

【49】

氏 名	久 保 熙 く ぼ ひろし
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	論 理 博 第 217 号
学位授与の日付	昭 和 42 年 9 月 23 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	Resonance Phenomena in a Bounded Magneto-Plasma (境界のある磁気プラズマの共鳴現象)
論文調査委員	(主 査) 教 授 高 橋 勲 教 授 松 原 武 生 教 授 巽 友 正

論 文 内 容 の 要 旨

磁気プラズマによる、マイクロ波輻射、吸収、および反射は異常波については hybrid resonance frequency ($\omega = \sqrt{\omega_p^2 + \omega_b^2}$, 但し ω_p , ω_b はそれぞれ plasma frequency および electron cyclotron frequency である) および electron cyclotron harmonics ($\omega = n\omega_b$, ただし $n=2, 3, \dots$) で共鳴的に起こることが多くの研究者によって示されている。これ等の共鳴波は, Bernstein 等が, 理論的に予期した様に, longitudinal plasma waves であることを申請者等は実験的に確かめているのである。又, これらの波に対してはプラズマの大なる屈折率が対応するので, プラズマの境界の影響は大きくないものと考えられる。

一方において, 境界の影響が無視できない共鳴現象も若干報告されている。すなわち, 一つは磁場のない場合に, 境界のあるプラズマに起こる Tonks-Dattner 共鳴である。これは, プラズマ波の, 管壁と cutoff condition で定まる electron density surface とにおける反射によって生じる定在波に帰着されるものである。他の一つは境界のある磁気プラズマにおいて electron cyclotron harmonics の近傍で観測される輻射の副次的な peak 群である。これは, 申請者により初めて観測され (参考論文その 5), Buchsbaum および Hasegawa により cutoff condition で定まる electron density surfaces で囲まれた伝播領域内の定在波によるものとして説明された。

申請者が主論文に報告している境界のある磁気プラズマの共鳴現象は, 管壁以外に反射面のない場合に異常波について観測したものである。無限大プラズマについては, 理論的には異常波の共鳴現象は ω_p , $\omega_b < \omega$ および ω_p , $\omega_b > \omega$ の周波数領域に期待されるのであるが, 申請者の共鳴現象は周波数領域 $\omega_p < \omega < \omega_b$ で観測される別種のものである。申請者はマイクロ波透過, 反射および輻射のスペクトルに見られる共鳴現象の実験結果と分散式による説明とを詳細に報告している。すなわち, 静磁場に平行におかれた放電管内の稀ガス・プラズマにおいて, 異常波について行なわれた実験結果は次の如く要約される。

- (1) 固定周波数 $f_0 = 9.485$ GHz および 9.100 GHz において, 磁場に対し, 周波数領域 $\omega_p < \omega < \omega_b$

に共鳴点が数個存在し、透過の peaks, 反射の dips および輻射の peaks はよく一致している。

(2) 放電管直径が十分小さくなると、 $\omega_p < \omega < \omega_b$ の領域での共鳴は観測されない。

(3) 共鳴線は放電電流（従って電子密度）の増加と共に広がり遂には消滅する。

申請者は実験結果を説明するために二次元の場合について計算を行なった。すなわち、静磁場の方向 (z) に長さ L, それに直角な方向 (x) に厚さ D を有する二次元の有界のプラズマを考えた。ただし D は管の直径, L は管の長さに対応する。

このプラズマ内に定在波が生じる条件と、一方正イオンの運動および電子の衝突を無視した分散式とから、静磁場に対し、角度 θ の方向に伝播し定在波を作る波の分散式は

$$\gamma^2 = \frac{(\eta - 1)(\eta + \alpha_{m,n} - 1)^2}{(\alpha_{m,n} - 1)\{(\alpha_{m,n} - 1)\eta - (\alpha_{m,n} - 1)\}}$$

ただし

$$\gamma = \omega_b / \omega : \text{静磁場の強さ}, \quad \eta = (\omega_p / \omega)^2 : \text{電子密度}, \quad \alpha_{m,n} = \alpha_{x,m} + \alpha_{z,n}, \quad \alpha_{x,m} = ck_{x,m} / \omega, \quad \alpha_{z,n} = ck_{z,n} / \omega, \quad k_{x,m} = m\pi / D, \quad k_{z,n} = n\pi / L$$

となり、 $\theta = \tan^{-1}(k_{x,m} / k_{z,n})$ である。

さて、共鳴の peaks や dips の現われる磁場 (ω_b / ω) を電子密度 (ω_p / ω)² に対して plot し、一方上記の表式に実験条件より定まる数値を導入し、 $m=1$ として $n=1, 2, 3, \dots$ に対する曲線群を描くと、実験と理論との良い一致が見られるのである。

この様にして、観測された共鳴現象は、無限大プラズマにおいては期待されるものでなく、境界のあるプラズマにおいて波が静磁場に対し適当な方向に伝播し、管壁で反射し、定在波を作ることに基づくものであることがわかる。

参考論文その 1, その 4, その 6 は、Ramsauer 効果の大きい稀ガス・プラズマ内の電子の速度分布が適当であれば、electron cyclotron frequency において、負吸収現象が現われることを実験的に初めて確認した研究である。

その 2 は、異常波で観測される縦波の共鳴現象は、hybrid frequency だけでなく、electron cyclotron harmonics 付近でも現われることを初めて示した研究である。

その 3 は、正常波においても、異常波と同様に electron cyclotron harmonics で共鳴輻射の存在することを示したものである。

その 5 は、electron cyclotron harmonics の近傍に輻射の副次的 peaks 群を発見した報告である。

その 7 は、 $\omega_p, \omega_b > \omega$ の周波数領域において熱輻射より強い共鳴輻射が観測されることを示したものである。これは放電管の cathode 付近で electron beam がプラズマ内に波を励起し、プラズマの境界が共鳴条件を満たす時に強く励起されるとした。

論文審査の結果の要旨

申請者等は 1958 年頃より磁気プラズマのマイクロ波輻射に関する実験を開始し、その後稀ガス放電プラズマの磁場中におけるマイクロ波輻射、透過および反射の実験を行ない、零温度プラズマの理論では説明

出来ないいくつかの事実を見出し報告しているが、更に無限大プラズマの理論では、理解出来ない現象を観測したのである。無限大プラズマの理論では、電子による共鳴現象は Allis diagram 上 $\omega > \omega_p, \omega_b$ および $\omega < \omega_p, \omega_b$ の周波数領域で観測される筈である。ここに ω_p は plasma frequency, ω_b は electron cyclotron frequency である。申請者は $\omega_p > \omega > \omega_b$ の領域に新しい共鳴現象を観測し、これを主論文に詳細に報告している。この現象はプラズマの境界（この場合管壁）の影響によるものである。ただし、今までにプラズマの境界の影響が無視出来ない現象の報告も皆無ではなく、磁場の無い場合の Tonks-Dattner の共鳴と磁場のある場合の electron cyclotron harmonics 付近の輻射の微細構造とがある。これ等は cutoff condition より定まる electron density surfaces が関与し、又周波数領域も申請者のそれとは異なっているものである。

申請者は異常波について、固定周波数に対し静磁場を変化して、マイクロ波の反射、透過、輻射の共鳴点の存在とそれらの一致とを確認し、又この共鳴が放電管の直径と密接な関係のあること、共鳴の周波数領域が $\omega_b > \omega > \omega_p$ であることおよび放電電流（すなわち電子密度）の増加と共に共鳴線が拡がり遂には消滅することを観測した。この実験結果を説明する為に、二次元的取扱いによる理論計算を行ない、管内に定在波の起こる条件と分散式とを組み合わせ、軸方向のモード次数 n に対して $(\omega_p/\omega)^2$ 対 ω_b/ω 図上に曲線群を描いた。ただし、軸に直角な一方向のモード次数 $m=1$ とした。それにより実験値が理論曲線とよく一致することが示された。

この様にして、申請者はこの現象が、静磁場に対し適当な角度 (θ) で伝播する種々の波の管壁での反射により生ずる定在波によるものとして説明できることを示したのである。

参考論文はプラズマの負吸収の存在を初めて実験的に確かめたもの、electron cyclotron harmonics におけるマイクロ波輻射についての新事実を発見したもの等であって、いずれも価値のあるものである。

これを要するに、申請者の論文は境界のあるプラズマの新しい共鳴現象の機構を解明し、新知見を提供して、プラズマ物理学の分野に重要な寄与をなしたものである。

よって、本論文は理学博士の学位論文として、価値があるものと認める。