の波高分布を同じ照射条件で比較した結果をFig. 18に示す。磁器気密電極型の計数管は明らかに一次電離の効果を生じないことがわかる。

両計数管は前述の如く寸法、形状、ガス圧などが同じ条件になるように作ってあるので、ここにおける結果は明らかに電極構造の改造によるものと言えるであろう。

7. ま と め

計数管については注射針式の支持構造は一次電離の発生を伴うのでよくなく、陽極と補正電極とが分離している構造でなければならない。特に一次電離の影響は低エネルギー領域で高いガス増幅度で用いる水素計数管では比較的少ないが、低ガス増幅度で用いるメタン計数管では無視できない。

ここで示した磁器気密電極は上の要求を満たすと同時に、形状が単純化されて製品にばらつきが少ない、寸法精度が出し易い、小型化に適しているなど多くの利点があることがわかった。中性子源を用いた計数管の特性試験の結果は良好で本計数管が中性子スペクトルの検出器としてすぐれていることが検討された。

ガス増幅の飽和現象は単色中性子ビームによる計数管の方向依存性の応答から確めたが、これを Diethorn プロットによる直線性のずれから求めると過大評価となるので注意を要する。

謝 辞

本実験を遂行するにあたり種々の御協力を頂いた高速物理研究室およびFCA管理機関の諸氏に深く感謝致します。また計数管の設計製作については工作課山本正弘、高五三郎両氏に負うところが大きく、ここに感謝します。

参 考 文 献

- 1) 一守俊寛, 大部誠, 白方敬章; 反跳陽子比例計数管による高速中性子スペクトル測定に関する問題点, KURRI-TR-89, P.80~P.86(1971).
- 2) E.F.Bennett; Fast Neutron Spectroscopy by Proton-Recoil Proportional Counting, Nucl. Sci. Eng. 27, 16-27(1967).
- 3) E.F.Bennett, T.J.Yule; Response Function For Proton-Recoil Proportional Counter Spectrometer, Nucl. Inst. & Methods 98, 393-412(1972).
- 4) A.L.Cockroft, S.C.Curran; The Elimination of the End Effects in counters, Rev. Scientific Instr. Vol. 22-No.1, July (1951).
- 5) P.W.Benjamin, C.D.Kemshall, J.Redfearn; A High Resolution Spherical Proportional Counter, Nucl. Inst. & Methods 59, P77-P.85(1968).
- 6) G.C.Hanna, D.H.W.Kirkwood, B.Pontecorvo; High Multiplication Proportional counters for Energy Measurements, Phys. Rev. 75, P.985(1949).
- 7) W.Diethorn, A Methane Proportional counter System for Natural Radio-Carbon Measurements; MYO-6628, March (1956).
- 8) A.M.Broomfield, M.D.Carter; Proton Recoil Counter Techniques in ZEBRA, AEEW-M905, Dec.(1969).

ガス増幅の飽和現象は単色中性子ビームによる計数管の方向依存性の応答から確めたが、これを Diethorn プロットによる直線性のずれから求めると過大評価となるので注意を要する。

謝 辞

本実験を遂行するにあたり種々の御協力を頂いた高速物理研究室およびFCA管理機関の諸氏に深く感謝致します。また計数管の設計製作については工作課山本正弘、高五三郎両氏に負うところが大きく、ここに感謝します。

参 考 文 献

- 1) 一守俊寛, 大部誠, 白方敬章; 反跳陽子比例計数管による高速中性子スペクトル測定に関する問題点, KURRI-TR-89, P.80~P.86(1971).
- 2) E.F.Bennett; Fast Neutron Spectroscopy by Proton-Recoil Proportional Counting, Nucl. Sci. Eng. 27, 16-27(1967).
- 3) E.F.Bennett, T.J.Yule; Response Function For Proton-Recoil Proportional Counter Spectrometer, Nucl. Inst. & Methods 98, 393-412(1972).
- 4) A.L.Cockroft, S.C.Curran; The Elimination of the End Effects in counters, Rev. Scientific Instr. Vol. 22-No.1, July (1951).
- 5) P.W.Benjamin, C.D.Kemshall, J.Redfean; A High Resolution Spherical Proportional Counter, Nucl. Inst. & Methods 59, P77-P.85(1968).
- 6) G.C.Hanna, D.H.W.Kirkwood, B.Pontecorvo; High Multiplication Proportional counters for Energy Measurements, Phys. Rev. 75, P.985(1949).
- 7) W.Diethorn, A Methane Proportional counter System for Natural Radio-Carbon Measurements; MYO-6628, March (1956).
- 8) A.M.Broomfield, M.D.Carter; Proton Recoil Counter Techniques in ZEBRA, AEEW-M905, Dec.(1969).

ガス増幅の飽和現象は単色中性子ビームによる計数管の方向依存性の応答から確めたが、これを Diethorn プロットによる直線性のずれから求めると過大評価となるので注意を要する。

謝 辞

本実験を遂行するにあたり種々の御協力を頂いた高速物理研究室およびFCA管理機関の諸氏に深く感謝致します。また計数管の設計製作については工作課山本正弘、高五三郎両氏に負うところが大きく、ここに感謝します。

参 考 文 献

- 1) 一守俊寛, 大部誠, 白方敬章; 反跳陽子比例計数管による高速中性子スペクトル測定に関する問題点, KURRI-TR-89, P.80~P.86(1971).
- 2) E.F.Bennett; Fast Neutron Spectroscopy by Proton-Recoil Proportional Counting, Nucl. Sci. Eng. 27, 16-27(1967).
- 3) E.F.Bennett, T.J.Yule; Response Function For Proton-Recoil Proportional Counter Spectrometer, Nucl. Inst. & Methods 98, 393-412(1972).
- 4) A.L.Cockroft, S.C.Curran; The Elimination of the End Effects in counters, Rev. Scientific Instr. Vol. 22-No.1, July (1951).
- 5) P.W.Benjamin, C.D.Kemshall, J.Redfean; A High Resolution Spherical Proportional Counter, Nucl. Inst. & Methods 59, P77-P.85(1968).
- 6) G.C.Hanna, D.H.W.Kirkwood, B.Pontecorvo; High Multiplication Proportional counters for Energy Measurements, Phys. Rev. 75, P.985(1949).
- 7) W.Diethorn, A Methane Proportional counter System for Natural Radio-Carbon Measurements; MYO-6628, March (1956).
- 8) A.M.Broomfield, M.D.Carter; Proton Recoil Counter Techniques in ZEBRA, AEEW-M905, Dec.(1969).

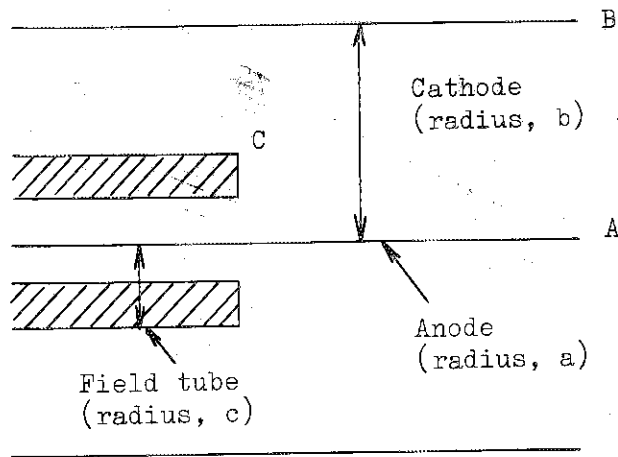


Fig. 1 Arrangement of the counter electrode

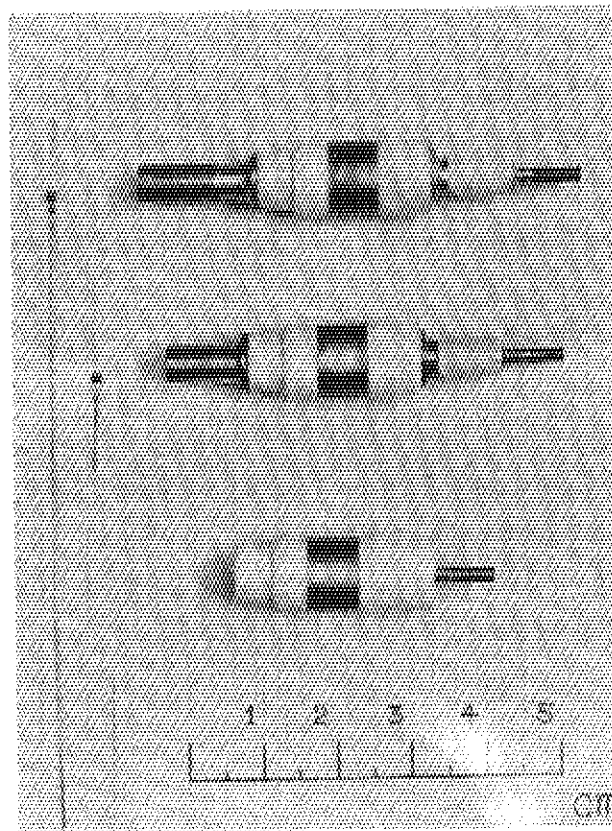


Fig. 2 Metallized ceramic units

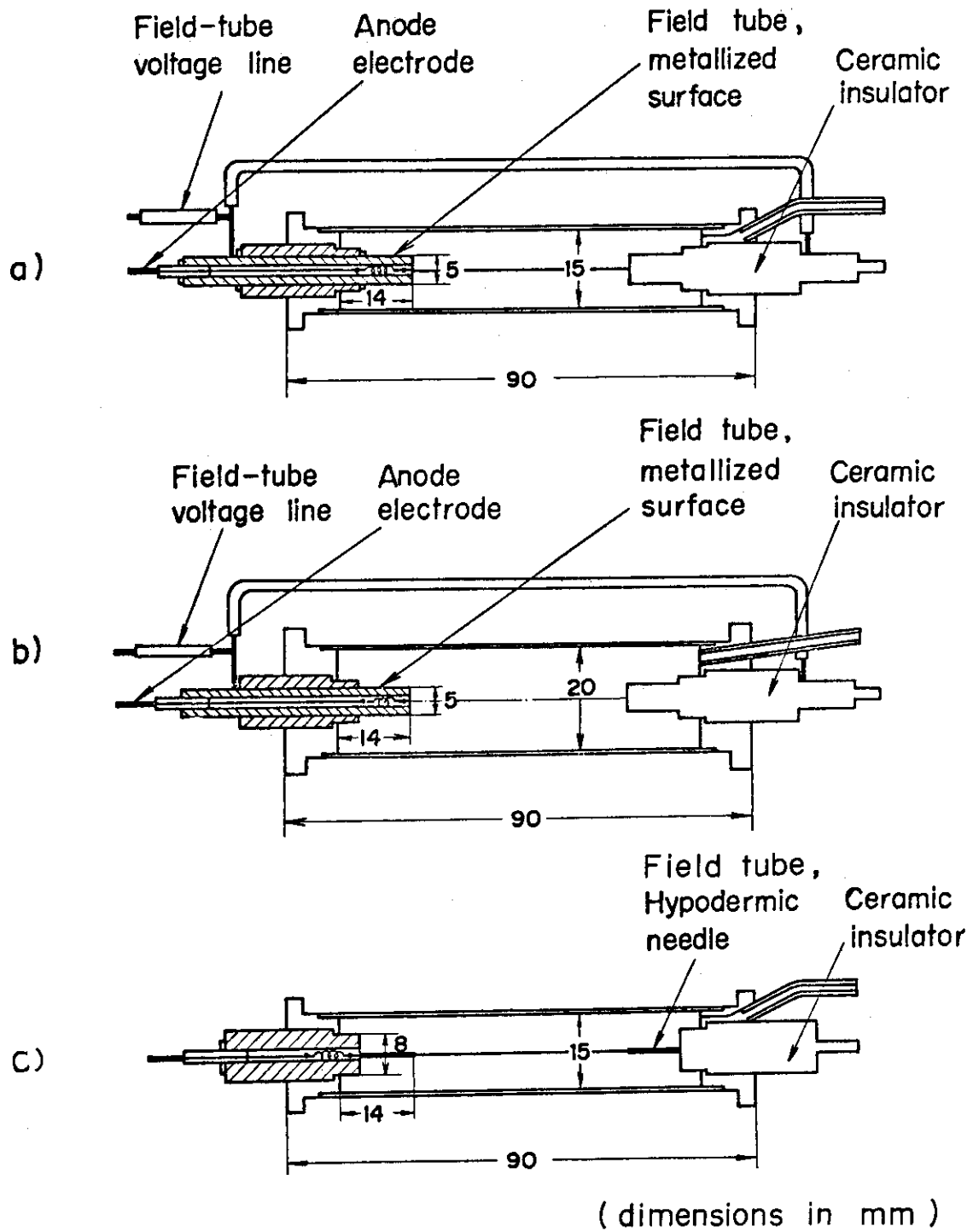


Fig. 3 Construction of counters ; a) hydrogen-filled counter, b) methane-filled counter, c) type having field tube with hypodermic needle

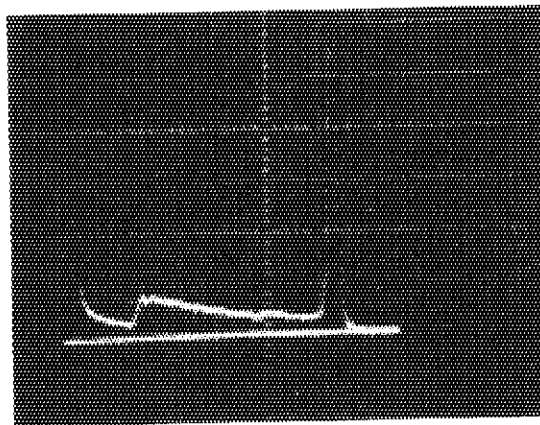


Fig. 4 Counter response to monoenergetic protons obtained by $^3\text{He}(n,p)\text{T}$ reaction (Hydrogen counter ; anode voltage : 2700 V ; field-tube voltage : 558 V)

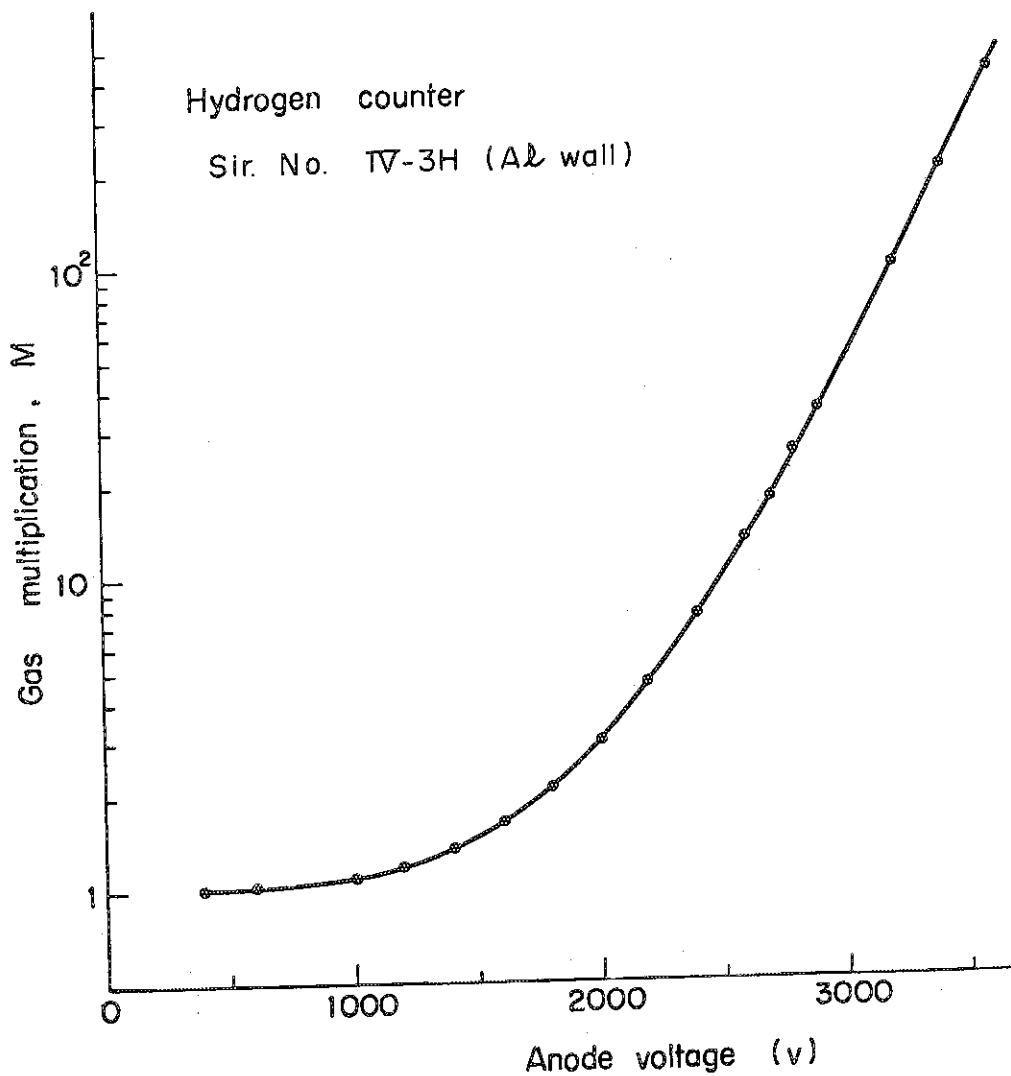


Fig. 5 Gas multiplication vs. anode voltage in the hydrogen counter

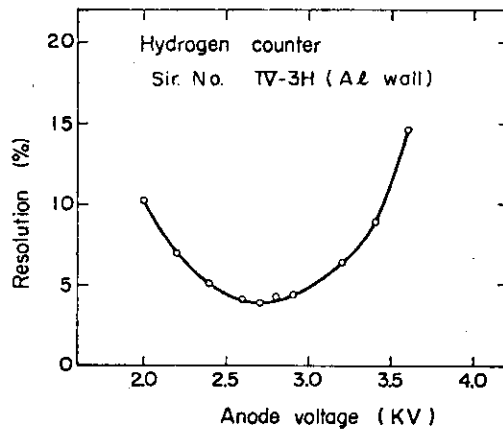


Fig. 6 Variation of counter resolution with gas multiplication in the hydrogen counter

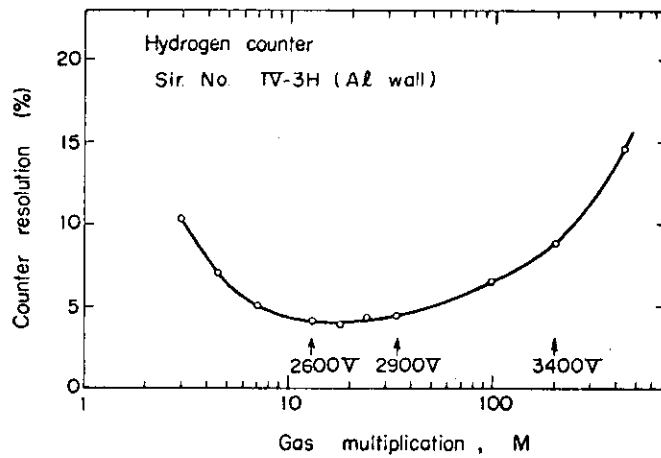


Fig. 7 Variation of counter resolution with anode voltage

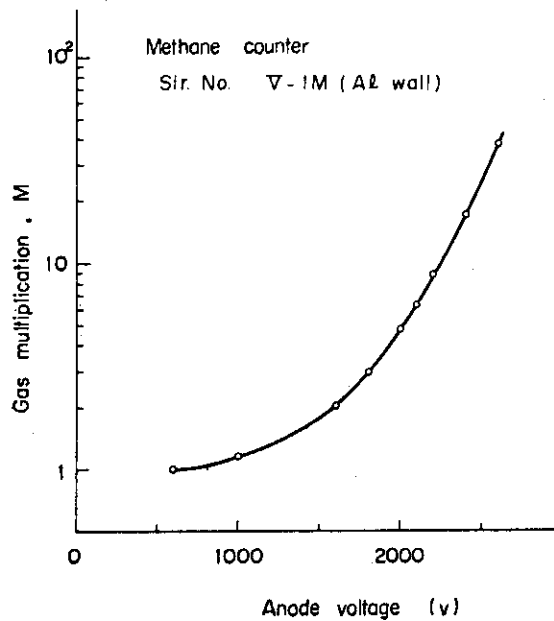


Fig. 8 Gas multiplication vs. anode voltage in the methane counter

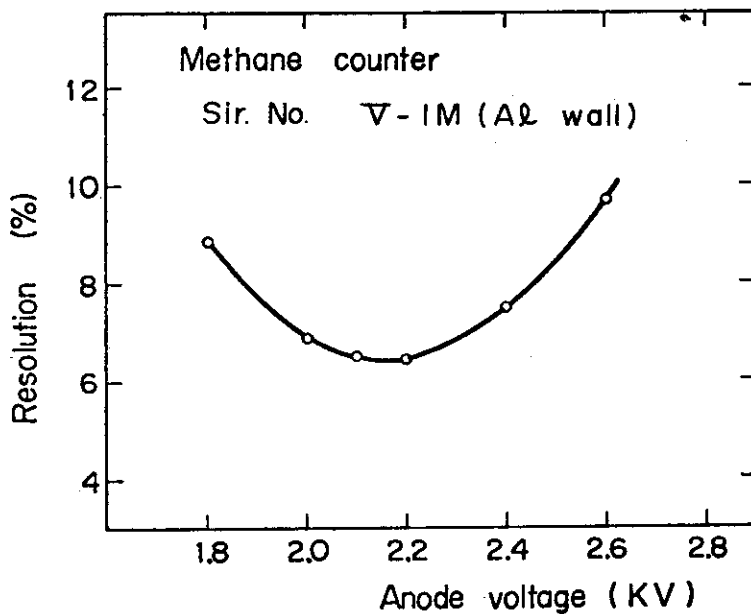


Fig. 9 Variation of resolution vs. anode voltage

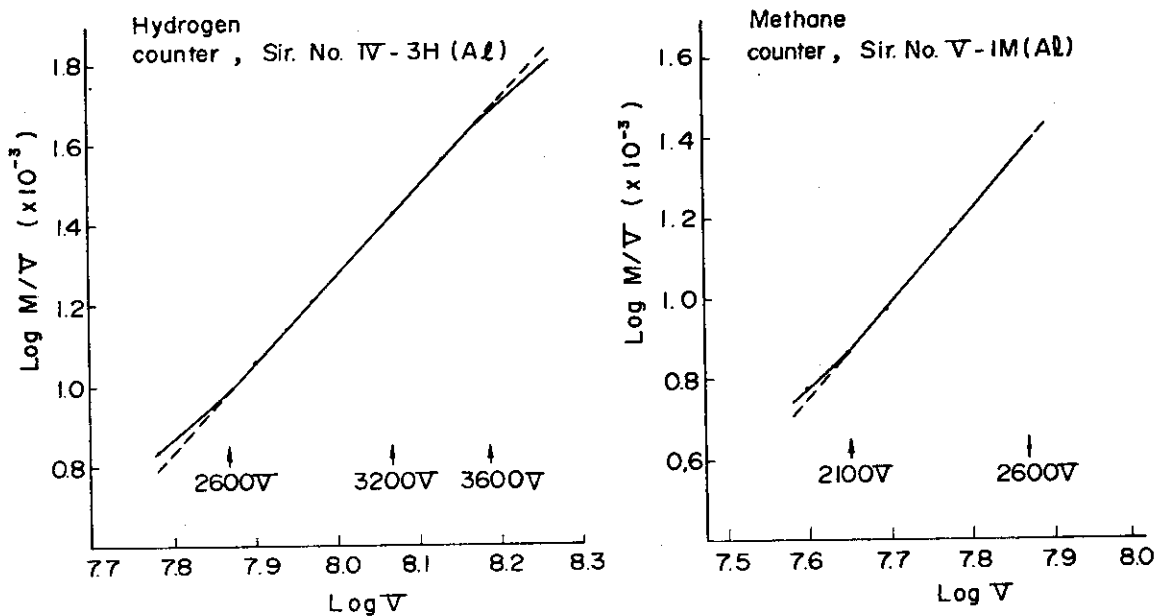


Fig. 10 Variation of gas multiplication with anode voltage (Diethorn plot)

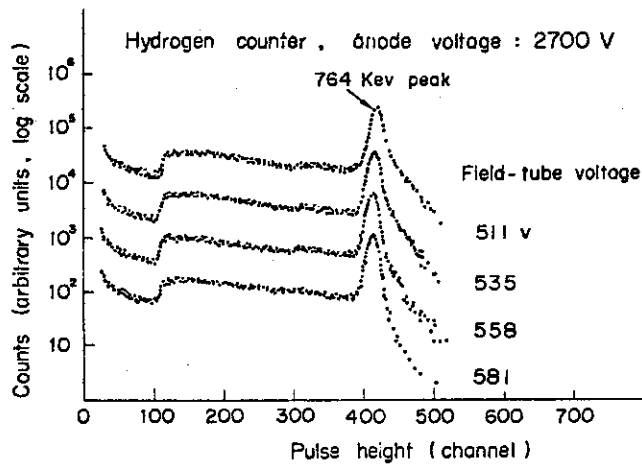


Fig. 11 Change in shape of ^3He peak to field-tube voltage (at constant anode voltage)

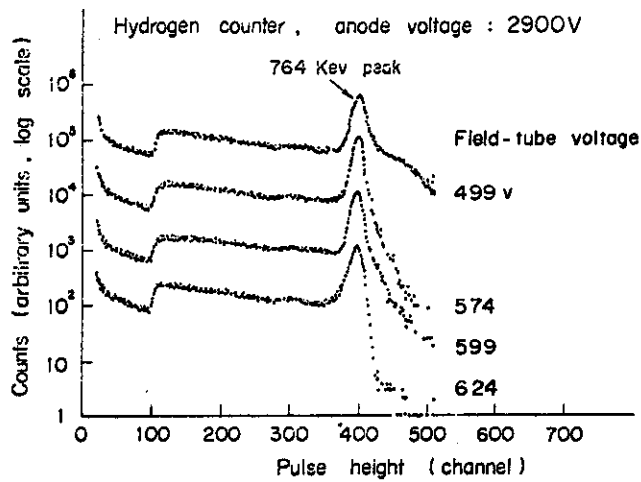


Fig. 12 Change in shape of ^3He peak to field-tube voltage (anode voltage ; 2900 V const.)

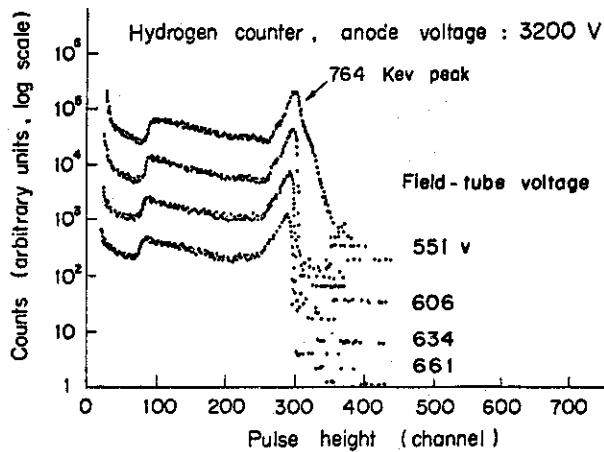


Fig. 13 Change in shape of ^3He peak to field-tube voltage (anode voltage : 3200 V const.)

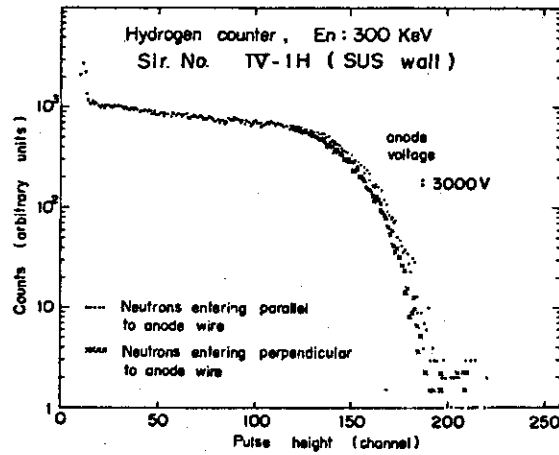


Fig. 14 Pulse height saturation in counter response to monoenergetic neutrons (gas multi. : 47)

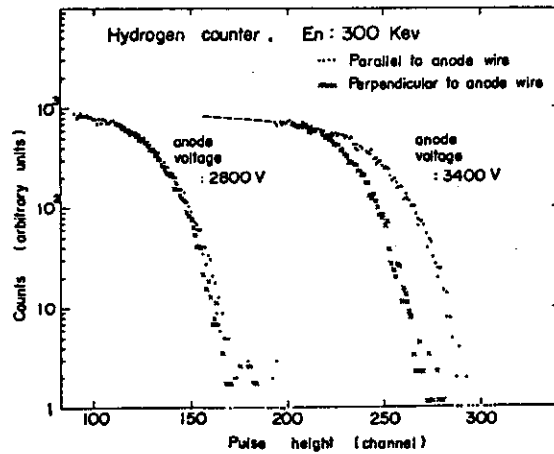


Fig. 15 Pulse height saturation in counter response to monoenergetic neutrons (gas multi. : 24 and 201)

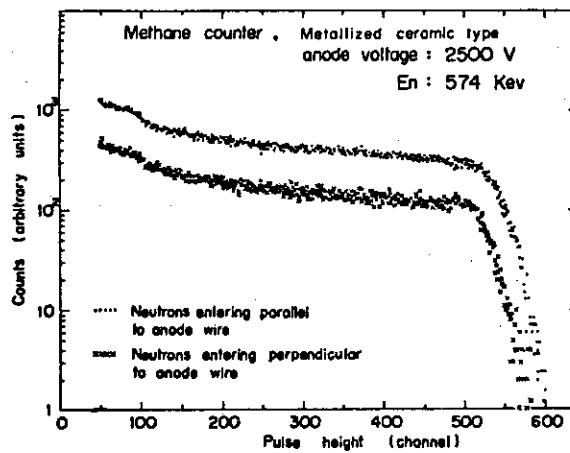


Fig. 16 Pulse height saturation in counter response to monoenergetic neutrons (gas multi. ; 25)

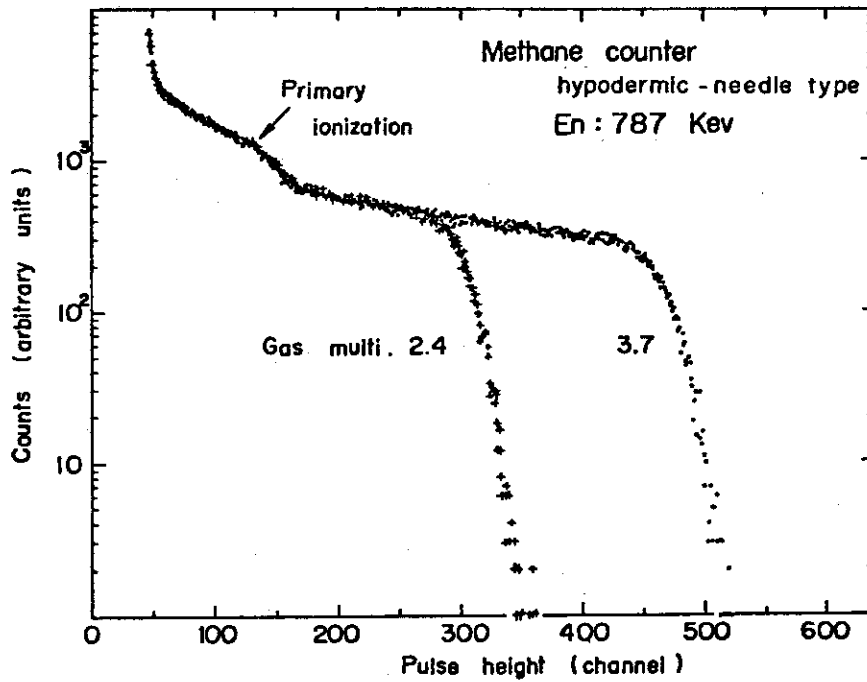


Fig. 17 Pulse height distributions in the counter of the hypodermic-needle type to 787 KeV neutrons

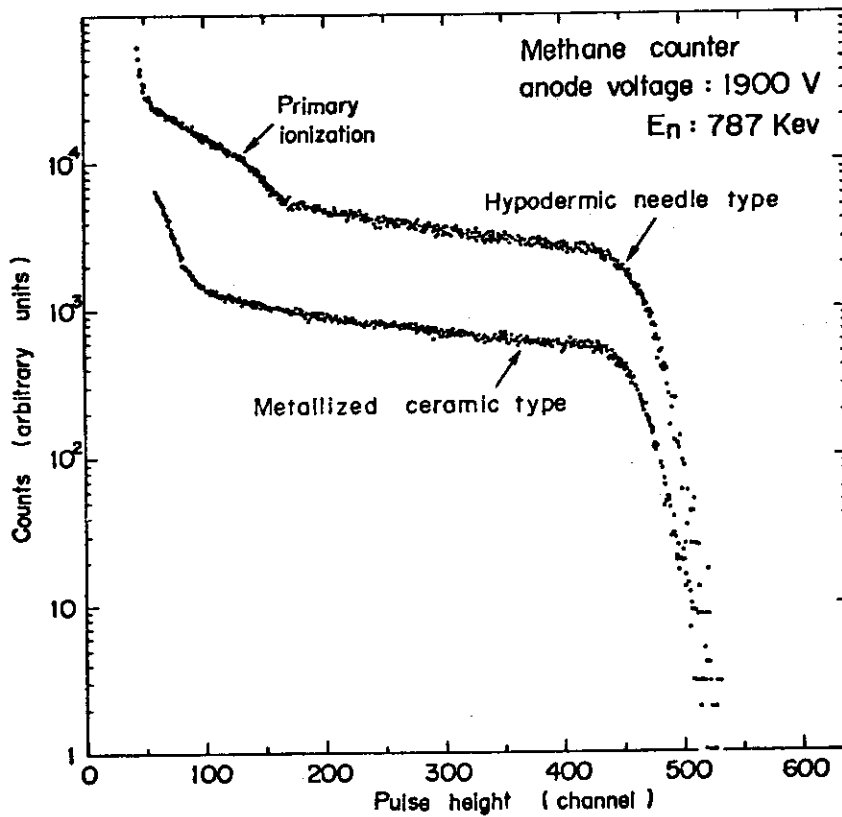


Fig. 18 Comparison between pulse height distributions obtained with hypodermic-needle type and metallized ceramic type counters