

氏名	深尾正之 ふか お まさ ゆぎ
学位の種類	工学博士
学位記番号	論工博第773号
学位授与の日付	昭和50年3月24日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	Detection of Cerenkov Radiation Excited by a Low-Intensity Electron Beam in Magnetoplasma (磁化プラズマでの弱い電子ビームによるチェレンコフ放射の検出)
論文調査委員	(主査) 教授 西原 宏 教授 卯本重郎 教授 板谷良平

論文内容の要旨

この論文は、磁化されたプラズマ中に弱い電子ビームを通したときに放射される高周波電磁場を検出し、それがチェレンコフ放射であることを確かめるために著者の行なった研究を記述したもので、7節および付録から成っている。

第1節は序論であって、この研究の目的、チェレンコフ放射についての研究の歴史と現状、及びこの論文の概要が述べられている。磁化プラズマのチェレンコフ放射は、それ自身が弱いうえにバックグラウンドが高く、検出は容易でない。水町等は、磁化された水銀プラズマに、線型加速器によって相対論的エネルギーまで加速しバンチした電子ビームを、磁場と平行に入射し、バンチングの周波数を上部ハイブリッド共鳴周波数に合わせ、さらに受信周波数をこれに同調させ、磁場に垂直な方向に伝搬する放射を検出した。水町等は、この放射の主要な性質が、異常波のコヒーレントなチェレンコフ放射の仮定からよく説明できるとしている。これに対して、本論文の著者は、バンチしたビームによる実験には、ビームがプラズマを激しく乱し、またプラズマのパラメータを変化させ得る範囲が限定されるなどの欠点があることを指摘し、できるだけバックグラウンドを下げ、遅い電子ビームを用いれば、コヒーレントでないチェレンコフ放射をも検出することができると考えた。

第2節は、観測された放射がチェレンコフ・モードであると同定するのに必要な理論を記述したものである。入射電子の速度を与えると、チェレンコフ放射の生ずるプラズマ密度と磁場の強さの範囲及び波のモードがきまる。放射の強さ、スペクトル及び偏波特性の計算結果も示されている。

第3節は、この実験のために著者の設計製作した装置及び放射の検出系を記述したものである。プラズマは ECRH 放電で生成され、長さ約1米の一様磁場中に拡散する。気体はアルゴンである。入射する電子ビームと測定系は同期して断続され、ロック・イン方式によってバックグラウンドを低減する。

第4節には実験結果が示されている。受信周波数を固定し、磁場をゆっくり変化させると、上部ハイブリッド共鳴周波数のまわりに集中した放射が検出される。プラズマ密度を変えると、放射の起る磁場の強

さは減少する。上部ハイブリッド共鳴周波数が電子サイクロトロン周波数の2倍を超すほどプラズマ密度が高くなると放射は起らなくなる。電子ビームの電流が臨界値以下では、放射強度は電流に比例し、スペクトルは変化しない。臨界値以上では、放射強度はビーム電流と共に急激に増大する。臨界電流値はビームのエネルギーの $3/2$ 乗に比例する。放射の電場は、一様磁場の軸をZ軸とする円柱座標の、 r 及び z 方向に強く偏波している。

第5節は実験と理論の比較である。前節に示された放射の諸性質は、第2節のチェレンコフ放射に関する理論の結果と、すべてよく対応する。プラズマ電子の熱運動を考慮すると、放射強度はランダウ減衰によって抑制される。そこで放射強度が、冷たいプラズマの近似の成立する限界の周波数での値できまると考えて、放射の強度とスペクトルの半値幅の理論値を求めると、実測された結果とよく対応する。

第6節は、検出された放射が、チェレンコフ・モード以外の機構による可能性についての検討に充てられている。一つの可能性はビーム電子による電離であるが、これは、ビーム入射に伴うプラズマ密度の増加が認められないことによっても、また、プラズマ密度を変えた実験結果との比較によっても否定される。いま一つは、ビーム・プラズマ相互作用である。これは、波によってビーム密度が変調されることによって起るもので、その分散関係はよく知られている。臨界点以下でも以上でも、ビーム電流と放射強度及びスペクトルとの関係は、ビーム・プラズマ相互作用の理論からは説明できない。しかし、臨界点付近における現象は、ビーム・プラズマ相互作用によるビーム粒子の変調によるものと考えられる。Briggsの理論によれば、この機構による発振の条件は、ビーム電流の最小値がビーム・エネルギーの $3/2$ 乗に比例することになって、上述の臨界電流値についての観察とよく対応する。臨界超過の状態では、不規則な時間間隔でバースト状の放射が発生するのが観測される。これは、プラズマの熱雑音によって上記の発振が不規則に開始され、その結果、放射がコヒーレントな方向に移行し著しく強められる、という過程が繰返されるものと考えられる。以上の検討によって、観測された放射はチェレンコフ放射であると認められる。

第7節は結果の要約である。付録Aには、等方的な媒質の中におけるチェレンコフ放射の基礎方程式の導出が示されている。また付録Bでは、冷たいプラズマの誘電テンソルの求め方が示されている。

論文審査の結果の要旨

磁場中のプラズマでチェレンコフ効果による電磁放射の起り得ることは、早くから知られており、理論的にはかなり詳しく研究されている。しかし、放射強度が弱く、しかもバックグラウンドが高いため、プラズマ中の放射を検出し、それをチェレンコフ効果によるものと同定することは容易でなく、実験に関する報告は極めて少ない。それらの実験では、相対論的エネルギーに加速しバンチされた強い電子ビームを、中性気体あるいはプラズマに入射させる方法がとられて来た。最近、水町等によって行なわれた実験でも同様の手法が採用され、電子の加速に線型加速器を用いバンチングの周波数とプラズマの上部ハイブリッド共鳴周波数を一致させたうえ、すべての条件を、コヒーレントな強い放射が得られるように選んである。

本論文の著者は、このような強い相対論的電子ビームを用いる実験では、ビームによってプラズマが激

しく乱されるうえに、プラズマの特性量を制限された狭い範囲内に選ばねばならず、放射の同定に不利であるのに対して、実験条件をバックグラウンドができるだけ低くなるように設定し、5keV ないし 30keV 程度のエネルギーの低い、弱い電子ビームを用いる方がむしろ有利であると考え、自作の装置を用いてチェレンコフ放射の検出に成功した。

実験は、電子サイクロトロン共鳴加熱法で生成したプラズマを長さ 1 米の一様磁場のなかに拡散させ、そこへ、磁場と平行に電子ビームを入射し、電磁放射を受信する方法による。まず、受信周波数を固定して磁場をゆっくり変化させ、磁場の強さとプラズマの密度に依存する上部ハイブリッド共鳴周波数が受信周波数に一致する付近で強い放射を検出した。そこで、プラズマの密度電子ビームのエネルギー及び電流を広い範囲に変えて測定を繰り返し、つぎのような所見を得た。(1)放射は上部ハイブリッド共鳴周波数付近に集中的に発生する。(2)電場は磁場の軸の方向とそれに放射状に垂直な方向に強く偏波している。(3)ビーム電流の臨界値以下では放射強度はビーム電流に比例しスペクトルはビーム電流によって変化しない。(4)電流が臨界値を超えると、不規則な時間間隔でバースト状の強い放射が生じ、放射の強度は電流と共に急激に上昇する。(5)臨界電流の値はビームのエネルギーの $3/2$ 乗に比例する。(6)上部ハイブリッド共鳴周波数が電子サイクロトロン周波数の 2 倍を超える程にプラズマ密度を高くすると放射は生じなくなる。

著者は、これらの実験結果をチェレンコフ放射の理論と比較しつぎのことを明らかにした。すなわち、所見(1)及び(2)はチェレンコフ放射の理論と一致する。(5)はビーム・プラズマ不安定に関する Briggs の条件でよく説明できる。(4)はこの不安定によるビームのバンチングが熱雑音によって不規則に開始され、放射がコヒーレントになる傾向を生ずるとして説明できる。放射強度およびスペクトルの幅は理論値とよく対応する。また(6)は、プラズマの熱運動と Bernstein モードの分散関係から説明できる。検出された放射がチェレンコフ効果以外の機構で生じたと仮定すると矛盾が生ずる。よって、この放射はチェレンコフ・モードと同定される。

以上述べた通り、この論文は、従来の強い高エネルギー電子ビームを用いる方法と異なり、弱い低エネルギー電子ビームによるチェレンコフ放射を検出することに成功し、多くの知見を得ると共に、新しい実験上の手法を示したもので、学術上寄与するところが多い。よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。