

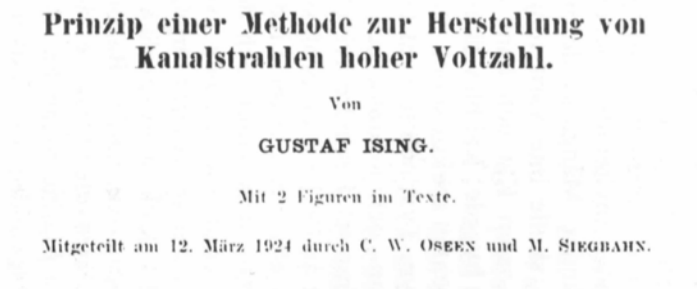
Institutionens elektrostatiska acceleratorer

Ragnar Hellborg

1. Utveckling av acceleratorer på 20- och 30-talet

Acceleratorer – det vill säga teknisk utrustning för att accelerera laddade partiklar – började utvecklas på 1920-talet.

- a. Svensken Gustaf Ising (1883-1960) presenterade 1924¹ en metod för partikelacceleration som gav partiklarna högre energi än utrustningens maximala elektriska spänning. Detta var en pionjärinsats som ligger till grund för alla liniäracceleratorer och för alla cykliska accelerators. Första delen av Isings artikel ser vi i bild 1. I bild 2 ser vi Isings egen principritning på sitt förslag till acceleratorkonstruktion.



Die folgenden Zeilen beabsichtigen eine Methode zu skizzieren, welche im Prinzip erlaubt, mit einer zu Verfügung stehenden mässigen Spannung Kanalstrahlen (ev. Kathodenstrahlen) beliebiger Voltzahl zu erzeugen. Dies soll dadurch

Bild 1. Isings artikel från 1924 publicerad i Arkiv f. mat. astr. o. fys.

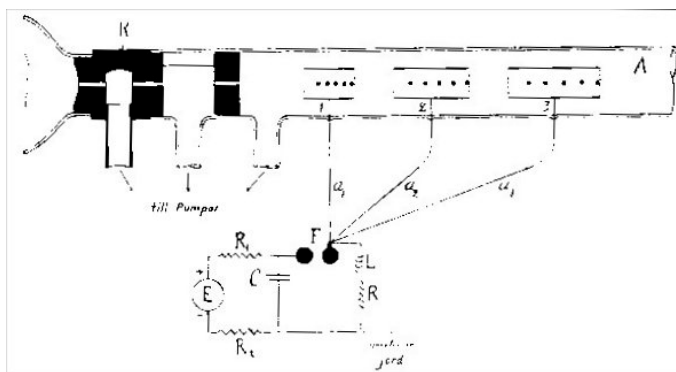


Bild 2 Isings konstruktionsförslag (Kosmos 1933 s. 171)

- b. Norrmannen Rolf Widerøe (1902-1996) – verksam i Aachen i Tyskland på 20-talet – utnyttjade år 1927 Isings några år gamla idé enligt ovan och byggde den första lineära acceleratoren². Vi ser Widerøes konstruktion i bild 3. Med ett radiofrekvent elektriskt fält på 25 kV kopplat till två accelerationsgap accelererade Widerøe laddade natrium och kalium atomer till energin 50 keV. Widerøe föreslog och prövade också en annan tänkbar metod. Principen för denna var att

¹ G. Ising, Arkiv f. mat. astr. o. fys. Bd 18 (1924) Nr. 30.

² R. Widerøe, Arch. F. Elektrotechn. 21 (1928) s. 387.

jonstrålarna av ett magnetfält skulle tvingas att löpa runt i ett elektriskt virvelfält. I bild 4 studerar Rolf Widerøe många år senare en utställningsmonter på Röntgenmuseet i Remscheid i Tyskland. I montern visas en av hans modeller på en linjär accelerator.

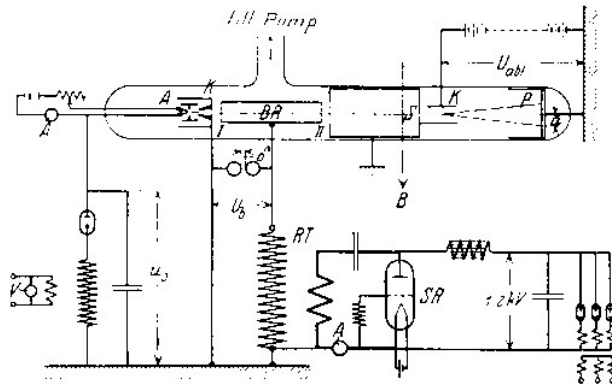


Fig. 22. Widerøes anordning för två gångers acceleration.

Bild 3. Principskiss på Widerøes accelerator. (Kosmos 1933, s 174)

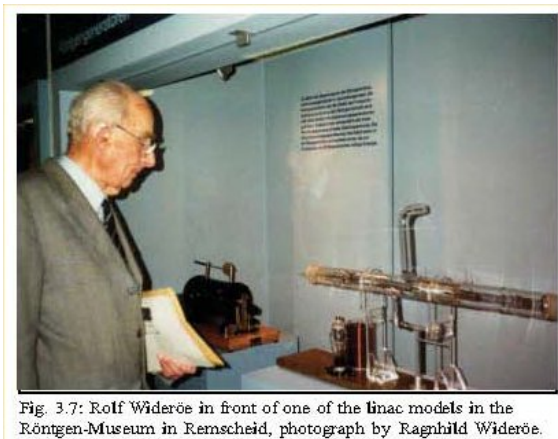


Fig. 3.7: Rolf Widerøe in front of one of the linac models in the Röntgen-Museum in Remscheid, photograph by Ragnhild Widerøe.

Bild 4. Viderøe studerar en monter i Röntgenmuseet i Remscheid i Tyskland som visar en modell av hans linjäraccelerator. (kompendiet om Wideroe)

- c. Ernest Lawrence (1901-1958) vid University of California läste år 1929 om Widerøes linjäraccelerator. I bild 5 ser vi Lawrence handskrivna anteckningar om att han hade upptäckt Widerøes framgång med sin linjäraccelerator. Lawrence insåg att om man kunde få partikeln att gå på gång återvända till samma gap skulle accelerationen kunna mångfaldigas. År 1931 byggde Lawrence och Stanley Livingston (1905-1986) den första cyclotronen³. I en sådan accelerator rör sig de laddade partiklarna i ett homogent magnetfält vinkelrät mot magnetfältet. De beskriver därför en cirkelbana. De återkommer därmed till accelerationsgapet gång på gång och får energitillskott efter energitillskott. En principskiss finns i bild 6. I den första modellen som Lawrence och Livingston byggde hade magnetfältet en diameter av ungefär 100 mm. I januari 1931 accelererades

³ E.O. Lawrence and M.S Livingston, *Phys. Rev.* 40 (1932) 19-35.

vätejoner med ett accelerationsgap på 1 kV upp till en energi av 80 keV. I bild 7 ser vi Lawrence vid kontrollbordet till en av sina cyklotroner.

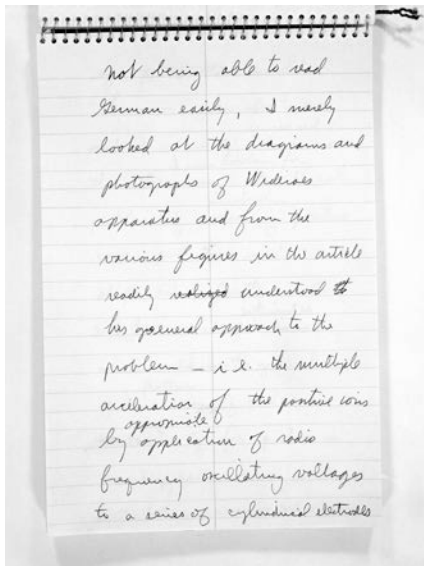


Bild 5. Lawrence anteckningar som visar att han utnyttjade Widerøes idé.

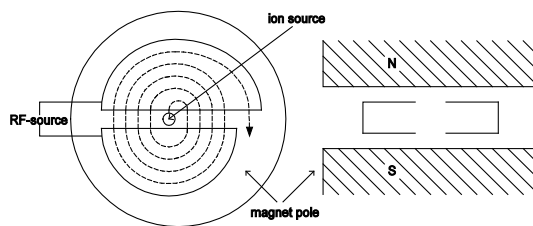


Bild 6. Principskiss på Lawrence accelerator.

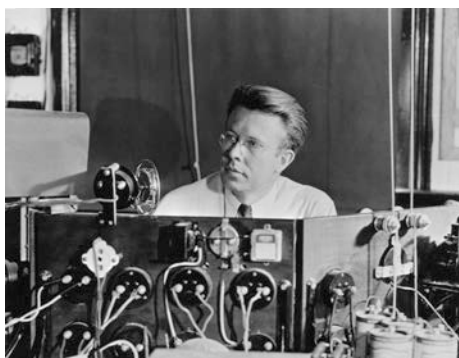


Bild 7. Lawrence vid kontrollbordet till en av sina cyklotroner.

2. Elektrostatiska acceleratorer

En elektrostatisk accelerator består av en från jord elektriskt isolerad högspänningsdel som laddas på elektrostatisk väg med hjälp av ett rörligt laddningstransportband. Detta band transporterar kontinuerligt laddning upp till högspänningsdelen. Inuti högspänningsdelen placeras en jonkälla och mellan jonkällan och jord placeras ett accelerationsrör ur vilket luften har pumpats bort. Det vill säga trycket i accelerationsröret är mycket lågt. I accelerationsröret sker accelerationen i ett steg till den maximala energin.

Robert van de Graaff (1901-1967), verksam i Princeton och vid MIT på den amerikanska östkusten, byggde en första demonstrationsanläggning av en elektrostatisk generator 1929. Med den kunde han nå upp till 80 kV. Nästa anläggning bestod av två delar som kunde laddas till vardera plus respektive minus 1,5 MV. Alltså ett totalt spänningsfall på 3 MV mellan de två högspänningsfärerna. En principskiss på denna maskin finns i bild 8. Bilden användes för van de Graaffs patentansökan. Ett foto av denna demonstrationsanläggning syns i bild 9.

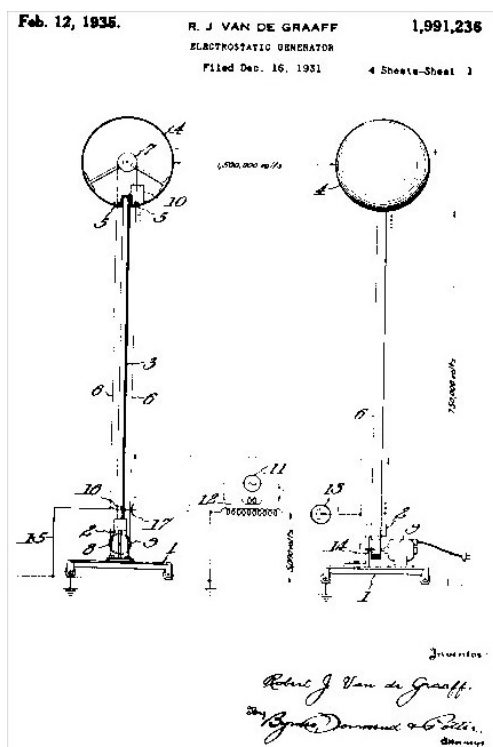


Bild 8. Demonstrationsmaskin som van de Graaff använde vid sin patentansökan (Fig 6 NIM 122)



Bild 9. Robert van de Graaff till vänster demonstrerar sin 1,5 MV apparat för Karl T. Compton 1931. (Fig 7 NIM 122)

En annan av acceleratorpionjärerna Ray Herb (1908-1996), verksam vid University of Wisconsin, placerade sin elektrostatiska accelerator i en trycktank med lämplig isolationsgas (t.ex. torr N_2 -gas uppblandad med en mindre mängd CO_2 -gas) med högt tryck (upp till 1,5 MPa). Acceleratorns mekaniska dimensioner kunde härigenom kraftigt begränsas och luftfuktighetens inverkan eliminerades. I bild 10 ser vi Ray Herb vid manöverpanelen till sin 2,4 MV accelerator någon gång under mitten av 1930-talet.

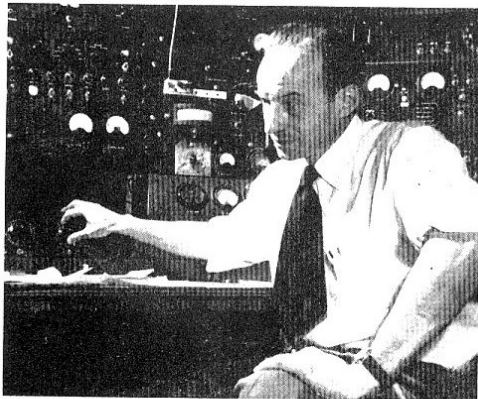


Fig. 21. R. G. Herb operating the 2.4 MeV Wisconsin Van de Graaff.

Bild 10. Ray Herb vid manöverpanelen till sin 2,4 MV accelerator. (Fig 21 NIM 122)

3. Sten von Friesen (korsref) Amerikaresor efter 2:a världskriget

Sten von Friesen (korsref) (1907-1996) professor vid Fysicum i Lund 1948-1972 besökte Ray Herb i Madison Wisconsin vid några olika tillfällen. I bild 11 får vi se vad von Friesen skriver i sin dagbok om besöket hos Herb den 17 mars 1947. Under detta besök drog von Friesen upp riktlinjerna för den elektrostatiska accelerator som han planerar att bygga då institutionen flyttar till en ny institutionsbyggnad 1950. I Bild 12 ser vi ett fotografi på Herbs 4,5 MV accelerator, en av de accelerators som von Friesen fick se vid sitt besök hos Herb och som stod modell för von Friesens konstruktion i Lund. Efter von Friesens hemkomst till Lund påbörjades arbetet på en accelerator enligt "Herbs modell".

*HP. 9.14. Informations av H. Richards R. Herb.
Instrumentet för 4,5 MeV. Trycket 10 kg luft av max
tryck. Längd 21 fot. Innehåll med 50 fot på
obyggnad vid universitetet. Inga andra än rånben
lämnas med utvid. Svårare att lösa ut svårare
gitter i 2 min. Kommer på samma sätt en koppelbel
på 40 fot. Totalt 1600. Diameter 12 in. Bredd
i 40 in. Överlag-påläggningen i luft stiger betydligt
med trycket upp till 1000000 40 in.
Det är ett praktiskt sätt att göra på 4,000
kWh var 401" höjdhöjd (100 in. i 40 in.)
För att jämföra med en koppelbel några droppar
på 1000000 eller 1000000. Självspänning.
Till. För. De värme påläggningen är 1000000,
1000000. Papperstidlet är inte.
Koppelbel med 1000000 in. 1000000. 1000000
samma sättet som en starkt på 1000000.
Det är samma som 1000000. Pumpstället är
genom 1000000 in. 1000000 in. 1000000 in.
Sättningen utgång (1000000) och 1000000 in.
+ 1000000 in. 1000000 in.*

Bild 11. Sten von Friesens dagboksanteckningar från 17 mars 1947.

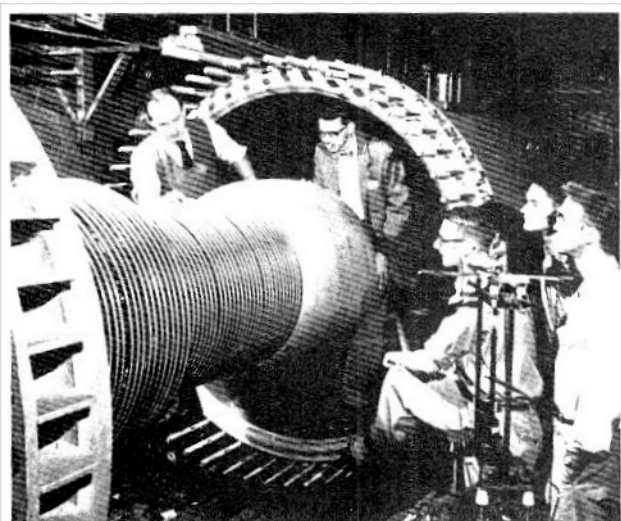


Fig. 23. R. G. Herb and his students with the 4.5 MV University of Wisconsin Van de Graaff.

bild 12. Ray Herb (till vänster) med några av sina elever vid 4,5 MV acceleratorm. (Fig 23 i NIM 122)

4. Jonkälleutveckling

Jonkällan där laddade partiklar skapas är en mycket kritisk detalj i acceleratorsystemet. Helmuth Hertz (korsref) (1920-1990) (från 1963 professor i elektrisk mätteknik vid LTH) (bild 13) inledde under slutet av 40-talet på Fysicum studier av plasmaurladdningar och utveckling av jonkällor för institutionens blivande elektrostatiska accelerator. I bild 14 ser vi en rf-jonkälla liknande den som Hertz utvecklade där plasmaurladdningen pågår. Den vackert lysande röda färgen är karakteristisk för att plasmat består av vätgas.

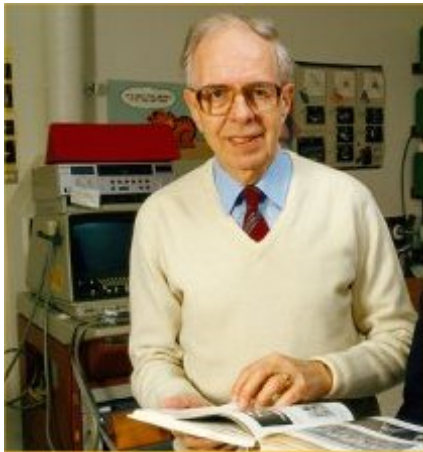


Bild 13. Helmuth Hertz (Bild från Wikipedia)

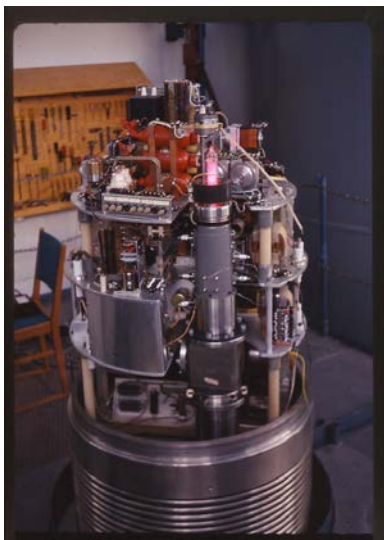


Bild 14. Rf-jonkälla med brinnande vätgas

5. *Kärnfysik avdelningen när utvecklingsarbetet hade startat*

Arbetet på en elektrostatisk accelerator i Lund bedrevs inom kärnfysikavdelningen. Denna avdelning leddes av Sten von Friesen. I bild 15 får vi se KF-gruppen samlad omkring Sten von Friesen i B-salen några år in på 50-talet.



Bild 15. Friesens avdelning samlad i B-salen i början av 50-talet.

6. *Gamla VdG i källarhallen i H-huset*

Institutionens blivande accelerator placerades i källaren på den då nyuppförda institutionsbyggnaden (idag H-huset). Acceleratorn kallades "bandgenerator" på grund av laddningssystemets utformning med ett roterande band för laddningstransport eller "Van de Graaff-en" eller "VdG-en", efter den person som konstruerade den första elektrostatiska acceleratoren, amerikanen Robert van de Graaff. I bild 16 ser vi institutionens hembyggda accelerator på sin plats i H-husets källare.

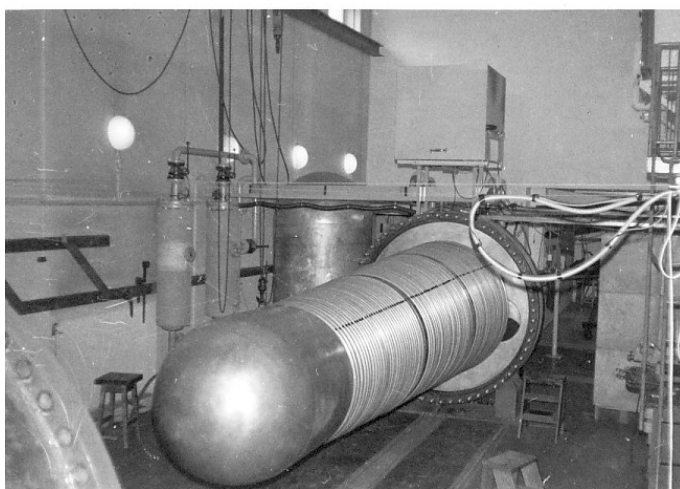


Bild 16. Institutionens hembyggda VdG-accelerator

7. Utvecklingsarbete med accelerationsrör, mekanisk stomme och laddningstransportband

Få specialdelar gick vid denna tid (på 50-talet) att köpa, det mesta måste tillverkas vid den egna institutionen. Därför skedde mycket utvecklingsarbete på accelerationsrör, accelerators mekaniska stomme, laddningsband mm. Framförallt Sten von Friesens assistenter Helmuth Hertz, Eskil Möller och efter några år Lars Ask bedrev detta arbete.

År 1956 hade forskargruppen kommit så långt i sitt arbete med acceleratoren att forskningsexperiment kunde inledas med en protonstråle från acceleratoren. Framst kärnstrukturstudier med reaktioner som (p,n) , (p,γ) , $(p,\alpha\gamma)$ utfördes under de följande åren med energier på protonstrålen upp till 2,7 MV. Olika lätta och medeltunga atomkärnor kunde bestrålas och värdefull information om dessa kärnors uppbyggnad kunde kartläggas.

8. Trekristallspektrometern

Ett viktigt steg på den experimentella sidan var när Sven AE Johansson (korsref) (1923-1994) (från 1965 professor i kärnfysik vid LTH) år 1949 demonstrerade sin utveckling "trekristallspektrometern"⁴. Med tre scintillationskristaller och ett elektroniskt antikoincidenssystem inkopplat mellan de två yttre och den centrala scintillationskristallen förbättrades detektionsupplösningen av gammastrålning väsentligt jämfört med en enskild scintillationsdetektor, Bild 17. Sven Johansson – Bild 18 - var en framstående experimentalist, denna detektorkonstruktion var ett av hans lysande framsteg.

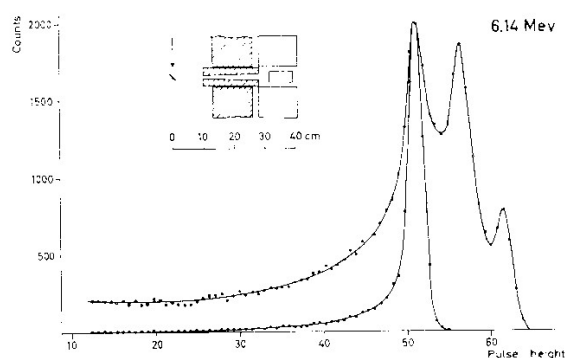


Bild 17. Med trikristallspektrometern fås en enkel topp i pulshöjdsfördelningen (nedre kurvan) jämfört med en mera komplicerad pulshöjdsfördelning (övre kurvan).

⁴ S.A.E. Johansson, Nature, 166, 794 (1950).



Bild 18. Sven Johansson i accelerators experimenthallen.

9. *Stort steg 1965, då kom Ge(Li)*

Ett ytterligare stort steg framåt togs hösten 1965 då den första halvledardetektorn (Ge(Li) detektorn) för registrering av gammastrålning kunde inköpas. Den första Ge(Li) detektorn var mycket enkel och liten. Den hade ett känsligt djup av 2 mm. Då den inte användes låg den i en frysbox. Inför användningen hämtades den. Då gick det undan, vi sprang i korridorerna med den kalla detektorn i den hanskförsedda handen. Snabb montering i dess hållare, på med ytterhöljet och nedpumpning till gott vakuum. Snarast kylning av dess hållare med flytande kväve. Därefter lades driftspänningen – några tusen volt – på i små steg. Det var viktigt att detektorns temperatur inte steg väsentligt under momentet från frysbox till kylning med flytande kväve i experiment behållaren. Energiupplösningen vid gammaregistrering med en sådan detektor ökade nu väsentligt jämfört med den äldre scintillationsdetektorn, NaJ detektorn, Bild 19. Jämfört med trekristallspektrometern förenklades elektroniken avsevärt och upplösningen förbättrades också ytterligare. Härigenom kunde nya kärnfysikaliska frågeställningar angripas.

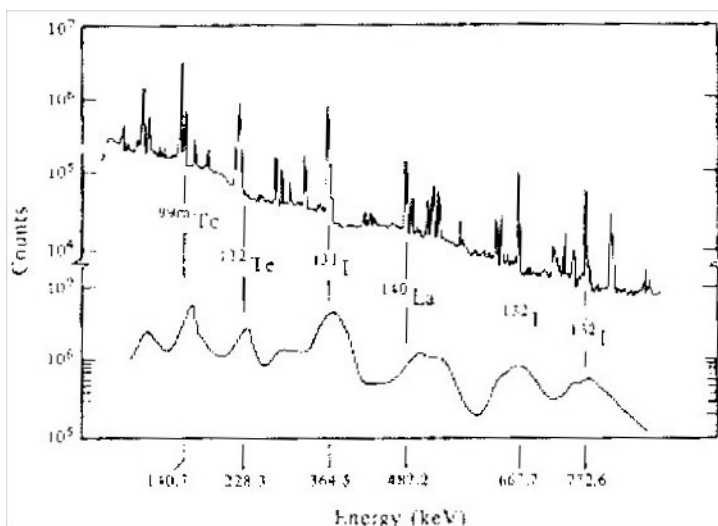


Bild 19. En komplicerad pulshöjdsfördelning registrerad med Ge(Li) detektorn (övre delen) respektive en NaJ detektor (nedre delen). Upplösningen med den äldre NaJ detektorn är storleksordningen 20 gånger sämre.

10. År 1969 demonstrerade Sven AE Johansson (korsref) PIXE-metoden

Med den nya halvledardetektionstekniken beskriven ovan kunde Sven Johansson (korsref) 1969 demonstrera en ny metod för identifiering av spårämnen (framförallt tyngre sådana) i material. Tekniken innebär att röntgenstrålning karakteristisk för varje grundämne som utsänds då strålen av joner passerar strålmålet detekteras med en halvledardetektor. Metoden går under namnet PIXE (Particle Induced X-ray Emission). Mätning på ett prov som innehåller många olika spårämnen finns i Bild 20. Metoden är idag en standardteknik använd i många analyslaboratorier världen runt.

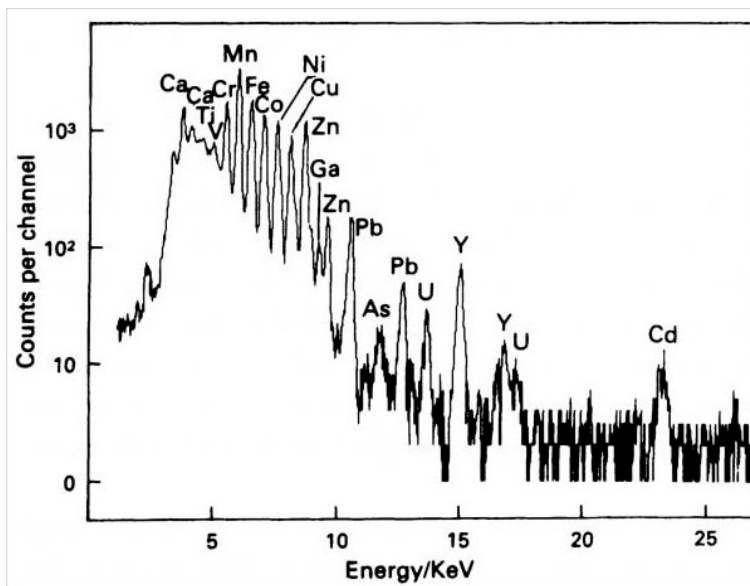


Bild 20. PIXE pulshöjdsfördelning med många ämnen.

11. Kommersiell 600 kV accelerator för laborationer och undervisning

Då LTH byggdes upp i början och mitten av 60-talet inköptes en kommersiell elektrostatisk accelerator för undervisning och laborationer. Dess maximala spänning var 600 kV. Den levererades av företaget HVEC i Burlington, USA och hade beteckningen An-400. Den placerades i källaren i institutionens LTH-undervisningsdel. Under en tid på slutet av 60-talet och början av 70-talet användes denna accelerator också för forskning med 14 MeV neutroner. Neutroner var lätta att skapa med denna accelerator trots dess låga maximala accelerationsspänning. Man använde kärnreaktionen $T(d,n)^4He$ för detta. Så småningom avvecklades undervisningen och forskningen vid denna accelerator och utrustningen sändes till ett utvecklingsland i Afrika.

12. Hembyggda acceleratoren stängs 1974

År 1974 hade institutionens hembyggda elektrostatisk accelerator "van de Graffen" tjänat ut och stängdes den 30 april högtidligen av Sten von Friesen. Med vid ceremonin var bland annat några av de som deltog vid det tidiga utvecklingsarbetet: Helmuth Hertz, Eskil Möller, Lars Ask och Sven Johansson. Acceleratorn demonterades för att bereda plats för en ny kommersiell accelerator.

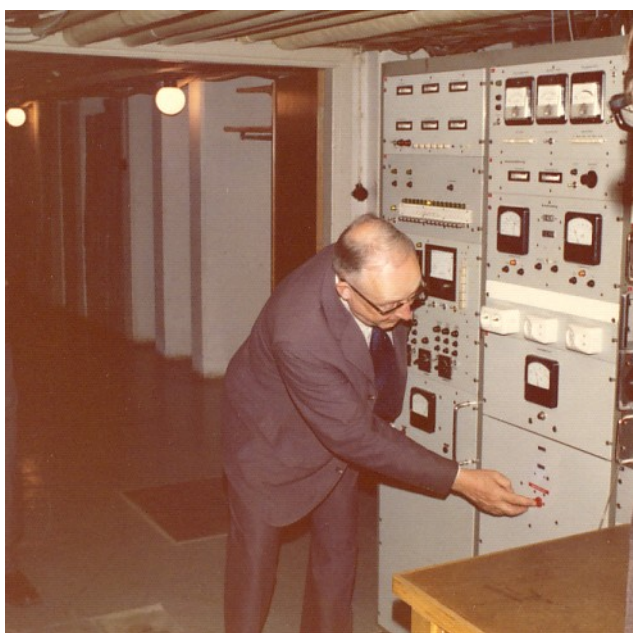


Bild 21. Sten von Friesen trycker på stoppknappen den 30 april 1974.



Bild 22. Deltagarna vid det efterföljande samkvämet.

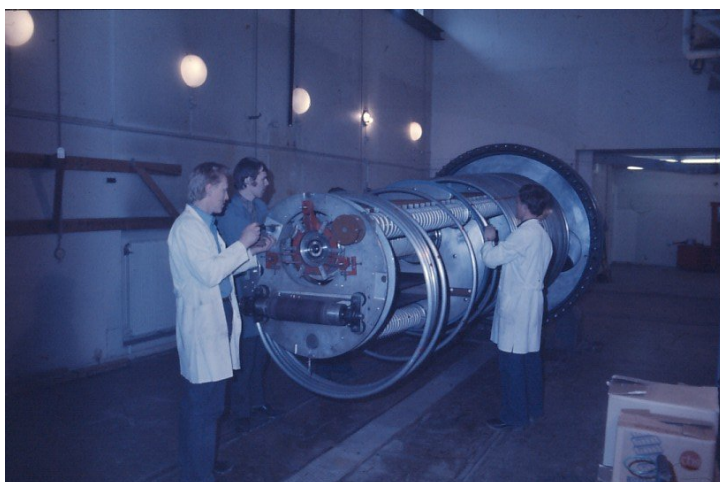


Bild 23. Här demonteras den gamla hembyggda acceleratorm under slutet av våren 1974.

13. Ny kommersiell accelerator 1976

Acceleratorlokalen i H-huset renoverades och den nya acceleratoren ”Pelletronen” anlände i slutet av sommaren 1975 och installerades under följande vinter. Under våren 1976 kunde den nya acceleratoren tas i bruk. Den var av så kallad tandem modell med maximal högspänning 3 MV. Tandem innebär att högspänningen utnyttjas två gånger. Den var byggd av National Electrostatic Corporation i Wisconsin USA. Detta företag startades av Ray Herb i mitten av 60-talet. Acceleratorer som byggs av detta företag är i många avseenden annorlunda jämfört med tidigare kommersiella elektrostatiska accelerators. Herb utnyttjade sin långa erfarenhet från 1930-1960-talen i sina acceleratorkonstruktioner. Detta innebär bland annat metallkedja för laddningstransport, accelerationsrör utan organiskt material mm. Pelletronen försågs åren närmast efter installationen med olika jonkällor så att den kunde leverera protoner och deutroner upp till 6 MeV energi, He-joner upp till 9 MeV, lätta joner (C, N, O, F etc.) upp till närmare 20 MeV. Utöver dessa jonkälleinstallationer gjordes omfattande tekniska utvecklingsarbeten under årens lopp med Pelletronen. Den försågs med en injektor med hög mass- och energiupplösning, med en optimal jonoptikdesign, med elektrostatiska linser och styrare på lågenergisidan och med pumputrustning i högspänningsterminalen. Pelletronen användes fram till våren 2005.



Bild 24. Pelletronen sedd från högenergisisidan.

14. Hedersdoktor

1993 utnämndes professor Ray Herb till hedersdoktor av matematisk-naturvetenskapliga fakulteten i Lund med motiveringen: "...för den avgörande roll han har spelat vid utvecklingen av elektrostatiska acceleratorer i närmare 60 år. Ursprungligen vid University of Wisconsin, där han utförde pionjärbete och senare som chef för National Electrostatic Corporation (NEC), ett högteknologiföretag för utveckling och produktion av elektrostatiska acceleratorer." Vid ett informellt halvdagsseminarium på Fysicum dagen före promoveringen, deltog Ray Herb, Sten von Friesen (korsref) och ett stort antal acceleratoranvändare.

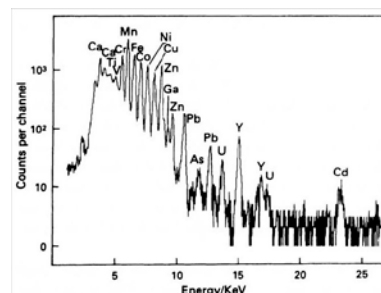


Bild 25. Blivande hedersdoktor Ray Herb förklarar för Sten von Friesen (korsref), som sitter på främsta parkett i B-salen.

15. Främst tillämpat program

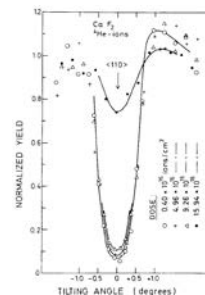
Forskningen vid Pelletronen var främst inom följande fyra tillämpade områden:

PIXE



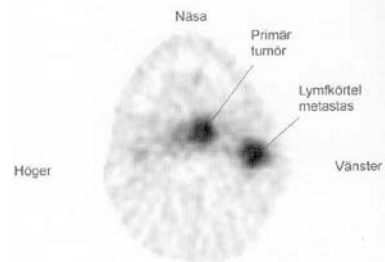
Då en energirik, laddad partikel passerar genom ett material kommer partikeln att kunna växelverka med enskilda atomer i materialet och slå ut elektroner från atomens innersta elektronskal. Mycket snart kommer en elektron från ett yttre skal att fylla tomrummet i det inre skalet. Överskottsenergin - som uppstår då inre skalet på nytt fylls - sänds ut i form av röntgenstrålning, karakteristisk för varje grundämne. Genom att registrera denna strålning med en halvledardetektor med mycket god energiupplösning kan spårämnen bestämmas med stor noggrannhet till sort och mängd. Metoden fungerar för ämnen tyngre än ungefär svavel. Denna metod - först demonstrerad av Sven Johansson (korsref) 1969 - är idag en standardteknik i många analyslaboratorier världen runt. Metoden går under namnet PIXE (Particle Induced X-ray Emission) Den används idag främst för materialanalys inom en rad olika områden: biomedicin, geologi, miljöteknik. Provmaterialet kan vara papper, målningar, keramik, glas, guld, brons och andra metaller, liksom blod, aerosoler, vävnadsprov etc.

Channeling



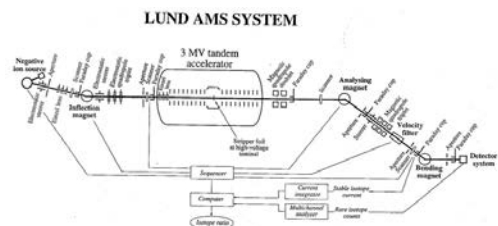
Av en slump upptäcktes för några årtionden sedan att om högenergetiska, laddade partiklar passerar genom ett kristallint material (det vill säga atomerna i materialet är placerade i ordnade rader och plan och inte slumpmässigt) så kommer strålens rörelse att påverkas och inte bli som rörelsen i ett amorft material. Om den laddade partikeln infaller inom en snäv vinkel i förhållande till en rad (eller ett plan) i kristallgittret, så kommer den på grund av elektrisk växelverkan inte att passera raden (planet) utan istället styrs den att röra sig mellan raderna (planen). Energiförlusten blir då lägre och därmed räckvidden betydligt längre. Om vissa atomer i materialet sitter "fel" (det vill säga inte i en rad eller ett plan) kommer dock den laddade högenergetiska atomen att kunna växelverka med dessa. Fenomenet har funnit tillämpningar inom studier av spårämnes placering i ett kristallgitter, dislokationer, och andra missbildningar i enkristaller. Metoden kallas "kanalisering" eller på engelska "channeling". Metoden är ett komplement till andra metoder för kristallstudier.

Isotopproduktion



Isotopen ^{18}F framställs genom kärnreaktionen $^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$. ^{18}F har en halveringstid på 120 min. Denna isotop är lämplig för kliniska humanundersökningar. Isotopen ^{18}O är kommersiellt tillgänglig och används ofta i vattenform. Efter bestrålning av vattnet med en protonstråle extraheras de bildade ^{18}F -atomerna från vattnet på kemisk väg. I kemisyntesen fästs ^{18}F atomerna vid en lämplig värdmolekyl. Det framställda preparatet injiceras i patienten. Värdmolekylen är vald så att den deltar i metabolismen i patientens kropp. Värdmolekylen ansamlas i de delar av kroppen där metabolismen är hög: hjärnan, magen och i eventuella tumörer. Med ett detektorarrangemang mäts annihilationsgammakvanta när ^{18}F sönderfaller. Med en kraftfull dator kan informationen från detektorsystemet användas för att framställa en 3-dimensionell bild av det undersökta kroppsområdet.

AMS



Med AMS kan extremt små förekomster av spårämnen detekteras och kvantitativt bestämmas. Känslighet ner till 10^{-15} i förhållande till en isotop av samma ämne går att uppnå för till exempel isotopen ^{14}C . Metoden är användbar både för radionuklider och för stabila nuklider. De största fördelarna med AMS är den lilla provmängd som behövs (mg eller submg mängder) och den korta mättiden (<1 h). Vid Pelletronen har metoden tillämpats på isotoperna ^{14}C , ^{26}Al och ^{59}Ni . Problemställningar inom biomedicin, arkeologi, kvartärgeologi, radioekologi, klimatforskning, oceanografi etc. har angripits. Endast några miljoner atomer av spårämnet behöver finnas i provmaterialet. Detta motsvarar en materialmängd av storleksordningen 10^{-16} g! Ingen annan kemisk eller fysikalisk metod har en sådan extrem känslighet.

16. Spin-off från Pelletronen, tre olika accelerators

Framgångarna vid Pelletronacceleratorn inom de olika tillämpade områdena har resulterat i tre ”avknoppade” verksamheter, vid lika många dedicerade accelerators placerade på olika platser i Lund:

Enstegs, elektrostatisk accelerator vid Fysicum för framförallt mikrostråle PIXE-analys



Metoden att vid PIXE-analys använda en mikrostråle – det vill säga en stråle av protoner med diametern i μm (10^{-6}) området utvecklades vid Pelletronen under 1980-talet. Pelletronen var en tandemaccelerator. En sådan har många fördelar jämfört med en enstegsaccelerator, men en klar nackdel är den begränsning i strålström som omladdningssystemet från negativa joner till positiva medför. En enstegsaccelerator har inte denna begränsning, en strömstarkare stråle kan därför fås vid en enstegsaccelerator. En ny accelerator av enstegsdesign inköptes från NEC och installerades under 1989.

Cyklotronaccelerator vid sjukhuset i Lund för framställning av kortlivade isotoper, främst ^{18}F , för användning inom PET-tekniken



PET-metoden kunde utvecklas i Lund tack vare tillgången till Pelletronacceleratoren. Begynnande teknisk utveckling startade i slutet av 80-talet. Detta följdes så småningom av djur och senare human försök. I mitten av 90-talet hade utvecklingsarbetet nått så långt att kliniska undersökningar kunde starta. Begränsningar vid Pelletronen var dock uppenbara: en maximal proton strålström på 5-10 μA , en begränsning i strålenergin till 6 MeV och tillgång till bestrålningstid någon/några gånger per vecka. Detta innebar att endast några få patienter kunde undersökas per vecka. En begagnad kommersiell cyklotron kunde så småningom inkaffas av landstinget och placeras vid sjukhuset. En cyklotron har en betydligt högre strömstyrka, högre strålenergi och den är dedicerad för PET-verksamhet och därmed tillgänglig på heltid alla dagar i veckan.

Kaskad accelerator vid institutionen för geo- och ekosystemvetenskap för ^{14}C analys inom geologi, arkeologi, biomedicin



En stor del av verksamheten med ^{14}C analys är förknippad med kvartärgeologiska och arkeologiska mätningar. När pengar blev tillgängliga för en dedicerad ^{14}C -accelerator inköptes en sådan och placerades vid institutionen för geo- och ekosystemvetenskap. Fördelarna med denna accelerator jämfört med Pelletronen är en betydligt mindre komplex utrustning. (Vid Pelletronen var avståndet från jonkällan till strålålet omkring 35 m, för den dedicerade acceleratoren några få meter.) Detta innebär lägre driftskostnader, inte så stor teknisk stab för driften, enklare att använda, dedicerad därmed kan inställningar behållas från dag till dag och därmed uppnås högre kvalitet i mätresultaten.

