

OM VÄRDENA PÅ c , e/m , e OCH h

Av Sten von Friesen.

När man meddelar resultatet av en fysikalisk mätning, brukar man samtidigt också ange vissa felgränser. Så gav t. ex. MILLIKAN år 1917 som resultat av sin berömda bestämning av elektronladdningen värdet $e = (4.774 \pm 0.005) \cdot 10^{-10}$ e. s. e. Den ursprungliga avsikten med att ange felgränser har väl varit att tala om för läsaren, inom vilket område man hade att söka det verkliga värdet. Om man fullt objektivt kunde ange felgränserna, så skulle man också av bredden på »felområdet» kunna bedöma värdet av den använda metoden och kunna direkt anställa jämförelser mellan olika experimentella arbeten. Det är emellertid endast den ena av de båda huvudarterna av fel, nämligen de s. k. tillfälliga felen, som kan behandlas matematiskt. De systematiska felen däremot måste bli föremål för ett subjektivt bedömande, där experimentatorns erfarenhet och omdöme få göra sig gällande. De tillfälliga felens egenskap att låta sig behandlas fullt objektivt, t. ex. enligt minsta kvadratmetoden, har medfört att man på många håll nöjer sig med att ange de på så vis beräknade felgränserna, vanligen det s. k. sannolika felet,¹ och helt ser bort från de systematiska felen. Detta innebär, att man i sin strävan efter att kunna jämföra olika arbeten helt uppgivit tanken på att låta felgränserna visa, var det verkliga värdet är att söka. Men det sannolika felet ger endast reproducibiliteten hos de resultat, som erhållits vid ett visst tillfälle med den speciella metod, som används. Något om metodens verkliga tillförlitlighet kan det inte

¹ Eng. probable error.

säga oss, och den möjlighet till jämförelse mellan olika personers arbeten, som den ger oss, är endast skenbar. De olägenheter, som denna praxis medför, är större för utomstående personer än för experimentalfysikerna själva, som i allmänhet ha förutsättningar för att kunna gå tillbaka till originalavhandlingarna och därur bilda sig en uppfattning om den verkliga noggrannheten. Personer, som sakna dessa förutsättningar, betrakta fortfarande i allmänhet felgränserna såsom angivande, var det verkliga värdet är att finna. Resultatet har blivit, att vi vid olika tidpunkter begåvats med bl. a. ett avböjningsvärde och ett spektroskopiskt värde på elektronens specifika laddning, ett oljedropps- och ett röntgenvärde på elektronladdningen, och en ljushastighet, som är en eller annan sinusfunktion av tiden.

Syftet med denna uppsats är nu, att med ledning av olika fysikers redogörelser för sina mätningar söka ange värden för fyra av atomfysikens viktigaste konstanter, med felgränser, som antyda var man bör söka det verkliga värdet.

Uppsatsen har närmast föranletts därav att författaren nyligen företagit en bestämning av elektronladdningen och PLANCKS konstant enligt en ny metod.

De resultat, som härvid nåtts, torde i någon mån kunna bidra till att skingra den oklarhet som rått beträffande dessa konstanter värden, till följd av att de båda viktigaste metoderna för mätning av elektronladdningen givit mot varandra stridande värden.

I. LJUSET'S HASTIGHET.

Ljushastigheten brukar betecknas med bokstaven c . Det är den av de fyra konstanterna, som är bäst känd. I tabell I äro samlade de bästa bestämningar, som gjorts under de senaste sextio åren.

I fjärde kolumnen betyder Fi att mätningen utförts enligt det av FIZEAU angivna systemet med periodisk avskärmning av det utsända ljusknippet. Fo betyder, att man använt FOUCAULTS anordning med roterande speglar.

Tabell I. Ljusets hastighet.

No.	Experimentator	År	Metod	c km/sek	Angivet fel	Ljusbärg	Litteratur
1	CORNU	1874	Fi	300 400	± 300	2×23 km	A. O. P. 13. (1876).
2	MICHELSON	1879	Fo	299 910	± 50	2×0.6 km	Sill. J. 18. 390.
3	NEWCOMB	1882	Fo	299 860	± 30	2×3.7 km	Am. Naut. Alm. 1885. 112.
4	MICHELSON	1882	Fo	299 853	± 60	2×0.6 km	Am. Naut. Alm. 1885. 235.
5	PERROTIN	1902	Fi	299 901	± 84	2×46 km	C. R. 135. 681.
6	ROSA och DORSEY	1906	Indirekt	299 781	± 10		B. S. B. 3. 433.
7	MERCIER	1923	,	299 782	± 30		J. P. R. 5. 168.
8	MICHELSON	1924	Fo	299 802	± 30	2×35.4 km	A. Ph. J. 60. 256.
9	MICHELSON	1926	Fo	299 796	± 4	2×35.4 km	A. Ph. J. 65. 1.
10	KAROLUS O. MITTELSTAEDT	1928	Fi	299 778	± 20	$6-8 \times 41.4$ m	A. d. Ph. 2. 285.
11	(MICHELSON)-PEASE-PEARSON	1932	Fo	299 774	± 11	$8-10 \times 15.94$ m	A. Ph. J. 82. 26.

Tillförlitligast av dessa mätningar torde nr 6, 9, 10 och 11 vara. ROSA och DORSEY erhöles c genom att jämföra kondensatorers kapacitet i det elektrostatiske och det elektromagnetiska systemets enheter. Den elektrostatiske kapaciteten beräknades ur kondensatorernas dimensioner, som mättes mycket omsorgsfullt. Kapaciteten i elektromagnetiskt mått erhöles genom direkta mätningar vid upp- och urladdning av kondensatorerna. c kommer fram som roten ur förhållandet mellan kapaciteterna i de båda systemen. Bestämningarna utfördes med beundransvärd omtanke och skicklighet och resultatets verkliga noggrannhet torde icke stå efter någon annan c -bestämning.

MICHELSONS mätning år 1926 utfördes mellan två berg i Kalifornien, Mount Wilson och San Antonio Peak. Det använda av-

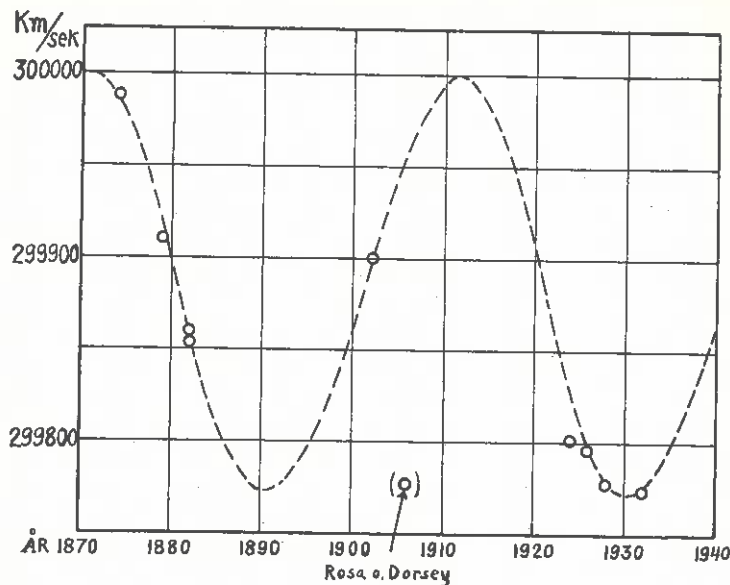


Fig. 1 a. Ljushastighetens variation med tiden enligt E. J. GHEUBY DE BRAY. ROSA och DORSEYS värde har satts in av S. v. F.

ståndet som anges till 35,385.53 meter kunde ej mätas direkt. Därför mättes en bruten baslinje i omedelbar närhet till de båda bergen, och det sökta avståndet erhöles genom triangulering. För resultatet av längdmätningen anges ett sannolikt fel av 1 : 6,800,000 d. v. s. ± 5 mm. Detta motsvarar ett fel per meter av endast 15 hundratusendels millimeter. De, som utförde mätningen, påstå att felet säkert är mindre än 1 : 300,000 och troligen ligger mellan 1 : 500,000 och 1 : 1,000,000 av det mätta avståndet. 1 : 500,000 motsvarar 2μ per meter. För att göra en sådan mätning på en meterstav i laboratoriet fordras mycket stor omsorg, och om man betänker, att fältmätningarna skett under svåra förhållanden, måste man nog anse detta vara ett djärvt påstående. Till felet i längdmätningen kommer så åtskilliga andra fel, framförallt fel i bestämningen av spegelns rotationshastighet, så att man knappast kan våga räkna de givna felgränserna ± 4 km/sek

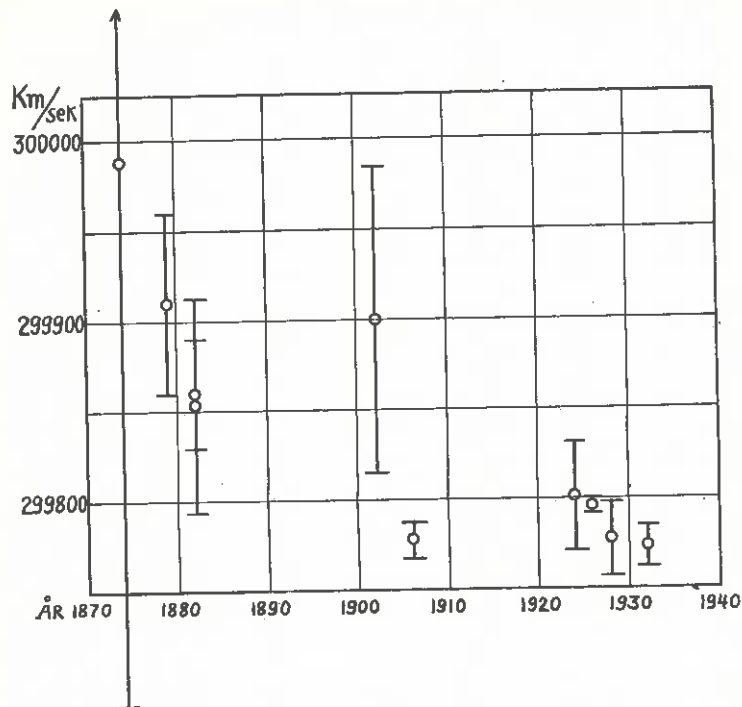


Fig. 1 b. Bestämningar av ljushastigheten med de angivna felgränserna markerade.

såsom angivande det område, inom vilket det rätta värdet måste sökas.

KAROLUS och MITTELSTAEDT ha ersatt FIZEAUS tandhjul med Kerrceller. Härigenom kan avskärningsfrekvensen göras mycket hög. Då reder man sig med en mycket kort ljusväg, som kan mätas med stor säkerhet. De angivna felgränserna synas vara rimliga.

PEASE och PEARSON slutligen ha utfört sina mätningar i ett evakuerat rör, en engelsk mil långt, i vilket ljuset reflekterats fram och tillbaka flera gånger. Försöket var en fortsättning på MICHELSONS arbeten och delvis användes samma apparatur. Den

verkliga noggrannheten torde ha varit något mindre än vad de uppgivna felgränserna ange.

Dessa fyra bestämningar jämte MERCIERS mätning (7) av elektromagnetiska vågors hastighet längs trådar, varur ljushastigheten kan beräknas, ge c enligt fyra olika metoder. Resultaten stämma mycket väl överens, och man kan våga påstå med till visshet

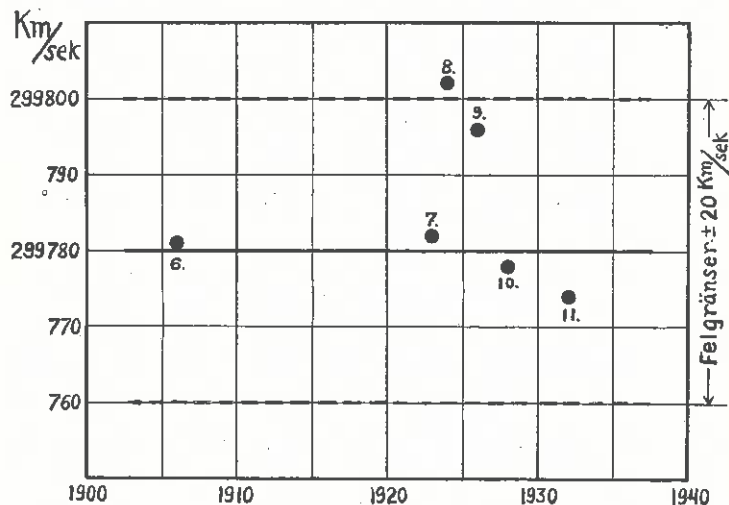


Fig. 2. De tillförlitligaste värdena på ljusets hastighet med det av förf. valda värdet markerat jämte felgränser. Siffrorna hänvisa till tabell I.

gränsande sannolikhet, att ljushastighetens värde nu är känt med ett fel mindre än en tiondels promille. Emellertid ha olika personer trott sig kunna ur bestämningarna utläsa, att ljushastighetens storlek är en sinusfunktion av tiden, och som synes av fig. 1 a, som återges efter E. J. GHEURY DE BRAY, råkar verkligen de experimentella punkterna falla vackert på en sinuskurva. Men om man ser på fig. 1 b, där de angivna felgränserna hos varje bestämning ritats in, står det klart, att det här är fråga om en rent tillfällig överensstämmelse. 1874 års punkt bör för övrigt flyttas upp inte mindre än 410 km. Det i figuren använda värdet är ett omräknat värde, som ej kunnat godkännas av CORNU själv. Dess-

utom har i fig. 1 ROSA och DORSEYS värde tagits med. Detta passar ju inte heller in på kurvan. Att med stöd av hittills föreliggande material påstå att ljusets hastighet är variabel är fullkomligt oberättigat och resultatet av vår granskning blir att

ljusets hastighet i vakuum är $299,780 \pm 20$ km/sek.

II. ELEKTRONENS SPECIFIKA LADDNING.

Elektronens specifika laddning e/m har varit föremål för ett mycket stort antal mätningar. De första bestämningarna, som utfördes av SCHUSTER och J. J. THOMSON visade den rätta storleksordningen $\infty 10^7$ e.m.e./gram. Noggrannheten hos mätningarna har sedan ständigt ökat, men först på den allra senaste tiden har tillförlitligheten kunnat drivas därefter att man har rätt att tala om precisionsbestämningar. Ännu år 1929 ansåg sig BIRGE i sin översikt över de fysikaliska konstanternas värden¹ böra skilja på ett ur avböjningsförsök erhållet värde $1.769 \cdot 10^7$ och ett spektroskopiskt värde $1.761 \cdot 10^7$. Som orsak till denna skillnad angav han, att det i det första fallet gällde fria elektroner och i det senare fallet elektroner, som ingingo i en atom. Skillnaden har emellertid visat sig icke vara reell, utan bero på en överskattning av den uppnådda noggrannheten.

Tabell II ger en översikt av resultaten från de mera tillförlitliga mätningar, som gjorts under senare tid.

Undersökningarna 1, 2 och 3 ha utförts enligt en modifikation av en av WIECHERT angiven metod. Metoden avser en mätning av hastigheten (v) hos elektroner med en bestämd volthastighet (V) genom att låta dem genomlöpa en uppmätt vägsträcka. Vid början och slutet av denna få de passera genom plattkondensatorer, över vilka det ligger en växelspanning med känd frekvens. Den spänning, som accelererar elektronerna, varierar till dess att en stråle går helt opåverkad rakt igenom de båda kondensatorerna.

¹ Reviews of Modern Physics, Vol. I.

skjutning, och då den dessutom är oberoende av kontaktpotentialer, kan den väntas ge ett mycket gott värde. Gemensamt för dessa fyra mätningar är att de synas ha utförts med stor omsorg. Det medelvärde de ge för den spec. laddningen för fria elektroner är $e/m = 1.759$.

Det anföres ofta beträffande de spektroskopiska bestämningarna av e/m , att de förtjäna en speciell tilltro på grund därav att spektroskopiska mätningar kunna utföras med en mycket hög grad av noggrannhet. Det förhåller sig emellertid så att både vid Zeemanmetoden och Rydbergskonstantmetoden e/m -värdena äro beroende av små differenser mellan spektroskopiskt bestämda storheter, varför noggrannheten till sin storleksordning blir ungefär densamma som för de bästa metoderna med fria elektroner. HOUSTONS värde ur Zeemaneffekten är slutresultatet av en lång serie omsorgsfulla mätningar, där framförallt mätningen av magnetfältet ägnats mycken uppmärksamhet. De felgränser, som uppgivits, böra emellertid med all sannolikhet ökas något. I fråga om HOUSTONS andra e/m -bestämning är det också tillrådigt att räkna med något större felgränser bl. a. på grund av en viss osäkerhet hos korrektioner, som han måst göra för finstruktur i de använda spektrallinjerna.

SHANE och SPEDDING bestämma Rydbergskonstanterna för lätt och tungt väte. Dessa ge linjer med samma finstruktur, varför felet på grund av denna minskas avsevärt. Det fel, som anges, är det sannolika felet. På grund av den goda överensstämmelse, som erhållits mellan värdena från två olika komponenter av linjerna, tro sig författarna berättigade att anse det uppgivna felet representera den verkliga osäkerheten hos resultatet. Extremvärdena för e/m i den av dem publicerade tabellen äro emellertid $e/m = 1.7566$ och 1.7593 . Därför är det nog säkrast att räkna med, att osäkerheten är flera gånger större än vad de själva uppgivit.

Ur de spektroskopiska bestämningarna få vi ett värde på $e/m = 1.758 \cdot 10^7$ e.m.e./gram. Detta stämmer sålunda väl överens med värdena för fria elektroner.

Fig. 3 ger en sammanställning av de olika värdena med de angivna felgränserna utsatta.

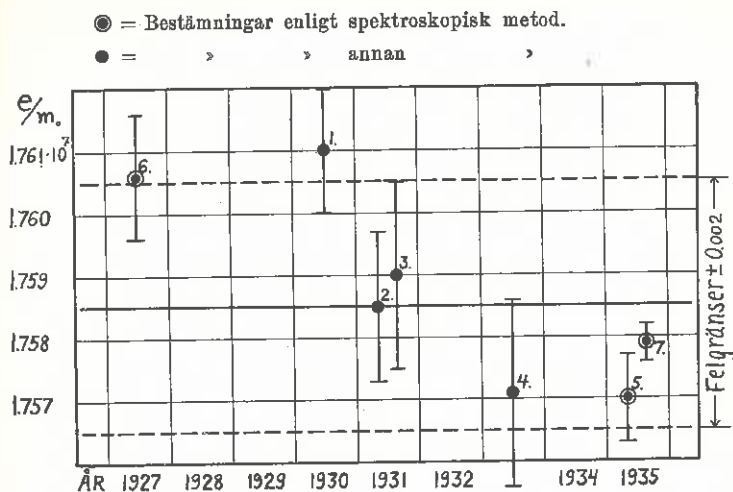


Fig. 3. Moderna e/m -bestämningar med angivna felgränser. Det av förf. valda e/m värdet jämte uppskattade felgränser har markerats. Siffrorna hänvisa till tabell II.

Med ledning av de ovan diskuterade mätningarna torde man kunna ange, att elektronens specifika laddning för närvarande är känd med en noggrannhet av cirka ± 1 promille och sätta den till

$$e/m = (1.7585 \pm 0.002) \cdot 10^7 \text{ e.m.e./gram.}$$

Den sista femman i resultatet är blott avsedd att ange att värdet synes ligga mellan 1.758 och 1.759, men den har ingen direkt fysikalisk betydelse.

III. ELEKTRONLADDNINGEN.

Den första precisionsmätningen av elektronladdningen utfördes 1913 av MILLIKAN enligt den s. k. oljedroppsmetoden. Mätningen föregicks av omfattande undersökningar rörande metoden och det erhållna resultatet $4.774 \cdot 10^{-10}$ e.s.e. verifierades genom en ny

mätning år 1917, som gav exakt samma resultat. Felgränserna angavos (1917) till $\pm 0.005 \cdot 10^{-10}$ e.s.e. MILLIKANS stora auktoritet medförde, att man ansåg frågan om elektronladdningens storlek nära nog slutgiltigt besvarad. Ett antal andra bestämningar syntes också bekräfta detta.

När därför år 1928 BÄCKLIN efter precisionsmätningar av de absoluta våglängderna för ett antal röntgenlinjer¹ kunde beräkna ett värde på e , som var avsevärt högre än MILLIKANS, ansåg man allmänt att något principiellt fel måste finnas hos den metod, som BÄCKLIN använt. Han erhöll värdet $(4.793 \pm 0.015) \cdot 10^{-10}$ e.s.e. Sedermera bekräftades denna skillnad genom ett antal nya mätningar enligt samma metod av bl. a. BÄCKLIN själv och amerikanen BEARDEN. Härvid erhöles ännu något högre värden. Man började därför att noga skärskåda metoden för att finna orsaken till avvikelserna. Ett försök till förklaring var, att den vanliga gitterekvationen inte skulle gälla för de mycket stora infallsvinklar, som det här är fråga om. Detta antagande vann emellertid ringa ankläng, och har f. ö. nyligen experimentellt kullkastats. En annan förklaring gick ut på att den täthet, som mätes för en stor kalkspatkrystall, ej kan användas vid dessa beräkningar. Detta skulle bero på att kristallen skulle ha s. k. mosaikstruktur, d. v. s. bestå av ett antal småkristaller, som kunna vara mer eller mindre inskjutna i varandra. Goda argument kunde anföras mot dessa antaganden, men trots allt ansåg man sig allmänt böra hålla fast vid MILLIKANS e -värde. För att nå ett definitivt avgörande måste man tydligen, antingen upprepa MILLIKANS mätningar och påvisa att något fel föreligger där, eller också måste man finna en tredje metod, vars noggrannhet var tillräcklig för att möjliggöra ett säkert val mellan de båda konkurrerande e -värdena. Båda vägarna ha beträffats under den senaste tiden, och båda ha givit till resultat att det s. k. röntgenvärdet, sålunda det högre värdet, måste vara det närmast riktiga.

År 1935 publicerade författaren resultaten av en precisionsmätning av elektronvåglängder med vars hjälp e kunde beräknas med

¹ I årgång 1930 av Kosmos har BÄCKLIN själv redogjort för dessa undersökningar.

en noggrannhet av omkring ± 1 promille. Våglängden mättes för elektroner med känd volthastighet. Den accelererande spänningen erhöles från ett Greinacher-kopplat högspänningsaggregat, till vilket anslutits en utjämningsanordning, bestående av bl. a. ett radiorör. Spänningen från denna anordning höll sig konstant på ett par tiondels promille, och kunde mätas mot normalelement. Våglängden bestämdes ur spektra, som erhöles därigenom att en elektronstråle, som passerat genom två smala spalter, fick träffa en blyglanskrystall. Kristallen hade blivit etsad i saltsyra, så att enstaka småkristaller stucko upp över ytan med sin ursprungliga inbördes orientering bibehållen. Vinkeln mellan strålen och kristallytan var liten, och därför passerade elektronerna igenom småkristallerna, och dessa verkade som ett vanligt transmissionsgitter och gävo upphov till mycket smala spektrallinjer, som kunde noggrant mätas på en fotografisk plåt.

e kan beräknas genom att man kombinerar de Broglies lag, som anger sambandet mellan elektronhastigheten v och elektronvåglängden λ med uttrycket för Rydbergskonstanten.

de Broglies lag $\lambda = \frac{h}{mv}$ kan skrivas om på följande sätt:

$$\lambda \cdot \sqrt{1 + \frac{eV}{2m_0 c^2}} = \lambda' = \frac{h}{\sqrt{2e m_0 V}}.$$

Här har hastigheten v ersatts med volthastigheten V och elektronens vilomassa m_0 införts. Rotmärket efter λ har tillkommit på grund av massans hastighetsberoende. λ' är införd för att underlätta beräkningarna. Rydbergskonstanten R är enligt БОHR

$$R = \frac{2\pi^2 e^4 m_0}{c h^3}.$$

För e får man härur uttrycket:

$$e = \frac{V^{3/4} \cdot \lambda'^{3/2}}{\sqrt[4]{e/m_0}} \cdot A \quad \text{där } A = \sqrt{\frac{R}{c}} \cdot \sqrt[4]{\frac{2}{\pi}} \cdot 10^6.$$

V och λ mätas och R , c och e/m_0 kända vi, R och c med mycket stor noggrannhet men e/m_0 endast på ungefär en promille. Men eftersom den ingår under ett fjärderot-märke kommer osäkerheten, som den inför, inte att bli mer än en fjärdedels promille. Resultatet av mätningen blev att

$$e = (4.796 \pm 0.005) \cdot 10^{-10} \text{ e.s.e.}$$

Det angivna felet är avsett att innefatta alla kända felkällor.

Samma år gjorde KELLSTRÖM en nybestämning av luftens inre friktionskoefficient η . Vid beräkningen av oljedroppsvärdet ingår $\eta^{3/2}$. MILLIKAN hade använt ett värde $\eta_{23^\circ} = 18,227 \cdot 10^{-8}$, som bestämts av HARRINGTON. Detta värde hade valts ut som det bästa av ett antal starkt varierande värden. Det låg därför nära till hands att anta, att ett fel i e kunde ha kommit in med η . KELLSTRÖMS mätning visade att HARRINGTONS värde var för lågt. Han fick nämligen värdet $\eta_{23^\circ} = 18,349 \cdot 10^{-8}$, sålunda inte mindre än 0.67 % högre. Exakt samma värde erhöLL BOND vid mätningar enligt en annan metod. Detta innebär att MILLIKANS e -värde måste höjas med omkring 1 % upp till $e = (4.818 \pm 0.011) \cdot 10^{-10}$ e.s.e. Det fel, som här angivits, är enbart det fel, som härrör från osäkerhet i η . Det verkliga felet är ännu större.

Slutligen har BÄCKLIN och FLEMBERG 1936 gjort en ny mätning enligt oljedroppsmetoden. En mycket stor förbättring har här införts därigenom att de använt diffusionspumpolja med mycket lågt ångtryck. Det medför, att droppens massförlust genom avdunstning under försökets gång blivit omärklig. Därför har ett stort antal observationer av fall- och stigtid kunnat göras på varje droppe. Det preliminära resultatet av BÄCKLINS och FLEMBERGS oljedroppsbestämning är $e = 4.800 \cdot 10^{-10}$ e.s.e. med KELLSTRÖMS η , sålunda i god överensstämmelse med röntgen- och elektronvåg-värdena.

Man kan sålunda inte längre hålla fast vid det MILLIKANSKA 4.774-värdet, som i så många år varit den kanske mest kända av fysikens olika sifferkombinationer.

Tabell III ger en sammanställning av de ur olika metoder erhållna e -värdena.

Tabell III. Elektronens laddning.

No.	Metod	Experimentator	År	e	Angivet fel	Anm.	Litteraturnav.
1	Oljedropps- metoden	MILLIKAN	1913	$4.774 \cdot 10^{-10}$	$\pm 0.009 \cdot 10^{-10}$		P. R. 2. 109.
2		,	1917	4.774	± 0.005		Ph. M. 34. 1.
3		,	,	4.770	± 0.005	Omräknat av MILLI- KAN 1930	P. R. 35. 1931.
4		,	,	4.818	$\pm 0.011^1$	Omr. med KELL- STRÖMS η 1936	P. R. 50. 190.
5		BÄCKLIN-FLEM- BERG	1936	4.800	—	KELLSTRÖMS η anv.	Nature 157. 635.
6	Röntgen- metoden	BÄCKLIN	1928	4.793	± 0.015		Upps. Univ. Årsskr. 1928.
7		BEARDEN	1931	4.806	± 0.003		P. R. 37. 1210.
8		,	1935	4.8036	± 0.0005		P. R. 48. 385.
9		BÄCKLIN	1935	4.805	± 0.004		Zs. f. Ph. 93. 450.
10		DU MOND- BOLLMAN	1936	4.799	± 0.007	Efter nybest. av kalkspatens egensk.	P. R. 50. 383.
11	Elektron- böjn. met.	V. FRIESEN	1935	4.797	± 0.005	Omräknat med $e/m =$ 1.7685	Upps. Univ. Årsskr. 1936: 14.

¹ Endast felet ur η .

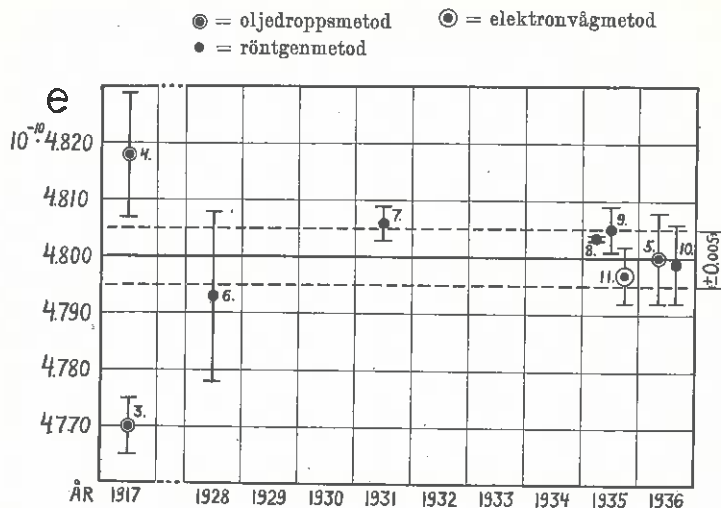


Fig. 4. e -bestämningar med angivna felgränser. Av förf. valt värde jämte uppskattade felgränser har markerats. Siffrorna hänvisa till tabell III.

Vid röntgenmetoden tyder de senaste resultatens goda inbördes överensstämmelse på att förhållandet mellan röntgenskalans och den optiska skalans våglängder numera är känt med god noggrannhet. Reduktionstalet $\frac{\lambda_0}{\lambda_R} = 1.0020$. Det har f. ö. bekräftats genom direkta jämförelser i konkavgitterspektrograf mellan optiska linjer och röntgenlinjer i höga ordningar. Däremot kan en liten osäkerhet förefinnas i själva beräkningen av e ur detta förhållande. DU MOND och BOLLMAN ha nämligen utfört en nybestämning dels av kalkspatens täthet och dels av storleken hos kalkspatens enhetsromboeder, och härur med hjälp av BEARDENS röntgenmätningar beräknat det i tabellen angivna e -värdet $4.799 \cdot 10^{-10}$ e.s.e. i stället för det av honom själv beräknade värdet 4.806.

Mot elektronvågmetoden har riktats den anmärkningen att de vid etsningen frilagda småkristallerna härigenom möjligtvis skulle

ha fått en annan gitterkonstant än den stora kristallen. Mot detta antagande tala emellertid experimentella iakttagelser, bl. a. de ovan omtalade mätningarna av DU MOND och BOLLMAN. De gåvo nämligen samma värde på tätheten för mycket små kristaller som för stora kristallblock.

Man kan sålunda som sammanfattning säga att alla nyare mätningar ge resultat som gruppera sig omkring värdet

$$e = (4.800 \pm 0.005) \cdot 10^{-10} \text{ e.s.e.},$$

som därför med de angivna felgränserna torde utvisa var det verkliga elektronladdningsvärdet skall sökas.

IV. PLANCKS KONSTANT.

PLANCKS konstant, h , kan mätas på många olika sätt, men trots detta är den den minst noggrant kända av de fyra konstanter vi här syssla med. Den erhålles vid experimenten aldrig ensam utan alltid i kombination med någon av konstanterna e , e/m och m . Kombinationen h/e^n , där $n = 3/8$, $4/3$ eller $5/3$, är den vanligast förekommande. Detta för med sig, att utom de fel som uppstå vid själva mätningen, också osäkerheten hos den andra ingående konstanten kommer in i större eller mindre grad. Tabell IV ger en översikt över några av de h -mätningar, som i detta sammanhang speciellt intressera oss.

I denna tabell anges för varje undersökning dels det h -värde, som experimentatorn själv publicerat och dels ett annat värde, som beräknats med modernare värden på ingående konstanter. Vid denna omräkning uppstår ofta en osäkerhet på ett par enheter i den fjärde siffran, på grund därav att endast ofullständiga uppgifter lämnats om vilka konstantvärden, som förut använts. Beträffande felet bör märkas, att hos FEDER och SCHATBERGER felet i e inte ingår i det uppgivna felet.

Vid fotoeffektmetoden bestämmes h ur de maximiennergier, som fotoelektroner kunna uppnå vid belysning med ljus av ett antal

Tabell IV. Plancks konstant.

No	Metod	Experimentator	År	Ingående konstant	h uppvisande värde	h omräknat	Uppgivet fel	Litteratur
1	I. Fotoeffekt	MILLIKAN	1916	e^3/s	6.57	6.61	± 0.03	P. R. 7. 355.
2	"	LUKIRSKY och PRILJAZEV	1928	"	6.543	6.58	± 0.014	Zs. f. Ph. 49. 236.
3	"	OLFIN	1930	"	6.561	6.60	—	P. R. 36. 251.
4	II. Röntgenmetod	DUANE m. fl.	1921	e^4/s	6.566	6.614	± 0.009	J. O. S. A. 5. 213.
5	"	FEDER	1929	"	6.547	6.602	± 0.003	A. d. Ph. 1. 497.
6	"	KIRKPATRICK och ROSS	1934	"	6.546	6.602	± 0.006	P. R. 45. 454.
7	"	SCHULTBERGER	1935	"	6.555	6.610	± 0.002	A. d. Ph. 24. 84.
8	III. Elektronböjning med dir. hast.best.	GNAN	1934	$m \cdot e^3/s$	—	6.61	—	A. d. Ph. 20. 361.
9	IV. Elektronböjning	V. FRIESEN	1935	$(e/m)^{3/4}$	6.610	6.612 ¹	± 0.012	Uppsala Univ. Årsskrift 1935. 14.
10	V. Ber. ur Rydbergskonstanten	—	—	e^5/s	—	6.619	± 0.013	—

¹ Omräkningen här har skett till värdet $e/m = 1.7586$.

olika, kända frekvenser. Bestämningen av denna maximala energi är svår att göra med stor noggrannhet och det erhållna h -värdet är därför något mindre säkert än de, som ges av metoderna II, IV och V i tabellen. Speciellt har LUKIRSKYS och PRILJAZEVS arbete utsatts för skarp kritik.

Röntgenmetoden består däri, att man iakttar samhöriga värden för våglängd och spänning vid den gräns, där emissionen av det kontinuerliga röntgenspektrum börjar. Härvid håller man den ena storheten konstant och varierar den andra stegvis. Intensiteten av det utsända röntgenljuset mätes, och man extrapolerar till intensiteten noll. Det är svårt att avgöra, hur denna extrapolation skall göras, och den utgör därför metodens största felkälla. Felet måste nog uppskattas till åtminstone ett par promille, om också osäkerheten hos e -värdet tas i betraktande.

GNAN har mätt våglängden för elektroner, vars hastighet bestämts enligt den av KIRCHNER använda metoden med avböjning i växelfält. Han får fram ett värde på h/m som emellertid dessutom beror av e -värdet på grund av att våglängden mätts i kristallskalan och ej absolut. Bestämningen enligt denna intressanta metod har emellertid inte kunnat ge något särskilt noggrant h -värde.

Den andra elektronböjningsmetoden (V. FRIESEN) är samma metod, som ovan beskrivits för elektronladdningsbestämning, med den skillnaden att e i stället för h eliminerats mellan DE BROGLIES ekvation och uttrycket för Rydbergskonstanten. Författarens uppfattning är, att de uppgivna felgränserna rimligen kunna antas täcka det verkliga h -värdet.

Det sista värdet i tabellen har erhållits ur uttrycket för Rydbergskonstanten därigenom att man satt in de värden, som vi i det föregående antagit för c , e och e/m . Noggrannheten hos det på detta sätt erhållna värdet torde väl kunna mäta sig med vad som nås på andra vägar.

Om vi sammanfatta tabellvärdena se vi, att en fullt tillfredsställande överensstämmelse råder mellan de enligt olika metoder erhållna h -värdena. Härigenom vederlägges f. ö. det påståendet,

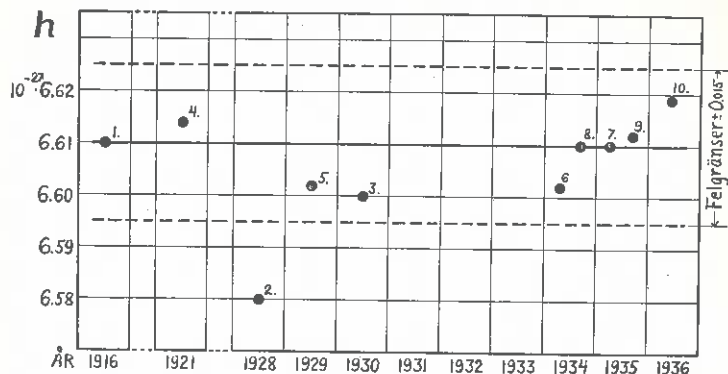


Fig. 5. h -bestämningar omräknade för $e = 4,800 \cdot 10^{-10}$ e. s. e.
 Av förf. valt h -värde jämte felgränser har markerats.
 Siffrorna hänvisa till tabell IV.

att endast med MILLIKANS e -värde en sådan samstämmighet skulle råda. Tabell V ger denna sammanfattning. De där angivna felgränserna äro avsedda att även innefatta felet i e .

Tabell V. Sammanställning av h -värden.

Metod	h	felgränser
Fotoeffekt	6.60	± 0.03
Röntgen	6.607	± 0.015
El.böjn. I	6.61	± 0.02
El.böjn. II	6.612	± 0.012
Rydbergskonst.	6.619	± 0.013

Med stöd av ovanstående värden bör man kunna antaga att

$$h = (6.610 \pm 0.015) \cdot 10^{-27} \text{ erg.sek.},$$

och vara ganska säker på att det rätta värdet ligger inom detta område.

Vi ha nu fått fram följande värden för våra fyra konstanter:

$$\begin{aligned} \text{Ljusets hastighet} &= (2.99780 \pm 0.00020) \cdot 10^{10} \text{ cm/sek.} \\ \text{Specifika elektronladdningen} &= (1.7585 \pm 0.002) \cdot 10^7 \text{ e.m.e/gr.} \\ \text{Elektronladdningen} &= (4.800 \pm 0.005) \cdot 10^{-10} \text{ e.s.e.} \\ \text{PLANCKS konstant} &= (6.610 \pm 0.015) \cdot 10^{-27} \text{ erg.sek.} \end{aligned}$$

SOMMERFELDS finstrukturkonstant $= \frac{2\pi e^2}{hc}$ är dimensionslös, och dess inverterade värde skall enligt en hypotes av EDDINGTON vara exakt lika med 137. Det kan därför vara av ett visst intresse att räkna ut, vilket tal våra konstantvärden ger. Det visar sig då att talet blir 136.9 och sålunda inom felgränserna stämmer med det teoretiska värdet.

Förklaring till litteraturuppgifterna.

- A. d. Ph. = Annalen der Physik.
 Am. Naut. Alm. = Astron. papers prepared for the use of the American Ephemeris and Nautical Almanac.
 A. O. P. = Annales de l'Observatoire de Paris.
 A. Ph. J. = The Astrophysical Journal.
 B. S. B. = Bulletin of the Bureau of Standards, Washington.
 C. R. = Comptes Rendus des séances de l'academie des sciences, Paris.
 J. O. S. A. = Journal of the Optical Society of America.
 J. P. R. = Le Journal de Physique et le Radium.
 Ph. M. = The Philosophical Magazine.
 P. R. = Physical Review.
 Sill. J. = The American Journal of Science.
 Zs. f. Ph. = Zeitschrift für Physik.