

Om värdena på c , e/m , e och h . II.

För 50 år sedan skrev jag i band 14 av Kosmos en artikel med titeln "Om värdena på c , e/m , e och h " [1]. Den var föranledd av en strid om dessa atomkonstanter rätta värden, som flammade upp vid slutet av 1920-talet och till stor del kom att röra sig om hur man borde ge felgränser när man publicerade sina mätvärden. En fraktion, vars obestridda ledare var professor Raymond T Birge i Berkeley i USA, hävdade att man enbart borde ange de tillfälliga felen som sannolika fel beräknade enligt minsta kvadratmetoden utan hänsyn till möjligheten av systematiska fel. Birge och efter honom professor Jesse W M du Mond i Pasadena gjorde under en lång följd av år regelbundna sammanställningar av de enligt deras uppfattning sannolikaste värdena för en lång rad av atomkonstanter. Under senare år har tidigare okända effekter som Josephsoneffekten och nu senast den kvantiserade Halleffekten gjort det möjligt att mäta vissa av dessa konstanter med avsevärt ökad precision.

Mot denna bakgrund kan det vara av intresse att se tillbaka på utvecklingen och göra en jämförelse med "facit".

Tidiga mätningar

Ljusets hastighet, c

Den första bestämningen av c gjordes 1676 av den danske astronomen Ole Römer. Han observerade Jupitermånen Io som har en omloppstid av 1 dygn 18 timmar och 18 minuter. Io förmörkas när den passerar in i Jupiters solskugga. När jorden i sin bana kring solen rör sig mot Jupiter kan man se början av förmörkelsen men inte slutet. När jorden avlägsnar sig är det tvärtom. Römer fann att skillnaden i tid mellan början av två på varandra följande förmörkelser ständigt avtar medan tiden mellan deras slut ökar under den tid när man kan iaktta dem. Orsaken är att avståndet till Jupiter minskar mellan observationerna vid mötande jord och ökar när jorden rör sig bort från planeten.

Ur sina observationer kunde han beräkna hur lång tid ljuset behöver för att tillryggalägga en sträcka lika med jordbanans radie. Han fann tiden 8 minuter och 13,2 sekunder. Om man räknar med det nu kända värdet för jordens medelavstånd till solen 149 600 000 kilometer ger det en ljushastighet av $3,033 \times 10^8$ meter per sekund.

Elektronens laddning, e , och specifika laddning, e/m

Elektronen upptäcktes 1897 av Sir Joseph John Thomson, som var professor i fysik och chef för Cavendishlaboratoriet i Cambridge. Sedan 1891 hade han studerat elektricitetens gång genom gaser. Till en början stötte han på stora experimentella svårigheter eftersom passagen mellan elektroderna skedde i form av gnisturladdningar, som krävde mycket höga spänningar. Sedan röntgenstrålarna upptäckts 1895, fann Thomson att de joniserar gaser. Detta gjorde det möjligt för honom att få en jämn, kontrollerbar ström vid lägre spänningar. Hans elev C T R Wilson hade upptäckt att övermättad vattenånga kan fås att kondensera på negativa laddningar. Detta utnyttjade J J Thomson för att framställa moln av laddade vattendroppar. Dropparnas storlek beräknade han ur deras fallhastighet med hjälp av Stokes lag. Genom att samla upp och väga det utfällda vattnet och mäta dess totala negativa laddning kunde han finna de enskilda laddningarnas storlek d v s laddningen hos en elektron. Han fann värdet $e = 3,4 \times 10^{-10}$ e s e eller $1,13 \times 10^{-19}$ coulomb.

J J Thomson berättar i sina memoarer [2] att upptäckten av elektronen kom som ett resultat av hans försök att förklara varför en katodstråle, som på väntat sätt avböjdes av ett magnetfält visade sig inte alls påverkas av ett elektriskt fält. Detta ansågs allmänt som ett bevis för att katodstrålar inte består av elektriskt laddade partiklar. För att studera saken närmare placerade han ett par parallella metallplattor inuti sitt urladdningsrör så att strålen fick passera mellan dem. De anslöts till en spänningskälla. Vid inkopplingen lade han märke till en momentan oro hos strålen, men fick inte någon avböjning. Denna iakttagelse ledde honom så småningom på rätt spår.

Den tidens vakuumpumpar hade liten kapacitet och man kände inte till att elektroderna och rörets väggar absorberar fuktighet och gaser, som måste avlägsnas genom kraftig uppvärmning av apparaturen. Thomson tolkade sina iakttagelser så att katodstrålarna joniserade gasen i röret och att de bildade jonerna drogs till avböjningsplattorna och neutraliserade deras laddning. Tendensen till avböjning när spänningen först lades på förklarade han med att neutraliseringen tar en viss tid. Han fann nu också att vakuum förbättrades undan för undan om man höll apparaturen igång under längre tid utan att släppa in luft mellan körningarna. Uppvärmningen under drift drev ef-

terhand bort de absorberade gaserna. Så småningom förbättrades vakuum så mycket att han fick fram den väntade avböjningen.

Genom att anbringa de elektriska och magnetiska fälten vinkelrätt mot varandra och mot strålens riktning och avpassa deras styrka, kunde han få avböjningarna att upphäva varandra så att strålen gick rakt fram. Förhållandet mellan fältens styrka ger då direkt de laddade partiklarnas hastighet, v . Ett magnetfält, H , som är vinkelrätt mot katodstrålen böjer den i en cirkel med radien r där $r = mv/He$. När man känner H , v och r ger detta e/m , förhållandet mellan elektronens laddning och dess massa. Det visade sig att massan var mindre än en tusendel av den minsta atomens massa.

Det tog lång tid innan han kunde övertyga sig själv och andra att det kunde finnas massor som var mindre än atomernas. J J Thomson upprepade försöket med elektroner producerade på flera olika sätt och vid olika hastighet men fann alltid samma värde på e/m . Hans värde var: $e/m = 2,3 \times 10^7$ eme vilket motsvarar $e/m = 2,3 \times 10^8$ coulomb per gram.

Plancks konstant, h

Den tyske teoretiska fysikern Max Planck, som var specialist på termodynamik och elektrodynamik, kom efter många års arbete fram till en formel som exakt kunde beskriva den elektromagnetiska strålningen från en absolut svart kropp. För att nå denna överensstämmelse mellan teori och experiment tvingades han anta att strålningsenergin alltid emitteras och absorberas som separata energipaket, kvanta, vars storlek bestäms av strålningens frekvens multiplicerad med en konstant h . Denna har fått namnet Plancks konstant. Han publicerade sin upptäckt den 14 december 1900, som sålunda blev kvantteoriens födelsedag.

Ur jämförelsen med experimenten fann han direkt att h hade värdet $6,55 \times 10^{-34}$ Js.

Senare mätningar

Som utgångspunkt för den följande diskussionen återger jag fyra tabeller (I-IV) ur arbetet i Kosmos 14 (1936) med några kommentarer.

Fizeaus metod innebär att ett snabbt roterande kugghjul får bryta en ljusstråle som träffar en avlägsen spegel och sänds tillbaka till kugghjulet. För vissa bestämda rotationshastigheter förmörkas det återvändande ljuset därför att det träffar centralt på en kugg. Hjulets varvtal och dimensioner och dess avstånd från spegeln används för att beräkna ljusets hastighet. Metoden har sedan modifierats

Tabell I. Ljusets hastighet

Experimentator	År	Metod	c km/sek	Angivet fel	Ljusväg
Cornu	1874	Fi	300 400	±300	2×23 km
Michelson	1879	Fo	299 910	±50	2×0,6 km
Newcomb	1882	Fo	299 860	±30	2×3,7 km
Michelson	1882	Fo	299 853	±60	2×0,6 km
Perrotin	1902	Fi	299 901	±84	2×46 km
Rosa och Dorsey	1906	Indirekt	299 781	±10	
Mercier	1923	Indirekt	299 782	±30	
Michelson	1924	Fo	299 802	±30	2×35,4 km
Michelson Karolus o.	1926	Fo	299 796	±4	2×35,4 km
Mittelstaedt (Michelson)-	1928	Fi	299 778	±20	6-8×41,4 m
Pease-Pearson	1932	Fo	299 774	±11	8-10×1 594 m

"Fi" anger här att metoden är en modifierad version av den som användes av Armand Fizeau 1849. "Fo" betyder att metoden på motsvarande sätt utgår från Jean Bernard Foucaults metod 1850.

av andra forskare tex genom att kugghjulet ersatts av en Kerrcell [3].

Vid *Foucaults metod* reflekteras ljus av en roterande spegel mot en avlägsen fast spegel som sänder det tillbaka till den första spegeln. När ljuset kommer tillbaka har denna spegel hunnit vrida sig en viss vinkel och reflekterar det inte tillbaka till ljuskällan utan i en annan riktning. Vinkelskillnaden beror på varvtalet, avståndet mellan speglarna och ljusets hastighet.

Den "indirekta metod" som använts av *Edward Rosa* och *N E Dorsey* utnyttjade det faktum att kvadratroten ur förhållandet mellan kapacitansen hos en kondensator mätt i elektrostatiske cgs-enheter och i elektromagnetiska cgs-enheter ger ljushastigheten c . Den elektrostatiske kapacitansen beräknades genom mätning av en kondensators dimensioner och den elektromagnetiska genom mätningar vid upp- och urladdning av samma kondensator.

Wiecherts metod mäter hastigheten v hos elektroner som har energin eV elektronvolt genom att låta dem passera två par av avböjningsplattor, som befinner sig på ett känt avstånd från varandra. De båda plattparen matas med samma växelspanning vars frekvens varieras till dess att elektronerna går genom båda plattparen utan att böjas av. Detta visar att växelspanningen går genom noll vid båda passagerna och att ett helt antal halvperioder förflutit medan elektronerna genomlöpt den uppmätta sträckan. Man känner nu v och kan beräkna e/m ur relationen $eV = mv^2/2$.

Vid *Lawrence metod* accelereras elektroner från en glödkatod av en högfrekvent växelspanning och beskriver

Tabell II. Bestämningar av elektronens specifika laddning

Experimentator	År	Metod	e/m_0	Angivet fel
Perry och Chaffee	1930	Wiechert	1,761	±0,001
Kirchner	1931	Wiechert	1,7585	±0,0012
Kirchner	1931	Wiechert	1,7590	±0,0015
Dunnington	1933	Lawrence	1,7571	±0,0015
Houston (+ Cambell o. Kinsler)	1935	Zeemaneff	1,7570	±0,0007
Houston	1927	Rydb konst H och He+	1,7606	±0,0010
Shane och Spedding	1935	Rydb H och D ²	1,7579	±0,0003

cirkulära banor i ett magnetfält H . Med hjälp av en serie spalter väljer man ut en cirkelbana med en viss bestämd radie. Elektroner som följer denna träffar en uppsamlare som har samma elektriska potential som katoden. För vissa värden på fältet H kan inga elektroner tränga in i uppsamlaren eftersom de förlorat hela sin hastighet. Detta sker när en hel period förflutit från accelerationen till dess att elektronerna når fram till uppsamlaren. Om θ är den del av ett varv, mätt i radianer, som elektronerna gått och ν frekvensen blir $e/m = \theta\nu/H$

Zeemaneffekten

Om ett magnetfält H ändrar en spektrallinjes frekvens ν med $\Delta\nu$ blir med vissa av den exakta teorien betingade korrekationer $e/m = 4\pi c \Delta\nu/H$.

Rybergskonstanter

Med kännedom om vätes och deuteriums Rybergskonstanter kan man beräkna e/m ur formeln:

$$e/m = F(D-H) R_H / D(H-m) (R_D - R_H),$$

där F är Faradays konstant, H och D atomernas massor och R_H och R_D deras Rybergskonstanter.

Oljedroppsmetoden

Här används små laddade oljedroppar som påverkas av gravitationen och av ett i motsatt riktning verkande elektriskt fält vars styrka kan varieras. Man kan härigenom få droppar att falla, stiga eller sväva fritt. Dropparnas storlek finner man med hjälp av Stokes lag om man bestämmer deras hastighet vid fritt fall i luften. Genom att bestämma storleken av det elektriska fält som kompenserar gravita-

Tabell III. Elektronens laddning

Metod	Experimentator	År	e	Angivet fel	Anm
Oljedropps- metoden	Millikan	1913	$4,774 \cdot 10^{-10}$	$\pm 0,009 \cdot 10^{-10}$	
	Millikan	1917	4,774	$\pm 0,005$	
	Millikan	1917	4,770	$\pm 0,005$	Omräknat av Milli- kan 1930
	Millikan	1917	4,818	$\pm 0,011^1$	Omr med Kell- ströms η 1936
	Bäcklin-Flem- berg	1936	4,800	-	Kellströms η anv
Röntgen- metoden	Bäcklin	1928	4,793	$\pm 0,015$	
	Bearden	1931	4,806	$\pm 0,003$	
	Bearden	1935	4,8036	$\pm 0,0005$	
	Bäcklin	1935	4,805	$\pm 0,004$	
	Du Mond-Bollman	1936	4,799	$\pm 0,007$	Efter nybest av kalkspatens egensk
Elektron- böjn met	v. Friesen	1935	4,797	$\pm 0,005$	Omräknat med $e/m=$ 1,7585

¹ Endast felet ur η .

tionen kan man beräkna enskilda droppars laddning. Den visar sig vara en låg multipel av en enhetsladdning.

Röntgenmetoden

På grund av svårigheten att med hög precision mäta avstånden mellan atomplan i de kristaller som används vid röntgenspektroskopiska undersökningar föreslog Manne Siegbahn att man skulle komma överens om ett beräknat värde för ett visst atomplan i stensalt och i framtiden använda det värdet oberoende av resultaten av nya beräkningar och mätningar. Avståndet angavs i en ny enhet, X-enheten, som var approximativt lika med en tusendels ångströmenhet eller 10^{-13} meter. I det uttryck med vars hjälp den nya enheten beräknades ingick elektronens laddning och ett antal andra naturkonstanter. För laddningen använde man det av Millikan bestämda värdet på e , som ansågs speciellt noggrant.

Vid mitten av 1920-talet hade man funnit att det gick att mäta röntgenvåglängder direkt i metersystemets enheter med ritsade gitter. En jämförelse mellan de våglängder man mätte på detta sätt och de värden man mätt med kristaller visade en skillnad i våglängderna som man kunde använda för att beräkna ett bättre värde för elektronens laddning.

Elektronvågsmetoden

1924 ställde Louis de Broglie upp ekvationen $\lambda = h/mv$ för ett nytt slag av vågor, materievågor, där λ är våglängden, h Plancks konstant, m partikelmassan och v partikelns hastighet. Denna ekvation bekräftades experimentellt för elektroner av Davisson och Germer 1927. Om man be-

Tabell IV. Plancks konstant

Metod	Experimentator	År	Ingående konstant	h uppgivet värde	h omräknat	Uppgivet fel
I. Fotoeffekt	Millikan	1916	$e^2/3$	6,57	6,61	$\pm 0,03$
	Lukirsky och Prilezaev	1928	$e^2/3$	6,543	6,58	$\pm 0,014$
	Olpin	1930	$e^2/3$	6,561	6,60	-
II. Röntgenmetod	Duane m fl	1921	$e^4/3$	6,556	6,614	$\pm 0,009$
	Peder Kirkpatrick och Ross	1929	$e^4/3$	6,547	6,602	$\pm 0,003$
	Schaitberger	1934	$e^4/3$	6,546	6,602	$\pm 0,006$
	v. Friesen	1935	$e^4/3$	6,555	6,610	$\pm 0,002$
III. Elektronböjning	v. Friesen	1935	$(e/m)^{3/4}$	6,610	6,612 ¹	$\pm 0,012$
IV. Ber ur Rydbergs- konstanten	-	-	$e^5/3$	-	6,619	$\pm 0,013$

Omräkningen här har skett till värdet $e/m=1,7585$.

stämmer våglängden för elektroner med känd hastighet kan man eliminera h mellan de Broglies lag och Niels Bohrs formel för Rydbergskonstanten $R=2\pi^2 e^4 m / ch^3$. R och c är kända med mycket stor noggrannhet. e/m ingår också i uttrycket för e men under ett fjärderotstecken vilket reducerar inverkan på noggrannheten hos e -värdet till en fjärdedel.

Fotoeffektmetoden

Man bestämmer här Plancks konstant genom att mäta den maximala energi som en fotoelektron uppnår när en metallyta belyses med fotoner av känd frekvens. Utträdesarbetet bestäms genom att man använder ett antal olika frekvenser. e ingår i beräkningarna så att osäkerheten i dess värde direkt påverkar h -värdet.

Röntgenmetoden

Denna består däri att man bestämmer läget för det kontinuerliga röntgenspektrets kortvågiga gräns vid känd spänning över röntgenröret och tillämpar Plancks lag $E=hv$. Här blir man beroende av e upphöjt till $4/3$ [4].

Elektronvågsmetoden

Här används samma metod som för elektronens laddning med den skillnaden att man eliminerar e i stället för h . Värdet beror av e/m upphöjt till $3/4$.

Sammanfattning

Som resultat av ett försök till en kritisk bedömning av det redovisade materialet gav jag för var och en av konstan-

terna ett troligt värde och angav gränser inom vilka det verkliga värdet borde vara att söka. Uppgift om var undersökningarna publicerats och ytterligare detaljer finns redovisade i Kosmos band 14 (1936).

Ett sådant försök till kritisk bedömning kräver att experimenten redovisats i detalj så som då var brukligt. På grund av fysikens snabba tillväxt ställde tidskrifterna snart krav på mer koncentrerade manuskript där undersökningarnas detaljer måste utslutas. En utomstående förlorade härigenom möjligheten att bilda sig en uppfattning om arbetenas kvalitet och att spåra eventuella systematiska fel. Så småningom blev det regel att redovisa enbart de statistiska felen såsom standardavvikelsen med utslutande av de systematiska felen.

Sedan lång tid tillbaka har enskilda fysiker som Raymond T Birge och grupper av fysiker publicerat tabeller över en lång rad fundamentala konstanter inom fysik och kemi. Problemet med de systematiska felen har man sökt lösa genom att utnyttja det förhållandet att det finns åtskilliga mätningar av var och en av de fundamentala konstanterna och att många av fysikens andra konstanter i sig innehåller kombinationer av fundamentalkonstanterna [5].

Som exempel kan nämnas Rydbergskonstanten $R=2\pi^2e^4m/ch^3$ och Sommerfelds finstrukturkonstant $\alpha=2\pi e^2/hc$. Härigenom knyts experimentella data samman i ett system som man kan behandla matematiskt för att finna de värden för de enskilda fundamentalkonstanterna som ger bäst samstämmighet inom systemet, bäst "internal consistency". Detta gör det möjligt att rensa bort enskilda mätvärden som passar mindre väl in i systemet, vilket förutsätts bero på förekomsten av ett systematiskt fel eller att försöket inte har utförts med tillräcklig omsorg. Detta kan under vissa omständigheter medföra en tendens till fördröjning av utvecklingen. En forskare kan frestas att avsluta sitt experiment när han kommit



Figur 1. "Erik Bäcklin samlade efter arbetsdagens slut licentiander och doktorander till "värmestuga" där vi de flesta kvällar stannade långt in på natten för att höra honom diskutera mätnoggrannhet, lättheten att lura sig själv vid mätningar och många andra problem inom experimentalfysiken. Detta var ovärderligt för vår generation. Detta var möjligt därför att vi alla efter ett middagsuppehåll mellan 4 och 5 gick tillbaka till arbetet som pågick framemot sena kvällen. Varje måndag gick vi på bio kl 9."

fram till det rekommenderade värdet eller dra sig för att publicera ett avvikande resultat. Ett exempel ges av Robert Millikans berömda värde för elektronens laddning $4,774 \cdot 10^{-10}$ ese, som först publicerades 1913. Det dröjde 15 år innan Erik Bäcklin (Fig 1) i Uppsala som den förste kunde visa att det var behäftat med ett stort systematiskt fel. 4,774 har sedan blivit 4,803, ett fel på mer än en halv procent.

Tabell V. c , e/m , e , h (1936–1986)

År	Ljusets hastighet c		Elektronens spec laddning e/m	
	$m/s \cdot 10^{-8}$	ppm	$C/kg \cdot 10^{-11}$	ppm
1936	2,99780	67	1,7585	1 137
1941	2,99776	14	1,7592	284
1948	2,99776	14	1,75936	102
1955	2,997930	1	1,75890	11,4
1965	2,997925	0,33	1,758796	3,4
1969	2,9979250	0,33	1,7588028	3,1
1973	2,9979250	0,33	1,758803	—
1978	2,99792458	0,004	1,7588048	3,3
1982	2,99792458	0,004	1,7588048	3,3
1986	2,99792458	Defin	1,7588048	3,3

Elektronladdningen e			Plancks konstant h		Referens
$ese \cdot 10^{10}$	$C \cdot 10^{19}$	ppm	$JS \cdot 10^{34}$	ppm	
4,800	1,6011	1 042	6,610	2 270	S v Friesen, Kosmos Bd 14, 107 1936
4,8025	1,60203	208	6,624	302	R T Birge, Reviews of Modern Physics (RMP) 13
4,8024	1,60199	104	6,6234	166	J W M DuMond och E R Cohen, RMP 20
4,80286	1,60206	19	6,62517	35	E R Cohen och J W M DuMond mfl, RMP 27
4,80298	1,60210	15	6,62559	24	E R Cohen och J W M DuMond, RMP 37
4,803250	1,6021917	4,4	6,626196	7,6	B N Taylor, W H Parker och D N Langenberg, RMP 41
4,803250	1,6021917	4,4	6,626196	7,6	Particle Data Group, RMP 45
4,803242	1,6021892	2,9	6,626176	5,4	Particle Data Group, Physics Letters (PL) 75B
4,803242	1,6021892	2,9	6,626176	5,4	Particle Data Group, PL 111B
4,803242	1,6021892	2,9	6,626176	5,4	Particle Data Group, PL 170B

Utvecklingen under de senaste femtio åren

Tabell V visar hur rekommendationer av bästa värden för c , e/m , e och h utvecklats sedan 1936.

Vår kännedom om ljusets hastighet mellan 1948 och 1955 har förbättrats avsevärt. Det är två forskare som utvecklat var sin ny mätmetod och därigenom inlett en ny era. Den ene är svensken Erik Bergstrand, som konstruerat Geodimetern [6], den andre en engelsman, K D Froome, som konstruerat en mikrovågsinterferometer för den fria rymden som ger resultat av mycket hög precision.

Geodimetern ersätter Fizeaus tandhjul med en Kerrcell och mäter med en fotomultiplikatorcell det ljus, som reflekteras från den på något tiotal kilometers avstånd placerade spegeln. Båda cellerna drivs med samma växelspanning med en frekvens av ca 10 MHz. Geodimetern har vidare utvecklats i Sverige, Storbritannien, USA och Sovjetunionen bl a för användning av laserljus. Resultaten av de olika mätningarna står i mycket god överensstämmelse med varandra och med dem som nåtts med Froomes mikrovågsinterferometer.

I interferometern matar mikrovågor från samma källa med en våglängd av ca 4 millimeter genom vågledare två mot varandra vända horn. Hornens avstånd från varandra är ca 20 meter. De utsända plana vågorna uppfångas av var sitt horn i en interferometer där de får interferera. Interferometern kan förskjutas fram och tillbaka längs en linje mellan de båda sändarhornen. Förskjutningens storlek mäts med precisionsmått av typ passbitar [7]. Froome har mätt upp till 970 halva våglängder. I och med att han känner våglängden och motsvarande frekvens vet han också ljusets hastighet. Under försöken mäts luftens brytningsindex kontinuerligt för att man skall kunna räkna om resultaten till ljushastigheten i vakuum. Den avsevärda skillnaden från 1948 års värde, som i stor utsträckning var baserat på mätningar av A A Michelson, anses bero på att Michelson utförde sina mätningar i ett seismiskt instabilt område i Kalifornien. Detta systematiska fel undgick Birges uppmärksamhet vid hans analys.

Redan 1973 föreslog kommittén för en ny meterdefinition att metern skulle bindas till en ljushastighet av 299 792 458 m/s. Detta värde hade bestämts med en avancerad metod för direkt frekvensbestämning av en spektrallinje i rött ljus [3]. Vid sitt sammanträde den 20 oktober 1983 antog den 17:e Allmänna konferensen för mått och vikt, CGPM, den nya meterdefinitionen. Sedan dess gäller att: "En meter är längden av den sträcka som ljuset tillryggalägger i fria rymden under tiden $1/299\,792\,458$ sekund". Detta innebär att ljusets hastighet nu för all framtid är låst till 299 792 458 m/s.

När det gäller elektronladdningen och Plancks konstant, finner vi att mellan 1965 och 1969 osäkerheten

beträffande dessa konstanter rätta värden reducerats avsevärt. Orsaken är att Parker, Langenberg, Denenstein och Taylor 1968 med hjälp av Josephson-effekten kunnat bestämma förhållandet $2e/h$ till $4,835976 \cdot 10^{14}$ Hz/V med en osäkerhet av bara 2,5 ppm. Detta har gjort det möjligt för dem att avsevärt förbättra det samstämda system av konstanter där e/m , e och h ingår bland många andra.

Josephson-effekten förutsades teoretiskt av Brian Josephson i Cambridge i England 1962 [8]. Effekten innebär i sin enklaste form att om en potentialskillnad, V , råder mellan två supraleutare som är skilda åt av en mycket tunn barriär det uppträder en högfrekvent växelström genom barriären vars frekvens, ν , är direkt proportionell mot potentialskillnaden. Frekvensen är oberoende av valet av supraleutare och ges av uttrycket $\nu = 2eV/h$.

Den kvantiserade Halleffekten [9], som omnämns i inledningen till denna översikt, kommer inom den närmaste framtiden att bli av lika stor betydelse för frågan om dessa konstanter värden eftersom den ger möjlighet att bestämma e^2/h med en noggrannhet bättre än 1 del på 10^7 . Denna sak befinner sig fortfarande under utveckling [9].

Slutord

Den översikt som här har getts av utvecklingen när det gäller vår kännedom om värdena för några av de viktigaste av fysikens konstanter, har visat att framstegen inom teori och experiment, framförallt under de båda senaste decennierna, minskat osäkerheten i konstantvärdena med ett par tiopotenser.

Det gör att vi nu med facit i hand bland annat kan bilda oss en uppfattning om värdet av det enorma arbete som under mer än femtio år lagts ned på att med användning av minsta kvadratmetoden i kombination med olika former av subjektiv bedömning sälla fram "rekommenderade värden" för olika konstanter.

För våra fyra konstanter visar det sig att 1965 års rekommenderade värden med angiven osäkerhet täcker dagens värden för c och e/m , medan för e och h avståndet mellan de uppskattade osäkerheterna utgör 2,5 gånger den 1965 angivna osäkerheten.

Man torde kunna räkna med att den fortsatta utvecklingen kommer att göra denna traditionella metod mindre aktuell.

Litteratur

1. S v Friesen, "Om värdena på c , e/m , e och h ", KOSMOS 1936, s 107.
2. J J Thomson, "Recollections and reflections", Bell, London 1936.
3. A Bengtson, "Mätning av ljushastigheten", KOSMOS 1984, s 117.
4. P Ohlin, "Nyare bestämningar av h/e med röntgenmetod", KOSMOS 1943, s 90.
5. R E Cohen och J W M DuMond, "Problemet att bestämma de mest

- sannolika värdena på fysikens fundamentalkonstanter", KOSMOS 1968, s 91.
6. E Bergstrand, "Om ljushastighet och avståndsmätning", KOSMOS 1949, s 16.
 7. T Althin, "System Johansson", KOSMOS 1978, s 89.
 8. B Josephson, "Upptäckten av supraledande tunnelströmmar", KOSMOS 1974, s 35.
 9. O Beckman, "Nobelpriset i fysik 1985", KOSMOS 1986, s 7.



STEN VON FRIESEN, född i Uppsala 1907, fil mag där 1930, fil lic 1933, disp 1935, samma år docent i fysik vid Uppsala univ, forskn ass vid KVA:s forskn inst för fysik 1937–1940, arbete vid MFI 1940–1945, laborator i fysik vid Lunds univ 1946, professor i fysik där 1948–1972. Fortfarande verksam vid fys inst i Lund. Forskning rörande röntgenspektroskopi, elektronböjning, kosmisk strålning, partikelfysik. Konst-ruerat den första svenska cyklotronen och 3 MeV bandgenerator etc.