

氏 名	お 小 はま た ろう 濱 太 郎
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	論 理 博 第 1418 号
学位授与の日付	平 成 15 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	Application of an Electron-Tube Technique to the VENUS vertex chamber (電子管技術の VENUS パーテックスチェンバーへの応用)
論文調査委員	(主 査) 教 授 笹 尾 登 教 授 谷 森 達 教 授 西 川 公 一 郎

論 文 内 容 の 要 旨

本学位論文では高エネルギー実験において用いるドリフトチェンバーを設計し解析するための新しい手法について記述する。この手法は電子管とチェンバーの類似性に着目し、ドリフトチェンバーをグリッド電極を有するガスで満たされた三極管と見なす事により電子管理論をチェンバーに適用するものである。この手法は電極(ワイヤー)の電位や電荷、および電極間の電界を計算する解析的な方法を与える。また、飛跡通過位置(X)とドリフト時間(T)の関係(X - T relation)を半解析的に導き、得られる信号の具体的な形の予測を可能にする。この手法は本来 TRISTAN e^+e^- コライダーで VENUS デテクターの中に設置したパーテックスチェンバーを設計するために開発したものであるが、VENUS パーテックスチェンバーと類似の周期性を持つどのようなチェンバーにも応用可能である。VENUS パーテックスチェンバーで実際に得られたアノード信号の形やグリッド電流は、この手法による予測と良く一致している事が確かめられた。以下により詳しい説明を行う。

パーテックスチェンバーは12個の同一のセクターを持ち、外観は円筒型のドリフトチェンバーである。その断面は輪切りにしたオレンジの形状に似ている。1つのセクターは我々が“単位セル (unit cell)”と呼んでいる16の小さな領域に分かれている。各単位セルはアノードワイヤーを中心に3種の別の電極があり、それらをポテンシャル、グリッドそしてカソードワイヤーと呼ぶ。単位セルは2本のポテンシャルワイヤー、4本のグリッドワイヤー、6本のカソードワイヤーが1本のアノードワイヤーを囲む形になっている。アノード、ポテンシャル、グリッド、カソードワイヤーの半径はワイヤー間隔に比べ非常に小さい。ここでチェンバーと3極管の間の類似性に着目する。電子管においては、電子はカソード(フィラメント)によって放出され、アノードによって集められる。チェンバーでは、アノードワイヤー表面でガス増殖が起こり、見かけ上、イオンがアノードワイヤーから放出され、カソードと他のワイヤーによって集められる。パーテックスチェンバーの中の各アノードワイヤーは電子管のカソードの役割を演じる。同様にパーテックスチェンバーのカソードワイヤーは電子管のアノードのように振舞う。グリッドワイヤーは電子管の場合と同様の働きをする。また、さらに、この場合の類似性を完全に理解するには、真空中における電子をガス中のイオンに置き換えて考えなければならない。

複雑な構造のチェンバーも前述の単位セルの集合体であり、この単位セル中の電場は各ワイヤーに与えられた電位の線形結合として与えられる。設計に当たっては、入力値(設計値)としてアノード電圧、ポテンシャル電圧、グリッド電圧とセル中央部の電界を決め、単位長さあたりのアノード電荷、ポテンシャル電荷、グリッド電荷、カソード電荷とカソード電圧を未知数として計算する。

電子管理論において“増幅率” $-\mu \equiv \partial V_c / \partial V_a$ の概念は非常に重要であるが、チェンバーにおいてもやはり有用である。特にチェンバーを設計値と違った電圧でガス増殖率を失うことなくチェンバーを稼働させたい場合はこの概念がそのやり方の指標を与える。

荷電粒子の通過(飛跡)によって創生した電子は電界に沿ってアノードワイヤーへ向って移動する。 x - y 平面における電子の発生点の x 座標 X と移動時間 T の間の関係を“ X - T 関係”と呼ぶ。これは飛跡を再現する上で最も重要な量の1つで

ある。これは上記線形式から誘導した単位セル内の空間の電界から求めることができる。

さらに、単位セルを“等価2極管”という概念を使って単純な同軸円筒チェンバーに置き換えることができ、アノードワイヤーからの電流信号波形も予測できる。“等価2極管”とは多くのワイヤーを持っている単位セルを1本のアノードワイヤーを持つ同心同軸型のチェンバーに置き換えるものである。この単純化は動作をより直感的に理解し、電流信号波形を解析的に計算することを可能にする。チェンバーを通過する1本の軌跡から期待される電流波形を実験で得た実際のデータと比較して、それらが非常によく合っていることもわかった。

さらに他の応用として、この手法が“漏洩静電容量”を計算するのにも有効であるということを指摘したい。漏洩静電容量、即ち、隣接するアノードワイヤーの間の静電容量は“クロストーク”の原因となる。この手法で与えた理論を拡張することにより漏洩静電容量が計算でき、クロストークを推定するのにも利用できる。

この論文で示した新しい手法がドリフトチェンバーを設計し、かつその性能を解析するために非常に有用な手段であると結論できる。

論文審査の結果の要旨

申請者の論文はドリフトチェンバーの設計における新しい手法を取り扱っている。ドリフトチェンバーとはガス中に高い電圧を印加したワイヤーを張り、荷電粒子が近傍を通過するとき生み出す電子を、ワイヤー上に流れる信号を読み出すことによって、荷電粒子の軌跡を測定する検出器である。これまで一般に、チェンバー設計においては計算機を多用した非常に見通しの悪い方法が採用されてきた。この論文が提唱する新しい手法は半解析的であり、見通しの良い方法であるといえよう。

この手法は電子管とチェンバーの類似性に着目し、ドリフトチェンバーをグリッド電極を有するガスで満たされた三極管と見なす事により電子管理論をチェンバーに適用するものである。この手法は電極（ワイヤー）の電位や電荷、および電極間の電界を計算する解析的な方法を与える。また、飛跡通過位置（ X ）とドリフト時間（ T ）の関係（ X - T relation）を半解析的に導き、得られる信号の具体的な形の予測を可能にする。この手法は本来 TRISTAN e^+e^- コライダーで VENUS デテクターの中に設置したバーテックスチェンバーを設計するために開発したものであるが、VENUS バーテックスチェンバーと類似の周期性を持つどのようなチェンバーにも応用可能である。VENUS バーテックスチェンバーで実際に得られたアノード信号の形やグリッド電流は、この手法による予測と良く一致している事が確かめられている。

チェンバーと3極管の間の類似性は以下の点にある。電子管においては、電子はカソード（フィラメント）によって放出され、アノードによって集められる。チェンバーでは、アノードワイヤー表面でガス増殖が起こり、見かけ上、イオンがアノードワイヤーから放出され、カソードと他のワイヤーによって集められる。バーテックスチェンバーの中の各アノードワイヤーは電子管のカソードの役割を演じる。同様にバーテックスチェンバーのカソードワイヤーは電子管のアノードのように振舞う。グリッドワイヤーは電子管の場合と同様の働きをする。また、さらに、この場合の類似性を完全に理解するには、真空中における電子をガス中のイオンに置き換えて考えなければならない。

チェンバーを設計値と違った電圧でガス増殖率を失うことなくチェンバーを稼働させたい場合は、“増幅率” $-\mu \equiv \partial V_c / \partial V_g$ の概念は非常に有効である。この概念の導入も本手法の特徴といえる。

x - y 平面における電子の発生点の x 座標 X と移動時間 T の間の関係を“ X - T 関係”と呼ぶ。これは飛跡を再現する上で最も重要な量の1つである。本手法はこの関係式を半解析的に与える公式を導き出しているが、実際のチェンバーの解析にも多用され大きな武器となった。

さらに、単位セルを“等価2極管”という概念を使って単純な同軸円筒チェンバーに置き換えることができ、アノードワイヤーからの電流信号波形も予測できる。“等価2極管”とは多くのワイヤーを持っている単位セルを1本のアノードワイヤーを持つ同心同軸型のチェンバーに置き換えるものである。この単純化は動作をより直感的に理解し、電流信号波形を解析的に計算することを可能にする。チェンバーを通過する1本の軌跡から期待される電流波形を実験で得た実際のデータと比較して、それらが非常によく合っていることもわかった。

また、本論文ではこの手法の応用の1つとして、“漏洩静電容量”を計算するのにも有効であるということを指摘してい

る。漏洩静電容量，即ち，隣接するアノードワイヤーの間の静電容量は“クロストーク”の原因となる。

本論文で示した新しい手法ハドリフトチェンバーを設計するため，そしてその性能を解析するために非常に有用な手段を提供したと結論できよう。よって本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。

学識確認試験および語学確認試験を行った。また主論文および参考論文に報告されている研究業績を中心として，これに関連した研究分野について口頭試問した。その結果，いずれも合格と認めた。