

理化学研究所 ニュース

Jan.—1977

No. 43

新年のご挨拶

副理事長 宮崎友喜雄

新年おめでとうございます。

しばらく中断しておりました『理化学研究所ニュース』を再刊いたしまして、はや一年が経過いたしました。内容がむずかしすぎる、読みにくい、などいろいろご批判を頂きました。編集者一同大いに努力いたしましたが、何分にも力不足でありましたことを深く反省しております。この一年間の経験をもとにして、本年は心新たに、ニュース本来の主旨に沿った活動を続けたいと念願しておりますので、なお一層のご協力をお願いする次第であります。

さて財団法人理化学研究所は1917年3月に設立されましたので、本年は満60周年に相当いたします。ご承知のように財団法人理化学研究所は株式会社科学研究所に改組され、1958年10月には現在の特許法人理化学研究所に再編成され、今日に至っております。60年にわたる研究所変遷のあとを省み、その間に行われた数々の成果をふまえ、研究所将来の発展を期すべき極めて意義深い年であります。

この60周年を意義あらしめるため、当研究所内に60周年記念資料委員会を設けまして、資料を収集しておりますが、現在までに多くの貴重な資料が得られております。これらは日本の科学の発展の基盤となった当所の存在意義を追及しかつ60年の歴史を顧み今後の発展の一助となるものと存じます。

政界、学会、産業界の絶大なご支援によって設立されました現在の研究所は、ここ十数年の間に、政府の出資金、補助金、民間企業等からの出資金、寄附金等によって、自然科学研究の態勢が整備されてまいりました。長い伝統をもつ当研究所は、基礎的な研究においても、また応用的研究においても、ユニークな実りある成果を社会に還元すべき大きな責任があることを痛切に感じつつ努力している次第であります。今後ともなお一層のご支援とご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。

年頭にあたり、皆様方のご多幸とご繁栄をお祈り申し上げます。

理研の重イオン加速器について

はじめに

当所の重イオン加速器がどのような研究に使われる装置かは、『理化学研究所ニュース』No.39の「理研サイクロトロンによる研究」をみていただければ、ほぼおわかり願えることと思う。要約すれば、当所の重イオン加速器は、原子核をはじめ原子分子物理、固体物性、核分析化学、放射線化学、放射線生物学などの基礎的研究と、相互の境界領域の共同研究を目的としている。建設中の線形加速器が完成すれば、サイクロトロンとあわせて、この目的の推進に有力な施設となるであろう。ここではこれ以上研究内容に立ち入ってNo.39の記述と重複するのをさけて、重イオンを加速する上で生ずる問題点、当所の線形加速器が従来のものと異なる設計をなぜしたかなどについての説明をこころみることとする。

重イオン加速器の中心課題——クーロン障壁とイオンの荷電状態の問題

1920年代の末には、原子核の研究は、それまでの天然の放射性同位元素から放出される放射線を利用する方法では不十分となり、加速器により人工的に粒子を加速し、標的をたたこうとする提案が相次いでされ、世界の各地で製作が試みられていた。正の荷電を持つ元素の原子核を電場により加速して、標的に衝突させるのであるが、原子核反応が生ずるためには、標的の原子核の正の荷電との電気的反発力(クーロン斥力)に打ち勝って、2つの原子核が接触しなければならぬことはよく認識されていた。このクーロン障壁を乗り越える

ことのできるエネルギーをイオンに与えるために、当時の実験物理学者は、高電圧の発生と絶縁方法の改良に懸命となっていた。その競争において、先頭にたっていたのはバンデグラフの静電高圧装置であり、コッククロフト達はその発明したカスケード電圧発生装置で得ていた電圧は、はるかにそれに及ばなかった。それにもかかわらず、後者が人類最初の加速器による原子核破壊の実験に成功したのは、たまたま彼らの研究室を訪問したガモフが助言をしたおかげであるとされている。ガモフは当時は原子核に使用し得るか否かは不明とされた量子力学を、天然の放射性元素のアルファ崩壊に適用することに努力していた。彼の理論は、図1において原子核の内部にとじこめられたアルファ粒子は、障壁の外部に出られないはずであるが、量子力学効果によりわずかながら外に出る可能性があるとするもので、トンネル効果理論と呼ばれた。この理論によれば、逆に外部から内部へも侵入することが可能のはずで、クーロン障壁より低いエネルギーの陽子(水素の原子核)でも、核反応の発生があり得るというものである。これに勇気づけられて、装置製作の努力を実験にふりむけたのが成功の原因である。このエピソードは、人的交流が、公的な学会あるいは論文による情報交換よりも重要な役割を果し得ることを示しているが、ここではクーロン障壁の問題が、加速器の歴史に大きな影響を与えている例としてあげた。核物理の研究に使用される加速器が、水素、重水素、ヘリウムという最も軽い元素のイオンのみを30年近く加速してきたのは、第1

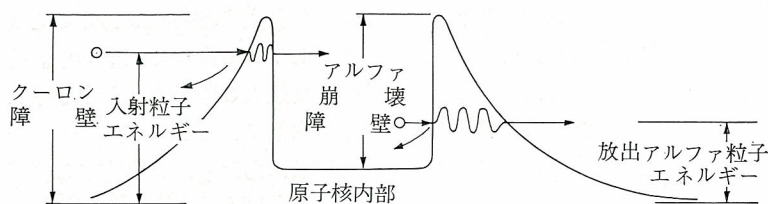


図1 原子核内部からの粒子の漏洩と外部からの侵入

には衝突粒子の構造が簡単であるほうが反応過程の解析が容易であることによるが、原子番号の大きい粒子を入射粒子とすると、クーロン障壁が高くなって加速器の製作が困難になるという実際の問題もあった。しかし、水素、ヘリウムによる研究も峠をこえ、加速器技術も進歩すると、当然未開拓の分野への関心が高くなった。1950年代後半から1970年代の初期が、いわゆる重イオン研究の第Ⅰ期といえよう。この時期にはイオン源技術の制約もあって、主として炭素、窒素、酸素などの軽元素のイオンが加速された。原子核物理においても多くの収穫があったが、それまで加速器とかかわる所のすくなかった多くの分野の研究者が、重イオンの使用を開始し、急速に加速器の利用範囲が核物理以外に拡大したことは、たまたま各分野の発展段階と相応じたとはいえ、加速器の歴史に特記すべきことであろう。当所のサイクロトロンは、同一研究所内に固体物理、原子分子、化学、生物等の多くの研究室が存在するためもあって、加速器の多目的利用という意味では先駆的な役割を果たしてきた。

1970年代初めからは、さらに重い元素を加速し、研究に利用しようとする気運がたかまり、新しい型の加速器の建設が世界の各地で開始されている。この第Ⅱ期の特徴は、重い元素の加速とともに、多くの分野による多目的利用を掲げて重イオン科学の推進を最初から目的としていることにある。当所の線形加速器は規模は小さいが、その一つである。

重い元素を加速するには、原子核のまわりの電子をはぎとり、荷電状態を作って電場により加速するのであるが、電子を多くはぎとる程、荷電も多くなり、加速が容易となる。しかし、原子核の正電荷と電子との引力にうち勝って電子を全部はぎとることは、原子番号、したがって原子核の正電荷が大きくなるにつれて、急速に困難になる。現在実用されているイオン源では、炭素で4、窒素、酸素、ネオンで5、アルゴンで6、ウランで10程度をはぎとり得るにすぎない。それらのイオンは $^{12}\text{C}^{4+}$ 、 $^{14}\text{N}^{5+}$ 、 $^{16}\text{O}^{5+}$ 、 $^{20}\text{Ne}^{5+}$ 、 $^{40}\text{Ar}^{6+}$ 、 $^{238}\text{U}^{10+}$ と書かれる。元素を表す記号の右肩がはぎとられた電子数、左肩が原子核の質量数を示す。電場によりイ

オンに与えられる加速度は、イオンの電荷に比例し、質量に反比例するから、アルゴン、ウランなどの重い元素の速度は、軽い元素と比較するとゆっくりとしか大きくならない。核反応を起こさせようとする場合、クーロン障壁は重い入射粒子程大きいから、加速の能率の悪いのに加えて、目標エネルギーも非常に大きいものになってしまう。同種粒子間の核反応発生に必要な電圧で表現すると、4価の炭素イオンならば、5～6 MV (500～600万ボルト) あればよいが、ウランの10価イオンでは140 MV (1億4千万ボルト)を必要とする。後者の電圧を直流で得ることは現在の技術では不可能で、何らかのくりかえし加速の方法によらねばならない。

以上のように、重い元素の加速器は、使用するイオンの荷電状態と、標的のクーロン障壁の値により、その構造と規模が定められる。この両者にどう対処するかが、重イオン加速器技術の中心課題である。世界各地の加速器設計者の提案は、設計者ごとにことなるといってよいほどで、変化と創意に富んでいる。

理研の可変周波数重イオン線形加速器

上にのべた2つの制約を、最も重い元素に対しても乗り越え得るような加速器の規模は大きなものとなる。現在世界で建設中のものは、2ないし3個の加速器をシリーズに接続して解決しており、建設費も大きい。当所の線形加速器は、加速周波数を可変とすることによりほとんどの元素を確実に加速し得ることを主目標とし、鉄より重い元素では、エネルギーを同種粒子間のクーロン障壁以下に抑制し、規模が膨大となることをさけた。そ

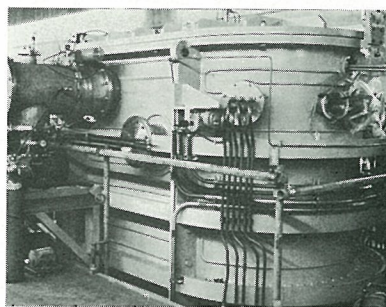


図2 第1高周波主加速器

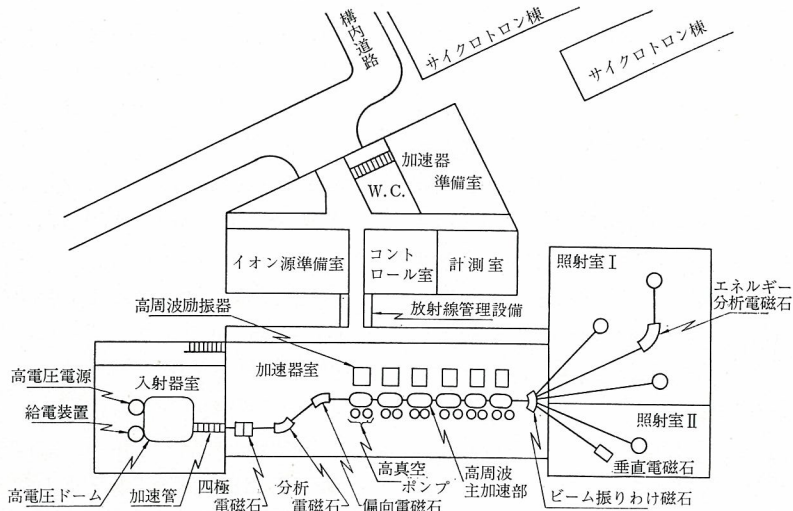


図3 加速器の平面配置図

のエネルギーの例は次のとおりである。

元 素 名	荷 電 数	エ ネ ル ギ ー
ア ル ゴ ン	6 +	120 MeV
鉄	8 +	160 MeV
キ セ ノ ン	9 +	180 MeV

重い元素のエネルギーは核物理以外の固体、原子分子物理、化学、生物学などの原子核反応の発生の必要のない過程の研究には、十分使用し得る値である。

サイクロトロンを使用しないのは、次の理由による。

- 1) イオン源で作られた電荷のまま重い元素を加速するには、巨大な電磁石が必要となる。線形加速器と同等のイオンとエネルギーに対し、約3000 tと推定される。
- 2) 円形軌道を描くため、飛行距離と時間が長く、その間にイオンの電荷が変わり、うしなわれる可能性が大きい。それに対し、線形加速器では距離も時間も1/10以下であり、電荷変換による損失が1/10~1/100と小さい。
- 3) 円形軌道からひき離して磁場の外部へイオンを取り出すことは、重い元素ほど困難になってくる。
- 4) サイクロトロンは磁石の中央にイオン源を置き、ここから最大半径まで円運動をさせながら加速するのであるが、重い元素のイオン源は大型複雑となるものがあり、磁石の中心に置くこ

とが困難である。

- 5) 加速装置内部の真空度を、重い元素の加速に必要な高真空に保つことが、サイクロトロンでは困難である。

線形加速方式には上のような困難はなく、重い元素の加速に適しているが、現在までに建設された線形加速器は、すべて加速周波数が一定で、イオンにより変化させることができない。そのため次のような別の問題が生ずる。

- 6) 重いイオンと軽いイオンが同一の速度を持たねばならないから、前者に大きい加速電圧、後者に小さい加速電圧を与えて、加速度を調整せねばならない。 $^{12}\text{C}^{4+}$ と $^{238}\text{U}^{10+}$ では1 : 8の電圧比となる。このように大きい比で使用することは種々の不都合を生ずる。

もちろん、線形加速器の周波数を可変とすることにより、イオンの質量に関係なく、一定の加速電圧を使用することができ、多くの利点があることはよく知られている。しかし、それが実現しなかったのは、この目的に適した性能の共振器の構造が見出だされなかったためである。また、イオンの軌道集束方法、大電力高周波励振器等の周辺技術において従来の線形加速器と異なるものを開発せねばならない。当所には、幸いに、そのような周辺技術の開発をおこない得る加速器技術者のグループがあり、計算とモデル実験をくりかえして、可変周波数線形加速器の構造を定めることができた。これまでに、可変周波数方式の提案は、

当所以外にもあったが、製作に入ったのは我々が最初である。

図2はすえ付けられた第1高周波主加速部、図3は建物と機器配置図である。53年度までに主要

部分の設置を終わり、研究設備を整備して、54年度より運転に入る予定である。

リニアック研究室
主任研究員 小寺正俊

発明・考案リスト

昭和51年7月～10月に公開になったもの

公開番号	出願番号	発明・考案の名称
51-76257	50-99889	デヒドロアピエチン酸13位置換体の製造法
51-86402	50-10360	フィタジエンの製造法
51-84485	50-1779	温度測定回路(実用新案)
51-88967	50-153004	1,1-ジメチル-3-(5-置換-1,3,4-チアアゾール-2-イル)尿素の製造法
51-91008	50-15994	閉循環回路形静圧気体軸受を備えた分子ポンプ
51-95181	50-18368	プロテアーゼの製造法
51-95952	50-21262	電子ビーム接合法
51-98257	50-21257	ジテルペン系誘導体の製造法
51-98258	50-21259	//
51-98259	50-21261	//
51-98266	50-21258	//
51-98267	50-21260	//
51-98383	49-127276	核酸分解酵素の製造法
51-100134	50-18948	デジタルコンパス(実用新案)
51-104880	50-29675	電子ビームのエネルギー密度の測定法
51-108065	50-30734	2-アルコオキシ-1,3-ベンゾジチオール-1,3-ジチオールの製造法
51-108066	50-30735	テトラチオフルバレン誘導体の製造方法
51-108067	50-30736	//
51-106729	50-30732	農園芸用殺菌剤(共同出願)
51-106736	50-30733	// (//)
51-106481	50-32022	希ガス液体、固体を用いたγカメラ
51-107689	50-32803	抗血栓性人造器官材料
51-110538	50-34003	レスロンの製造法
51-110539	50-34004	2-ホルミルメチル-3-メチル-シクロペンタ-2-エン-1-オンの製造法
51-110021	50-32797	農園芸用殺菌剤(共同出願)
51-110022	51-17514	// (//)
51-110023	51-17515	// (//)
51-110029	50-32795	// (//)
51-110030	50-32796	// (//)
51-110031	50-33346	// (//)
51-113715	50-38680	デジタル信号の磁気記録再生方法及び装置
51-115454	50-40727	抗菌性及び抗腫瘍性関連物質の製造法
51-115499	50-40177	有効成分の抽出分画方法
51-123512	50-48774	二値画像読取方法
51-70889	49-143065	植物ウイルス阻害物質の製造法
51-76430	49-147935	植物性ウイルスの防除剤
51-86118	50-9828	植物ウイルスの防除方法



着想の転換

私は、今から約10年程前の数年間ワシントンにある在米日本大使館で、いわゆる科学アタッシュとして勤務しましたが、当時大勢の邦人旅行者に毎日といってよいくらいお目にかかり、日米の諸事情について色々な角度からのお話し合いを楽しんだものでした。その中には非常な米国通もおられて、時々こちらがやり込められるのですが、そんな時に小生側でのとって置きの質問があったのです。それは「シカゴの海拔レベルはどの位か」というものです。

ご承知の通りシカゴは五大湖の一つであるミシガン湖に面していますので、この問題は同湖の水位を問うのと同じですが、殆んどの方があてずっぽうの返事をなさる中で、ある水土木の専門家が1000m位という答をしました。そこでその答の根拠はと聞きますと、同氏は、「ミシガン湖から流れ出る川がミシシッピー川に合流し、メキシコ湾にそそぐまでに2000km以上流れるが、河川の流れうる最小勾配を1/1000とすると、同湖の水位は2000m以上となるが、そんなに高いとは思われないので、その半分の1000mと言った」とのことです。

それでは読者の皆様のお答えは、というところですが、焦らさずに正解を申し上げますと、実はたったの177mなのです。もって米国中部平原の広大さが判るのですが、私がこの小文でお話し

たいことは、こういった米国の地勢上の事実ではなく、この質問に対する推理の方法についてであります。私はそこに二つの教訓、と言っては大げさならば二つの示唆が含まれていると思うのです。

一つは、この水土木専門家が考えた最小河川勾配の誤りについてですが、これを普遍しますと、全く新しい問題ないしは異質の事柄に対して、自分が従来親しんでいる知識あるいはデータを単純に適用してはならないということになりましょう。

他の一つは問題解決に対するアプローチについてです。この水土木専門家の場合は、適用したデータは間違っていますが、解答へのアプローチの方法はきわめて科学的です。しかしそれならば、同じミシガン湖の水が五大湖のルートを通して大洋に流れるという点に着目したらどうなるでしょうか。ミシガン湖は全く同じ水位でヒューロン湖に連なり、3mの落差でエリー湖につながります。そしてその水はナイアガラの滝を落ちてオンタリオ湖に入り、更にセントローレンス川を通して大西洋にそそぎます。この間の大きな落差といえば、ナイアガラ滝部分の約100mと、セントローレンス川最上流部の約70mだけですから、ミシガン湖の水位177mはそれ程大きな誤差なしに推理できるわけです。このアプローチは、ミシシッピー川ルートを大手攻めとみれば、いわば搦手攻めに当たりましょう。

以上二つの示唆は、要約すれば着想の転換の重要性ということになりますが、常に新しい問題を追求する研究の仕事においても、考えてみる意味があると思います。

理事 山本幸雄

◆理研シンポジウムのお知らせ

◇テーマ 磁場の存在下での分子の動的挙動

とき 1月29日(土) 10:00~17:00

ところ 理化学研究所機械棟会議室

主催 理論有機化学研究室

講演者 岩村秀, 松崎章好, 木下実(以上東大), 秦憲典(青学大), 徳九克己(筑波大), 舛林成和(山口大), 三川礼, 伊藤公一(阪大), 長倉三郎, 林久治(以上当所)の各氏

理化学研究所ニュース No. 43, Jan. 1977

編集発行・理化学研究所
編集責任者・宮崎友喜雄

埼玉県和光市広沢2番1号
〒351 (0484)-62-1111(代表)