

ユニット構築会議／学術実験プラットフォーム検討会議（第16回）議事録(案)

日時：2021年8月2日（月） 13:15-13:45

場所：オンライン

書記：濱口

議事：

- ・お知らせ
- ・研究テーマ紹介
 - ・磁気圏プラズマにおけるサイクロトロン共鳴と非線形波動粒子相互作用（加藤雄人／東北大学）
- ・プラットフォームに関する話題提供

次回予定（2021年8月23日（月） 13:15-15:15）

お知らせ

- ・ユニット構築会議は来週と再来週（8月9日と8月16日）は開催しない。
- ・ユニット構築セミナーは次回未定
- ・現在、ユニットテーマが提案され、レビューを順次開始している。
- ・コミュニティからのテーマ提案を引き続き募集している。核融合研の web ページから様式をダウンロードでき、説明も書いてある。
- ・所外の先生は核融合研のユニットに関して様々な立場に関わることができる。ユニットに深く関わる場合、共同研究として、またコミュニティのメンバーとしての研究提案など。いずれでも構わないので是非今後もユニットテーマ提案をお願いしたい。

研究テーマ紹介

○磁気圏プラズマにおけるサイクロトロン共鳴と非線形波動粒子相互作用（加藤雄人／東北大学）

（居田）ホールの説明のところで ω と $\Delta\omega$ について説明して欲しい。

（加藤）あるコヒーレントな波が存在するという状況からスタートしている。インプットとして与える波が周波数 ω を持っている。それによって粒子が捕捉される。ダイポール磁場中の運動によってトラップされた粒子が密度速度分布関数のフラックスの小さい所にガイドされると相対的に周りのプラズマが少なくなるのでヒルを作る。つまり速度空間上に山を作る。この場合、このような粒子は周波数が時間的に減少する波を作るということが理論的に示されていて、観測でも確かに対応が見れる。逆に $+\Delta\omega$ の方は周波数が時間的に上昇する成分を作る議論に適用される。コーラス放射のようなライジングトーンは位相空間上で特定の相対速度のところにできるホールが重要だということを示した図になっている。

（居田）特定の粒子においては等価的にレゾナンス周波数が変わったようになるという意味か？

（加藤）最初に入れた波と異なる周波数を持つ成分をどんどん作っていくということである。

（居田）エネルギーの直接計測のところは粒子のキネティックエネルギーと波のエネルギーの差を直接測るということか？

（加藤）瞬時瞬時の波の電場ベクトルとそのときに検出された粒子の速度ベクトルの内積を取っている。これはそのまま運動エネルギーの時間変化に対応しているので、これが負であるということは粒子が波によって減速されてエネルギーを失うということである。

（居田） t_1, t_2, t_3 のところでおのおのの波形と粒子の変化をみるということか？

(加藤) その通りである。

(居田) 波自身は定常的な波になっているということはないか。例えば時間平均するとアンプリチュードとしては一定ということはないか？

(加藤) W が負となる場合は波形が時間的に増幅していくので、観測的に波形を押さえながら瞬間瞬間の粒子と比較してやるとエネルギー交換量が測れるのではないかと考えている。

(居田) ここでいう非線形とは、どういう非線形現象のことか？

(加藤) 波による捕捉が起こるどうか。共鳴条件を厳密に満たす粒子だけでなく、共鳴条件から少し外れた粒子でもある程度振幅の大きな波であれば捕捉領域に捉えられるということで、その点をここでは非線形と言っている。

(藤堂) ホールとヒルの構造について核融合でも同じような構造を研究している。以前の研究会では、印象として地球磁気圏の理論は地球の磁場にトラップされた粒子に特化したモデルと感じたが、今日の話聞いてほとんど同じような理論モデルと理解した。何か違いはあるか？

(加藤) 基本になるのはダイポール型の背景磁場の中にトラップされた粒子がコヒーレントな波動によって分布関数の変調を受けるとのことなので、ここでの議論はベースとして確かに磁気圏型のダイポール磁場に捉えられた粒子と波動との相互作用にある。議論している内容としては背景磁場勾配が非常に緩やかか無い状況でもトラッピングの影響と周波数変化が起きるのではないかという研究もあって、これも含めて議論できればと思っている。

(藤堂) 縞状の構造は波動のポテンシャルを書いているのか？

(加藤) 位相空間での粒子の軌道を描いている。波動磁場成分のローレンツ力によるトラッピングなので、そうである。

(藤堂) 波動が無いと水平な直線構造と思うが？

(加藤) 一様磁場だと水平方向に動くだけだが、背景磁場のミラーフォースがあれば縦軸方向に動く。そこに波が入ることによってこの目玉のような構造ができる。

(藤堂) 基本的に同じことを研究していると理解している。

(伊神) コヒーレント波動による電子の捕捉というところで、ホイッスラー波は磁場に対して平行に伝搬するというのが基本と認識している。我々の電子サイクロトロン共鳴加熱の場合、磁場に対してまず垂直に入射するのが基本で、ある程度斜めにやる。仰るように斜めに伝搬するような波だとしても一部はホイッスラー応答に近いものがあると思うが、そのような場合でも磁場に対して完全に平行ではなく斜めに伝搬するような波に対して電子がトラップされる可能性はあるか？

(加藤) 実際、磁気圏の観測でも赤道付近では平行伝搬の成分が発生するが、すぐにどんどん斜め伝搬になっていくことが示されている。その場合は高次のサイクロトロン共鳴やランドー型の共鳴が起きるとされていて、むしろランドー型の共鳴が電子の加熱に重要だというグループもある。斜め伝搬は磁気圏でも非常によく見られる現象である。

(伊神) 平行伝搬とか斜め伝搬とか、自然界では伝搬の方向はどのように決まるのか？

(加藤) まさに私もそこを知りたい。観測的に見ると磁気赤道で波を発生するタイミングではホイッスラーモード、イオンサイクロトロン波といずれも平行伝搬が卓越すると考えている。ただ、伝搬していくと磁力線がどんどん曲がっていくというところとプラズマ密度の空間分布も関係してどんどん斜め伝搬になっていくという様子が観測されていて、プラズマの分布や磁場の形状が波の伝搬特性に大きく影響を及ぼしていると考えている。

(伊神) 生まれるソースがあって、そこで発生したものが伝搬していく途中でパラメータがどんどん変化し、分散も変わって、磁場に対する角度が変わっていくという理解でよいか？

(加藤) その通りである。

(永岡) 実験室では観測されるものは非線形飽和した状態で、うまくすると線形フェーズが見える

こともあるが、磁気圏では線形成長しているフェーズから非線形飽和していくところまでの両方の状態を観測できる状況にあるのか？

(加藤) パラメータにもよるが地球磁気圏赤道域だと線形成長のタイムスケールが観測の時間分解能より短いので、観測されているものは既に飽和状態になっているか非線形段階に至ったものを見ているという風に考えている。線形成長の時間スケールが大体ジャイロ周期の数百倍から数千倍ぐらいで1秒以下のオーダーである。粒子計測の場合は衛星観測だと分布関数をしっかり3次元で取ろうと思うと、スピン衛星ではスピン周期8秒であり細かく見ても1秒のオーダーなので、線形成長の過程を観測するのは難しいと思う。(補足：波動観測の場合は十分な時間分解能が実現できているので原理的には可能ですが、1点観測では時間変化と空間変化を分離できないので、成長段階をみているのか伝播過程を見ているのか判別することができません)

(永岡) イオンサイクロトロンに関しても難しいか。

(加藤) はい。まず1点観測だと難しい。MMS衛星は4点観測で、位置の違いから振幅の変化を見ようとしているが、イオンサイクロトロン波動は衛星間距離に比べると波長がだいぶ長く、衛星間の距離だと1点と置いていいくらいになってしまっていて観測できない。ホイッスラーモードだと少し波長が小さくなるので、もしかしたら成長する様子が見えるかもしれない。ホイッスラーモードに関する研究は今進みつつあるところで、観測できると大変面白いと思うが、地球磁気圏プラズマで線形段階の成長を捉えるというのはこれからだと思う

プラットフォームに関する話題提供

- ・プラットフォームの紹介は2週間空けた後も続ける予定なので積極的に検討をお願いしたい。

以上