

加速キッチン

～サイクロ流 地球にない原子～

選考課題

この度は加速キッチンへの参加申込ありがとうございます。今回は加速器を中高生が用いて実験する国内では初の試みながら、たくさんのご応募をいただいております。一方、大幅に予定定員を超過してしまったため、安全で高い満足度の内容を提供するため書類選考を行わせていただくこととなりました。

是非皆さんの興味関心・問題意識や様々な活動での主体性などを知りたいと思います。課題は難しく感じるかもしれませんが、正答率ではなく考える姿勢を参考にできればと思っています。本を読んで調べたり、周りの先生や大人にアドバイスをもらっても構わないのであきらめずにじっくり考えてみてください。

提出期限：6月28日必着

提出方法：以下の2つの方法のいずれかで提出してください。

・メール提出

提出期限日までに accel-kitchen@cyric.tohoku.ac.jp まで、PDF形式（ファイルサイズ5MB以内）で送信してください。3日以内に受領確認のメールをお送りするようにします。確認が取れない場合は加速キッチン係（022-795-7808、平日9時～16時）にご連絡ください。

・郵送

提出期限までに以下まで送付ください。

〒980-8578 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-3

東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター 加速キッチン係

注意事項：

- ・ **A4用紙**を用いてください。手書きでもワープロソフトを利用してどちらでも構いません。
- ・ 1枚目に必ず**氏名と学校名を記載**してください。
- ・ 枚数制限は特にありませんが3～4枚程度を目安にしてください。
- ・ 郵送の場合、提出書類を入れた封筒に住所・氏名を必ず明記してください。提出された書類は返却しません。必要な場合はコピーなどを取ってから提出してください。
- ・ 書類内容の一部を活動報告などで公開することがあります。
- ・ ご質問・お問合せは以下までよろしくお願いします。

東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター
田中香津生（tanaka@kaduo.jp）

課題 1

志望動機やどうして加速器・素粒子原子核物理に関心を持ったかを記述してください。

課題 2

これまでに興味をもって取り組んだことについて紹介してください。内容はサイエンスに関係するものでも、それ以外でも構いません。

課題3 サイクロトロンの仕組み

問題の設定

加速キッチンではサイクロトン加速器を用いた実験を行います。サイクロトン加速器は様々な粒子を非常に高速に加速できる装置で、その中でも学内施設最大級の加速器を使って実験を行います。さて、このサイクロトン加速器の仕組みはどうなっているのでしょうか。

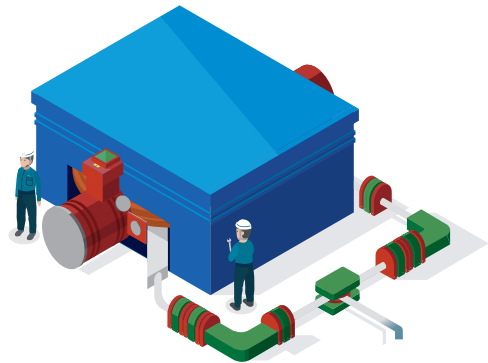


図 1. 東北大学のサイクロトン加速器

サイクロトン加速器の中には強力な磁石があり、垂直方向に磁場が発生しています。通常磁場の強さは磁束密度という物理量によって表現することができます。この磁場によって加速する粒子はぐるぐると円運動をしており、これをサイクロトン運動といいます。サイクロトン運動の回転半径 r は以下のように表すことができる事がわかっています。

$$r = \frac{mv}{qB} \quad \cdots \text{式 1}$$

この時、それぞれの記号は以下の物理量を表しています。

物理量	記号	単位
粒子の質量	m	kg (キログラム)
粒子の速さ	v	m/s (メートル毎秒)
粒子の電荷	q	C (クーロン)
磁束密度	B	T (テスラ)

つまり回転半径は粒子の性質と磁場の大きさ（磁束密度）によって決まります。例えば以下のような条件を考えてみましょう。

$$\begin{aligned} m &= 1 \times 10^{-3} \text{ kg} \\ v &= 10 \text{ m/s} \\ q &= 2 \times 10^{-3} \text{ C} \\ B &= 1 \text{ T} \end{aligned}$$

ここから式 1 に代入することで半径はおよそ 5 m ということになります。さて、それでは実際のサイクロトロンの中ではどのような条件なのでしょう。次ページからの問題を解きながらサイクロトロンの仕組みを楽しんでみてください。

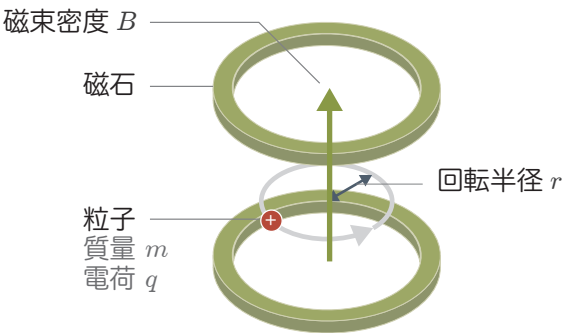


図 2. 東北大学のサイクロトン加速器

問1

それでは、加速キッチンで加速する粒子について考えてみましょう。加速キッチンでは酸素イオン ($^{18}\text{O}^{5+}$) をサイクロトロン加速器で加速します。この時の粒子の性質は以下の通りです。

$$m = 3.0 \times 10^{-26} \text{ kg}$$

$$q = 8.0 \times 10^{-19} \text{ C}$$

また、酸素イオンを回転させるとき、磁場は 2 T まで印加するとします。仮にこの酸素イオンが光の速さの 5 % の速さで図 2 のように磁場によって円運動している時の回転半径を求めてください。

問2

問1と同じ条件のとき、酸素イオンが加速器内で一周するのにかかる時間を求めてください。

問3

問1の条件から、酸素イオンの速さが異なる時を考えます。仮に酸素イオンの速さが光の速さの 10 % の時に一周するのにかかる時間を求めてください。

きっと問2、問3で求めた時間は等しくなったのではないのでしょうか。このようにサイクロトロン運動で一周するのにかかる時間は粒子の速度に依存しないことが知られています。この特徴のことを等時性といい、粒子加速の重要なカギになります。

さて、このままだと、粒子は速さが変わらずに延々と回り続けるだけなので、サイクロトロン加速器には D 電極という速さを増やす仕組みがあります。図のように D 電極にそれぞれ正の電荷及び負の電荷を帯びさせると正の電荷をもつ酸素イオンは進行方向に逆の電荷があり、背の方に同じ電荷があるので加速します。半周回った時にこの D 電極の正負を入れ替えることで、さらにまた加速することができます。これを定期的に何度も繰り返すことで、どんどん加速することができるわけです。

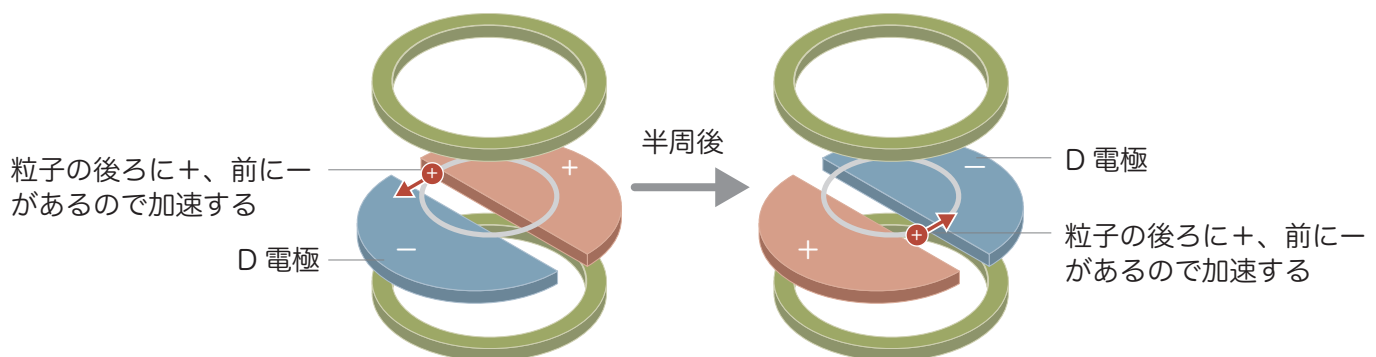


図 3. サイクロトロン加速器の加速の仕組み

問 4

東北大学のサイクロトロン加速器の半径はおよそ 0.9 m でこの中でしか粒子を加速することができません。この条件の上で、酸素イオンの速さは最大どこまで加速できることになるでしょうか。ただし、磁場の大きさは前問同様 2 T とします。

問 5

図 4 のように通過した粒子を電気信号として測定できる位相プローブという装置があります。図 5 のように二つの電極に載るような形で位相プローブを設置し、1つの粒子を回したところ、時間に対する位相プローブの信号及び、電極 1 の電圧について図 6 のようなグラフが得られました。

このままでは粒子を加速できない状況といえます。どのように改良すると粒子をうまく加速できるようになるでしょうか。

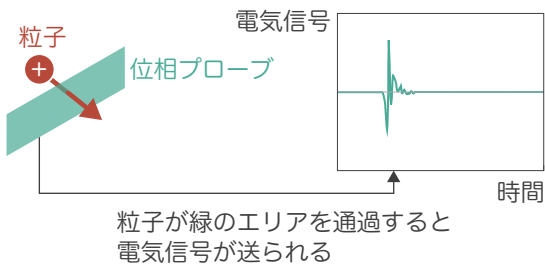


図 4. 位相プローブの仕組み

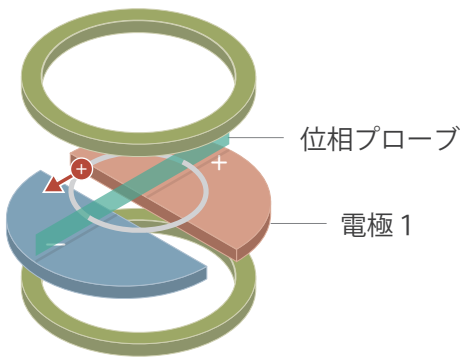


図 5. 位相プローブの位置

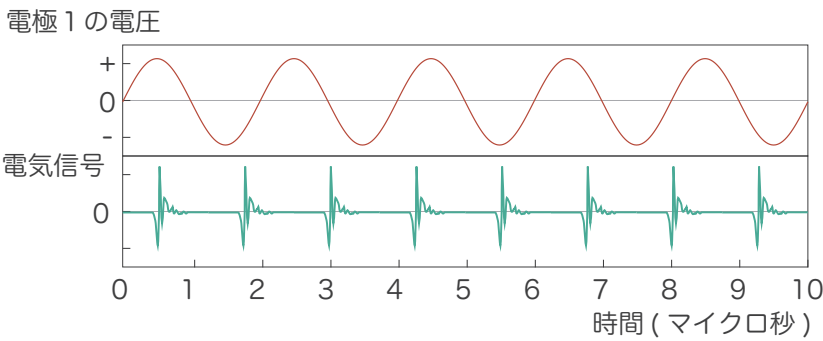


図 6. 位相プローブの信号

問 6

今度は位相プローブで測定したところ図 7 のような結果が得られました。これも効率よく加速するには少し工夫が必要そうです。どういう風にすればいいでしょうか。

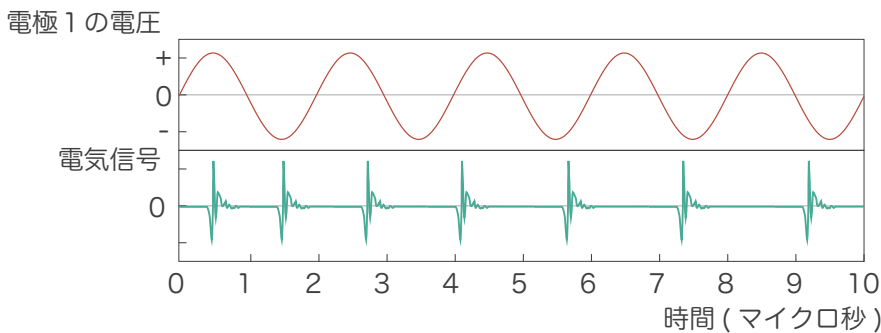


図 7. 位相プローブの信号

課題3を考える上での参考資料

指数について

問題文の中に 3×10^{-8} といった表現があります。これは非常に大きかったり小さかったりする数値の表現方法です。これはこんな風に表現されています。

3×10^{-8} ----- 指数部

指数部が**正**の時

→指数部の数だけ10を掛ける

例) $3 \times 10^2 = 3 \times \underline{10 \times 10} = 300$
10を2回かける

指数部が**負**の時

→指数部の数だけ10で割る

例) $3 \times 10^{-2} = 3 \div \underline{10 \div 10} = 0.03$
10を2回割る

計算に必要な数値

問題を解くにあたって以下の数値を参考にしてください。

円周率： 約 3.14

光の速さ： 約 $3000000000 \text{ m/s} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$