第81回科学展
熊本県教育委員会賞

ガウス加速器 高速発射の秘密を探れ

玉名市立大野小学校 6年 濱崎瑛太

1. 研究の動機

昨年、自主プロジェクトで磁力に関する研究をした時に『ガウス加速器』の存在を知った。ガウス加速器とは、磁石と鉄球が並び列に別の鉄球がぶつかると、高速で球が打ち出される装置である。ゆっくり転がった鉄球が磁石と鉄球の列にぶつかると、突然、自分の予想をはるかに超えるスピードで打ち出されるのを見て、目が釘付けになった。「なぜ、こんなに速いスピードで球が出すのか？」その仕組みが知りたい。そして、より高速のガウス加速器を作ってみたいという思いから、この研究を始めることにした。

2. 研究の方法

……まずはガウス加速器について知ること
疑問に思うことについて実験していく。

・ピースピという速度を測る装置で、鉄球が最初に出る速度(km/h)と、『反発距離』(cm)を測る。
・各条件で10回試測し、平均を出す。

『反発距離』：鉄球がぶつかる先頭の球の位置を決め、そこから1しょう実験はね返って移動した距離

ピースピ ← 使用した材料

ネオジム磁石球：①直径15mm/12g ②10mm/4g ③5mm/0.48g/吸着力32kg ④5mm/0.48g/吸着力38kg
鉄球：①直径15mm/14g ②11mm/6g ③10mm/4g ④8.5mm/3g ⑤5mm/0.5g
ピースピ、定規、配線カバー、木材、つまようじ、竹ひご、マスキングテープなど
・配線カバーを木材に固定して転球台を作り、→ ピースピをセットして速度を測る。

3. 研究の内容・結果

※磁石＝●、鉄球＝○とし、ぶつかる球を入射球、ぶつけられる列を発射列とする。
速度はすべてkm/h、距離はcm

実験(1) 鉄球の数を変える

発射列の先頭に磁石●+鉄球○…○の数を1、2、3、4、5、6個にする。

[予想] ○の数が多いほど個が最も速いと思う。

発射列	●○	●○○	●○○○	●○○○○	●○○○○○	●○○○○○○
速度	−	6.93	7.2	7.48	7.54	6.78
反発距離	−1.1	8.7	5.6	3.6	2.42	2.4
順位	−	5位	3位	2位	1位	4位

[結果] 鉄球に磁力がはき番いている5個までは数が増えるほど速くなったが、吸着力が強くなる6個では遅くなった。
[結論] 磁界の範囲内で鉄球の数が多い方が速いのだと思う。

実験(2)-1 磁石の位置を変える(●1個)

発射列の●の位置を変えたらどうなるのか？と思い、(1)で速かった配列＝●1+○5で実験。

[予想] (1)で最も速かった○5個の連続が速いと思う。

発射列	●○○○○○	○●○○○○	○○●○○○	○○○●○○	○○○○●○	○○○○○●
速度	7.475	6.997	0.447	−	−	−
反発距離	2.42	0.16	−0.17	−0.19	−0.19	−0.21
順位	1位	2位	3位	−	−	−

[結果] 予想通り○→●○○○○○が速かった。思ったより発射されないものが多数いた。●より前の○の数が、●の真ごうか○より多いと発射されない。

ココで疑問
磁石が真ん中にある場合はどうなる？

実験(2)-1追加
○→○○●○○ で実験。[結果] ○○○●○○ となり、発射されなかった。
[結論] 磁石をはさんだ前後の鉄球が同じ数、または手前に多いときには鉄球は発射されない。
磁石1個の場合、手前に磁石を置くのが一番速いと分かった。

実験(2)-2 磁石の位置を変える(●●2個)

[仮説] 磁石を増やすと磁力が強くなるので、さらに強くなるのでは？という仮説から、●2個を使って加速器を作る。
[方法] 発射列に●2個と○6、5、4、3、2個の列を作り、それぞれ磁石の位置を変えて調べる。
[予想] 実験(1)で最も速いのが○連続5個だったので、磁石2+鉄球5(○→●●○○○○○)が最も速いのではないか？

	磁石2 鉄球6						磁石2 鉄球5						磁石2 鉄球4				磁石2 鉄球3				磁石2 鉄球2			
発射列	●○○○○○○	○●○○○○○	○○●○○○○	○○○●○○○	○○○○●○○	○○○○○●○	○○○○○○●	●○○○○○	○●○○○○	○○●○○○	○○○●○○	○○○○●○	○○○○○●	●○○○○	○●○○○	○○●○○	○○○●○	○○○○●	●○○○	○●○○	○○●○	○○○●	●○○	○●○	○○●
速度	2.217	5.553	5.587	6.643	6.804	6.694	5.917	2.119	−	5.896	6.198	6.338	6.33	1.69	−	5.61	6.34	7.22	−	−	5.344	6.326	−	−	5.418
反発距離	1.1	1.1	0.7	1.2	0.7	0.5	1.2	0.8	−0.6	0.78	1.4	1.35	1.25	0.47	−	1.53	1.38	1.89							
順位				4位	2位	3位	1位				4位	7位	8位				5位	1位				6位			

実験(3) 鉄球のみ

鉄球だけをレールで転がしていた時に、ガウス加速器とは全く違う様子で球が発射されるのに気がついた。そこでガウス加速器と同じように並べて違いを調べることにした。

実験(3)-1 発射列の数を変える(資料参照)
[結果] 速度にはほとんど差がなかった。磁力の影響がないから当然だと思う。
実験(3)-2 合計5個で配列を変える
実験(3)-3 発射列5個 入射数を変える
(資料参照)
[結果] どちらも入射数と同じ数の球が打ち出された。ガウス加速器と違い磁力がないので球がばらついたりして少し分かりにくかった。

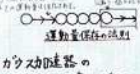
これらの結果について調べると「運動量保存の法則」が関係していると分かった。

運動量保存の法則とは…
物体が持つ運動量(質量×速度の向き)の総和は、ぶつかる前と後で変化しないという法則。ただし、この法則がなりたつためには、それぞれの物体に働く力が安定状態など物体の状態が変わらないときという条件が必要。

『ニュートンのゆりかご』で運動量保存則を体験してみた。

[分かったこと]
・ぶつけた数と同じ数の球が打ち出される。
・同じ速度で発射される。
・これがすごくくり返される
→「運動量が保存されている」
けれど実際は、空気抵抗やまさつのせいなのか永久には続かない。

★鉄球のみの場合



★ガウス加速器の力の強い仕組み

実験(4) 球の大きさを変える ●○共に5mm、10mm、15mmでため転する。(5mmは吸着力32kg と38kgの2種)

(4)-1 鉄球の転がる速度を測る
入射球が発射列にぶつかる位置までの速度を測る。
(4)-2 磁石1個、鉄球数を変え大きさ別に調べる。

(4)-1	速度 km/h					
	5mm		10mm		15mm	
○+	1.66	3.12	1.19	0.12	1.67	1.12
(磁石)	5mm(38kg)	5mm(48kg)	10mm		15mm	
●○	6.25	6.06	5.94	5.86	6.17	6.12
●○○	6.71	6.69	6.71	6.67	6.71	6.67
●○○○	6.93	6.87	7.00	7.05	6.93	6.75
●○○○○	7.19	6.62	7.19	7.04	7.09	6.93

[結果] 入射速度は、1位15mm 2位5mm、3位10mmだった。
(4)-2では、●○以外で1位15mm、2位10mm、3位5mm(吸着32kg)、4位(32kg)となった。15mmは速かったが○→5個の速度があまり変わらなかった。
[分かったこと] 磁石と鉄球が大きい方が速かった。同じ質量の5mm●で吸着力の強い方が速いためで磁力の強い磁石を使う方が速くなると分かった。

4. ここまでの考察

ここまでで速度1位は、15mm ○→●○○○○ の7.05km/h、2位は10mm ○→●○○○○ 7.12km/h。

実験(1)(4)(5)より、ほとんどの実験(15mmと4%)で○→●○○○○○の配列が最も速かった。磁力がしっかり働く範囲内で鉄球の数が多い方が速いと分かった。
実験(2)-1より、磁石1個の場合は列の最初に●を置くのが一番速い。磁石をはさんだ前後の鉄球が同じ、または手前が多いときは発射されない。
実験(2)-2 発射列の磁石を2個に増やしても今回特に速くならなかった。(磁石がいたんでいたかも…?) 発射列の端まで磁力がしっかり届いていると速いと分かった。
実験(3)-2(3)-3 鉄球のみでは、入射数と同じ数の球が打ち出され、並んでいたのと同じ数の球がとびました。(=運動量保存の法則) ⇒ ガウス加速器の仕組みにも運動量保存の法則が成りたっていると分かった。実験(4)-2では、今回鉄球と磁石が大きい方がより速かった。同じ大きさ、重量の磁石で吸着力の強いのが速かったことから、磁力の強い磁石を使う方が速くなると分かった。伝達されるエネルギー量を上げられるからだと思った。磁石はガウス加速器などで使用していると磁力が弱くなることが分かった。実験(5)-1 鉄球と磁石の大きさは、同一サイズが最も速かった。大きさが異なる場合は、磁石に対して大きいものよりは小さい方が速いと分かった。

☆速くなる条件☆
・15mm磁石1個+鉄球3個(○→●○○○)
・10mm磁石1個+鉄球5個(○→●○○○○○)
・列の最初に磁石が来り磁力が強まり付きわたっていること
・鉄球と磁石の大きさは、すべて同じであること
・球の大きさが大きいもの(大きさと磁力のバランスが最適なもの)
・磁力が、より強くなること(付きわたっている磁界の磁力が強いこと)

実験(5)-2 発射列10mm、入射球15mm(→資料)
[結果] 1位は○+6個の6.73km/h。入射球を大きくしても速くはならなかった。

「なぜ連射が速くなるんだろう？」 ← 考えた

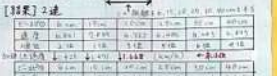
1連目で磁石に引きつけられ加速しようと、保存されたエネルギー(少し減少)で発射され、それが次の連にぶつかる時にさらに磁力に引き寄せられて加速する。
これがくり返されてさらに速くなる。

[検証] ぶつかる直前速度を測りり加速を検証。

[結果] わずかな加速は測れたが、しかしそれ以上を測定することはできなかった。

『もっと速いガウス加速器を作ちには？』

[仮説] 最速の配列ですら出た球をさらに同じ列で打ち出すともっと速くなるのではないか。
[方法] 今持ちの球には限界があるので、できる範囲で最速の配列＝10mm●1○5の列で連射してみる。
実験(6) 連射2、3連…間隔をどのはばにすればいいか探るため、6cm、15cm、30cm、35cm、50cm、80cmで試す。(15cmは最短、6cmとどうなる?)



[結果] 2連

	6cm	15cm	30cm	35cm	50cm	80cm
速度	6.861	7.035	6.922	6.886	6.917	6.87
順位	3位	1位	5位	4位	2位	6位
3連目速度	6.43	6.49	6.448	6.43	6.48	6.43
	↓1.07	↓1.09	↓1.473	←3.43		

	6cm	15cm	30cm	35cm	50cm	80cm
速度	6.894	7.019	7.027	6.893	6.941	6.924
順位	1位	2位	5位	4位	3位	6位
	↓	↓	↓1.477			

	6cm	15cm	30cm	35cm	50cm	80cm
速度	6.919	7.019	7.027	6.893	6.941	6.924
順位	1位	2位	3位	4位	5位	6位

・どの間隔も1連より2連目が速くなった。
・1連目も2連目も1位は15cmで、最速は7.035km/h。

[結果] 3連

	6cm	15cm	30cm	35cm	50cm	80cm
速度	6.897	6.899	6.937	6.938	6.937	6.933
順位	1位	2位	5位	3位	4位	6位
	↓1.07	↓1.096	↓1.477	←3.438		

	6cm	15cm	30cm	35cm	50cm	80cm
速度	6.919	7.019	7.027	6.893	6.941	6.924
順位	1位	2位	3位	4位	5位	6位
	↓	↓	↓1.477			

	6cm	15cm	30cm	35cm	50cm	80cm
速度	6.919	7.019	7.027	6.893	6.941	6.924
順位	1位	2位	3位	4位	5位	6位

・すべての間隔で連続で加速した。最速は7.035km/h。
・速度上位5位で、加速した速度を計算すると、2連では20cm(−1.18km/h)、3連は30cm(1.473km/h)が最も加速されていた。このことから最も加速する連射間隔は、20cmだと推測する。

【最終課題】一番速い加速器を作る!!

[方法] 発射列を増やし、20cm間隔で連射する。
・10mm ●○○○○○○○ を1連として4連、5連で連射。
[結果]

発射列	4連			5連		
	1番目	2番目	3番目	4番目	5番目	6番目
最高速度	10.09	11.16	10.97	11.40	11.66	
平均速度	10.287	11.103	10.918	11.3	11.583	
加速(5番目−1番目)			0.828			

・4連の最高速度は11.16km/h、5連の記録9.98km/hを上回った。
・連射する度に磁力が落ちていると考えたので3日で中止し、5連にした。
・5連の最高速度は11.66km/h。
・連射数を増やすほど速度が速くなった。が連射には磁石の磁力低下が必要だった。

5. 研究のまとめ

……今考察にカロえ、発射列の連射数を増やすほど速くなる、そして連射の間隔は20cmが最適と判断した。今回はできなかったが、最速だった15mm球で加速器を作って連射するとして速い加速器になると思う。ただ速いものだとネオジム磁石球や鉄球が傷つき磁力が弱くなったり割れたりするので注意が必要だと思う。また連射4連、5連の最高速度を出した時(資料)は、どちらもその前の発射速度も速かった。入射球がより速い速度でぶつかる方が、より高速で発射されると思う。研究を始めて数日後、鉄球にうっすらサビがついて遅くなった。サビを落とすと少し速度がとれた。鉄球を新品に変え毎回クレ556でふいて片付けるようにした。あと、最後の連射の試し打ちをした時、加速があまりなかったのと磁石を新品にしたら、やはり速くなった。ガウス加速器の加速には、磁力が大いに関係あると思う。サビに影響されたり、磁石の磁力がだんだん弱くなってきたりしてたくさんのやり直しをし、試行錯誤しながら実験を進めた。状態や条件が少し変わると結果にも表れるので、正確な実験をするというのは大変なことだと感じた。

この研究を仕上げるにあたり、高専ハカセ塾 有明高専の先生にご相談、ご指導いただいた。今回磁力により発生するエネルギーのすごさを感じることができて面白い研究だった。ガウス加速器はすごいパワーを持っている。この仕組みを生かして何か役立つものが作れないかと、今考えている。