

Please take notice of: (c)Beneke. Don't quote without permission.

The(odor) Svedberg

(30.08.1884 Flerång bei Gävle - 26.02.1971 Kloppaberg)

und die Ultrazentrifuge

Klaus Beneke
Institut für Anorganische Chemie
der Christian-Albrechts-Universität
der Universität
D-24098 Kiel
k.beneke@email.uni-kiel.de



Aus:

Klaus Beneke

Biographien und wissenschaftliche Lebensläufe von Kolloidwissenschaftlern, deren Lebensdaten mit 1996 in Verbindung stehen.

Beiträge zur Geschichte der Kolloidwissenschaften, VIII

Mitteilungen der Kolloid-Gesellschaft, 1999, Seite 200-215

Verlag Reinhard Knof, Nehnten

ISBN 3-934413-01-3

Svedberg, Theodor (genannt The) (30.08.1884 Fleräng bei Gävle - 26.02.1971 Kloppaberg)



The Svedberg

Svedberg wurde als einziges Kind von Elias Svedberg und Augusta Alstermark in Fleräng geboren. Sein Vater, ein Ingenieur, leitete verschiedene schwedische und norwegische Eisenwerke. Trotzdem hatte die Familie ab und an finanzielle Probleme. Großvater und Onkel väterlichseits waren Leiter der schwedischen Eisen- und Holzindustrie. Während der Schulzeit mußte Svedberg mehrmals die Schule wechseln, da sein Vater von Valbo in Schweden nach Hommelviken in Norwegen ging und dort Direktor eines Kupferwerkes wurde (1891 - 1893). Später zog die Familie nach Västmanland in Schweden zurück, wo der Vater Vorstand verschiedener Stahlfabriken wurde. Der Vater machte mit seinem Sohn Exkursionen in die Natur, was dessen Sinn dafür schärfte. Der Vater sammelte Mineralien und

Pflanzen, zu dem er seinen Sohn ebenfalls ermunterte. Die Jahre 1895 bis 1900, der Vater war Direktor der Karmansbo Stahlwerke, waren mit die glücklichsten Jahre in Theodors Jugendzeit. Er unternahm botanische Exkursionen an dem Fluß Hedströmen sowie physikalische und chemische Experimente in seinem eigenen kleinen Laboratorium zu Hause. In dieser Zeit legte er ein Herbarium an, das er ein Leben lang vervollständigte.

Svedberg verbrachte die Schuljahre in der Grundschule in Köping und auf dem Carolina Gymnasium in Örebro. In beiden Schulen hatte er Lehrer, die ihn in den Naturwissenschaften förderten und später auch eigene Versuche in Physik und Chemie durchführen ließen. Im Dezember 1903 erhielt er die Hochschulreife mit einer privaten Prüfung in Göteborg, um schnell an die Universität zu kommen, da er in Örebro erst ein halbes Jahr später die Prüfung hätte ablegen können.

Svedberg begann 1904 mit dem Studium an der Universität Uppsala. Er beschloß Chemie zu studieren, da er sah, daß viele Probleme der Biologie chemische Probleme waren. In Uppsala sollte er sein Leben lang bleiben. Während dieser Zeit wurde Svedbergs Vorname Theodor in The gekürzt. Es wird wie „Te“ in „Ten“ ausgesprochen. Bereits im September 1905 erhielt er den Bachelor of Science und fing an, eigene Forschungen zu betreiben. Im Dezember 1905, Svedberg war 21 Jahre alt, erschien seine erste wissenschaftliche Publikation (Svedberg, 1905). Schon in dieser Arbeit beschäftigte er sich mit kolloidalen Systemen. Damit begann in Uppsala eine neue wissenschaftliche Forschungsrichtung. Da dieses Gebiet ganz neu war,

fand Svedberg keinen Professor, der ihn anleiten und in dieses Gebiet hätte einführen können.



The Svedberg

Im Jahre 1907 legte er seine Dissertation *Studien zur Lehre von den kolloiden Lösungen* vor, erhielt den Doktor der Philosophie und wurde kurz danach Dozent für Chemie (Svedberg, 1907). Bereits 1912 erhielt Svedberg, er war 28 Jahre alt, den ersten Lehrstuhl für physikalische Chemie in Schweden an der Universität Uppsala. Dieser war persönlich für ihn eingerichtet worden. Er konnte 1931 in das neu gebaute Institut einziehen, wo er sich 1949 emeritierte (Claesson, Pedersen, 1976; Kerker, 1986; Brohult, 1987; Rånby, 1987; Fischer, 1989; Beneke, 1997).

Angeregt wurde Svedberg zu seiner Forschung durch Walther Friedrich Hermann Nernsts (1864 - 1941) *Theoretische Chemie*, wo ihn die Kapitel über Kolloide, Osmotischer Druck, Diffusion und Molekulargewicht besonders interessierten. Dazu kamen Richard Adolph Zsigmondys (1865 - 1929) *Zur Erkenntnis der Kolloide* und Georg Bredigs (1868 - 1944) *Anorganische Fermente*. Svedberg begann das Studium der elektrischen Synthese von Metallsolen in organischen Lösungsmitteln, welches Bredig erstmals 1898 mit Hilfe eines elektrischen Lichtbogens zwischen den entsprechenden Metallelektroden unter Wasser angewandt hatte (Bredig, 1898). Dabei präparierte er Organosole, vorzugsweise in Isobutanol und Ethylether als Lösungsmittel, von über dreißig unterschiedlichen Metallen und versuchte diese reproduzierbar herzustellen. Svedberg verfeinerte die Methoden, um stabilere Sole und gleichmäßige Teilchengrößen zu erhalten, um sie mit quantitativen physikalischen und chemischen Methoden zu untersuchen (Svedberg, 1905, 1906).



Richard Zsigmondy

1908 führte ihn eine Reise zu Richard Zsigmondy nach Göttingen, wo er das Ultramikroskop

näher kennenlernte. In Uppsala begann er mit dem Dozenten für Physikalische Chemie, Carl Benedicks, mit dem Bau eines Zsigmondy-Siedentopf-Ultramikroskops. Svedberg untersuchte die Brownsche Molekularbewegung in seinen Solen und

bestimmte den Einfluß des Lösungsmittels, die Viskosität, Temperatur und andere Faktoren. Er konstruierte ein Pendel zur Untersuchung der Brownschen Molekularbewegung und entwickelte eine photographisch-subjektive Registriermethode. Dabei konnte er die von Albert Einstein (1879 - 1955) und Marian von Smoluchowski (1872 - 1917) aufgestellte Theorie der Brownschen Molekularbewegung experimentell bestätigen (Svedberg, 1910 a).



Weiterhin untersuchte Svedberg den Zusammenhang zwischen Diffusionsgeschwindigkeit und Partikelgröße kleiner Teilchen und berechnete 1913 über die Teilchengrößenbestimmung in Solen die Avogadro-Zahl aus der Brownschen Bewegung. Bei der Untersuchung kleinster Goldteilchen konnte er die absolute Größe und die Zahl der Moleküle, die auf einen bestimmten Raumteil entfielen, bestimmen. Die durch diese Messungen gefundene Zahl $6 \cdot 10^{23}$ (Avogadro-Zahl) wurde durch andere Methoden bestätigt (Beneke, 1995). Außerdem untersuchte Svedberg die optischen Eigenschaften wie Lichtwirkung und Lichtabsorption kolloidaler Systeme (Claesson, Pedersen, 1976; Kerker, 1986; Rånby, 1987; Fischer, 1989; Beneke, 1997).



Svedbergs lebenslanges Interesse galt auch radioaktiven Problemen. Im Anschluß an die Untersuchung der Stabilität von kolloidalem Gold bei der Bestrahlung mit Röntgenstrahlen (Svedberg, 1910 b) untersuchte er 1909 mit D. Strömholm isomorphe Niederschläge von radioaktiven Elementen. Sie konnten dabei nachweisen, daß Thorium X (Radium) mit Blei- und Bariumsalzen Isotope bildet (Strömholm, Svedberg, 1909; Claesson, Pedersen, 1976; Kerker, 1986; Beneke, 1997).

Svedberg publizierte bis 1913 zwei Monographien. Die Arbeit *Zur Herstellung von kolloidalen Lösungen anorganischer Stoffe* (Svedberg, 1909) ist noch heute allen zu empfehlen, die sich erstmals mit der Herstellung

kolloidaler Lösungen beschäftigen und bietet den Historikern eine unersetzbare Quelle von Hinweisen auf frühere Arbeiten dieser Art. Das andere Werk behandelt die Existenz der Moleküle (Svedberg, 1912).

Zwischen 1914 und 1922 arbeitete und publizierte Svedberg an zwei neuen Themen. Er studierte an Flüssigkristallen die Anisotropie, welche durch elektrische und magnetische Felder hervorgerufen wird, sowie elektrische Leitfähigkeit, Reaktionsgeschwindigkeit und Diffusion. Weiterhin beschäftigte er sich mit dem Verhalten zwischen der Größe und Empfindlichkeit der Körnung in photographischen Emulsionen. Bereits 1916 hatte Svedberg mit Sven Oden eine Waage konstruiert, mit welcher die Sedimentation in Schwerkraftfeldern beobachtet werden konnte. In seinem Nobelvortrag 1927 erklärte er dazu:



Svedberglabor (um 1914)

„Es ist jedoch offenbar, daß Sedimentationsbestimmungen im Schwerefeld nur an solchen dispersen Systemen ausgeführt werden können, die aus verhältnismäßig großen Partikeln von hohem spezifischen Gewicht bestehen. Um die eigentlichen Kolloide studieren zu können, muß ein vieltausendmal stärkeres Kraftfeld als das der Schwere zur Anwendung gelangen. Ein

solches können wir dadurch erzeugen, daß wir die Lösung rasch rotieren lassen, d. h. durch Zentrifugieren“ (Kinell, 1955).



Svedbergs Arbeitsgruppe (1926)

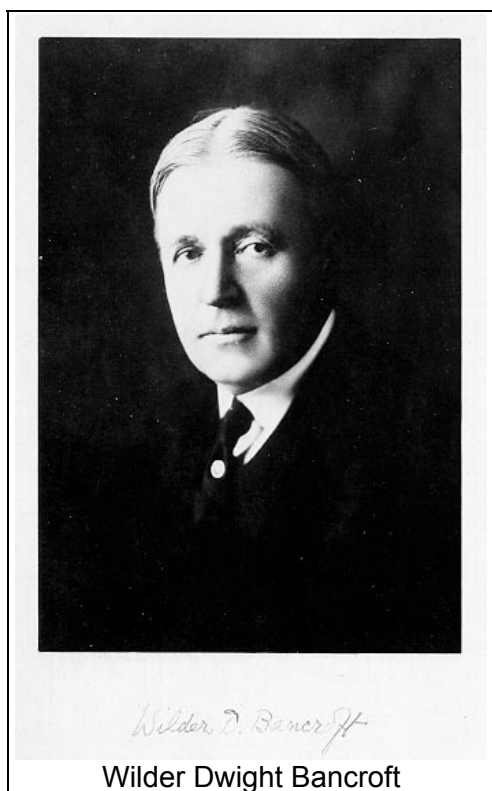
Svedberg reiste 1923 für acht Monate in die USA an die Universität Wisconsin in Madison, um Vorlesungen der Kolloidchemie zu halten. Dort war geplant, ein Department of Colloid Chemistry zu begründen. Hier erhielt Svedberg die für seine weitere wissenschaftliche Laufbahn wichtigen Inspirationen: die Ultrazentrifuge und die Elektrophorese. Mit letzterer hatte

sein Schüler Arne Tiselius (1902 - 1971) (siehe → Tiselius) einen großen wissenschaftlichen Erfolg. Mit James Burton Nichols baute Svedberg in Madison die erste optische Zentrifuge, bei der die Sedimentation der Teilchen während des Zentrifugierens photographisch festgehalten werden konnte. Diese Zentrifuge erreichte Beschleunigungen von 150 g. Damit konnten erstmals Teilchen $> 0.2 \gamma$ genauer untersucht werden. Bis dahin arbeitete man bei der Sedimentation nach der Schwerkraftsedimentation (*Atterberg-Methode*), bei der die Teilchen durch die

Gravitation der Erde getrennt wurden, wobei die Grenze der Auftrennung von der Dichte der Teilchen abhängig ist (Claesson, Pedersen, 1976; Kerker, 1986; Lagaly, 1997).

Dazu erinnerte sich James Burton Nichols 1984:

"Early in 1923 The Svedberg was invited to the University of Wisconsin to conduct six months of research and give a series of lectures in the young field of colloid chemistry. On his way out he stopped at the Eastman Kodak Co. in Rochester, N. Y. to give a general lecture on his work in Sweden.



At the time I was just finishing my undergraduate work at Cornell University with Wilder D[wight] Bancroft [1867 - 1953] as my major professor, so I went to Rochester to meet Svedberg. I expected to see a plump, middle-aged bewhiskered European professor with grey hair. Imagine my surprise to meet this boyish, slight man with flashing eyes and very black hair (he was 38 at the time). In about two weeks I was at Wisconsin and had selected the optical centrifuge as my research projects. But it seemed just right to me.

The list of projects he brought with him represented his current interests. These included formation of colloidal metals by high frequency arc and the formation of Mn-arsenate gels under the kinoultramicroscope, which was investigated by Elmar O. Kraemer, later in charge of physical colloid research at the DuPont Co.; modification of the sedimentation tube to examine emulsions, investigated by Alfred J. Stamm, later an authority on the physical structure of wood; an characterization of colloidal clays, investigated by Richard Bradfield, later the renowned soil scientist at Cornell. Jack Williams worked on specific heats of organic liquids and later became a Wisconsin professor with a very active ultracentrifuge research group starting in the late 1930s.

The lectures were very well attended by academic and industrial people from all over the country. I can still see The Svedberg touching a 500 V DC bare wire to see if it was live for a lecture experiment. The lectures appeared in book form the next year.

In June Prof. J. Howard Matthews, head of the Chemistry Department, brought together colloid chemists from throughout the USA and Canada for the first of a long series of annual colloid symposia, with Svedberg as the honoured guest professor. It

was very successful. In the Spring and Summer he took a little time for picnics, exploring the countryside and photographing the Wisconsin wild flowers.

By the time he returned to Sweden in August [1923] the crude little centrifuge had been developed to a stage where pictures could be taken of sedimenting gold sols and clays but convection was a serious problem. The centrifuge's chief value lay in the orientation it gave to the problems. The heavy cylindrical rotor was directly connected to a vertically mounted 20 000 r. p. m. Dumore motor yielding only about 2 000 r. p. m. because of the rotor weight. The two arms were slotted vertically and horizontally so that direct or scattered light could be observed. The photo- and cross-section give an idea to the construction (Fig. 1, 2 and 3). The 3-inch test tubes used for the sols led to convection as well as sedimentation.

Svedberg took back with him the problems to be solved: vibration, convection, temperature control, and cell construction, but with confidence that a machine could be built to give reliable data on the size distribution of very fine-grained colloids. His eight-month stay at Wisconsin had been very stimulating, not only in ideas for a functioning centrifuge worked out on board a ship to Sweden, but also for electrophoresis, diffusion and other phenomena in colloid chemistry.

In the intervening two years until I came to Uppsala in 1925, he and Herman Rinde developed the first low speed ultracentrifuge with sector-shaped cells, vibrationless mountings of a modified cream separator with self-balancing rotor, and hydrogen atmosphere in the rotor chamber to equalize the temperature. Convectionless sedimentation of Faraday gold sols was achieved!" (Nichols, 1987).

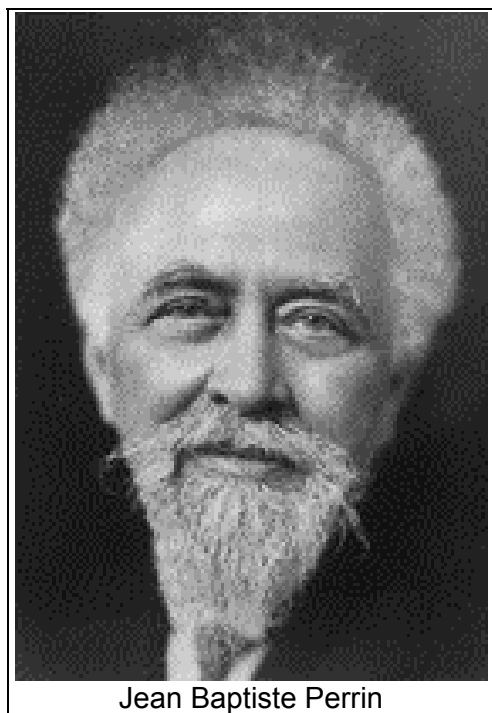
Somit konnte Svedberg nach der Rückkehr nach Uppsala mit seinem Mitarbeiter Herman Rinde die Zentrifuge so verbessern, daß sie Beschleunigungen von 7 000 g erreichten. Mit dieser Zentrifuge konnten sie kolloidale Goldteilchen zentrifugieren und das Sediment fotografieren, deren Teilchen im Ultramikroskop nicht sichtbar waren. In Analogie zum Ultramikroskop und zur Ultrafiltration wurde die Zentrifuge Ultrazentrifuge genannt. Bereits 1925/26 baute Svedberg mit Lysholm eine größere und neuere Hochgeschwindigkeits-Öl-Turbinen-Ultrazentrifuge die Beschleunigungen von 100 000 g erreichte (Svedberg, Nichols 1923; Svedberg, Rinde 1924; Rinde, 1928). Über sie berichtete Svedberg:

„Mit dieser Ultrazentrifuge kann das ganze Gebiet der Kolloide umfaßt werden, und es gelingt sogar, ein Stück in das der eigentlichen molekularen Lösungen einzudringen. Damit gelangt man in ein Gebiet von größten molekularen Körpern, wie Hämoglobin, Eiweiß, Stärke u. a. m. Dadurch ist aber die Grenze des Möglichen noch nicht erreicht. Ich hoffe, mit Hilfe einer neuen Zentrifuge das Kraftfeld noch weiter steigern zu können, wodurch es möglich wäre, die Bestimmungen mit der Zentrifugiermethode anzuknüpfen an die gebräuchlichen Molekulargewichtsbestimmungen

in Lösungen, die auf Grund der Siedepunktserhöhung und Gefrierpunktserniedrigung ausgeführt werden“ (Kinell, 1955).

In dieser Zeit, am 12. November 1926, gab die Königliche Schwedische Akademie der Wissenschaften bekannt, daß der Nobelpreis der Chemie 1926 an The Svedberg für seine Arbeiten an dispersen Systemen verliehen würde. Gleichzeitig wurde der Nobelpreis der Chemie 1925 an Richard Zsigmondy und der Nobelpreis der Physik 1926 an Jean Baptiste Perrin (1870 - 1942) verliehen. Damit wurden zwei weitere Kolloidwissenschaftler mit dem Nobelpreis ausgezeichnet. Es wurde jetzt für Svedberg leichter, das Parlament für ein größeres Institut zu überzeugen. Anfang 1931 zog er in das neue Physikalische Institut in Uppsala ein (Pedersen, 1987).

Mit der Ultrazentrifuge begann Svedberg die Untersuchungen von Proteinen. Sven Brohult erzählte 1984 dazu:



Jean Baptiste Perrin

“The ultracentrifuge method was of tremendous importance to protein research. For about fifteen years, 1925-1940, Svedberg and his collaborators devoted themselves to that research (Svedberg’s protein period).

Like most chemists, Svedberg had assumed that the lyophilic proteins were polydispers colloids like the lyophilic metal colloids he had studied earlier. At higher concentrations, proteins appeared to be waterswollen gels. Svedberg had planned to develop methods for determining size-distribution of particles in protein sols. Imagine his surprise when he found - using the ultracentrifuge - that the proteins he was observing actually monodisperse, that is, they had a well-defined molecular mass. Some of the proteins were paucidispers, that is, two or more definite

molecular weight classes were simultaneously present. By fractionating or changing the pH of the solvent, monodispers solutions could be obtained.

Haemoglobin was the first protein to be studied thoroughly and whose monodisperseness could be proved. The molecular weight was shown to be 68 000, which is four times greater than the molecular weight of 17 000 derived from the iron content of haemoglobin. The enzymes also turned out to be monodispers.

A great sensation occurred when the blue haemoglobin from the blood of the small Helix pomatia was centrifuged. Judging from the copper content of the protein, one would have expected a molecular weight of 15 000 to 17 000. After just a few moments with the haemocyanin solution in the ultracentrifuge, it turned out that the haemocyanin separated out quickly, with a razor-sharp border surface. A rough cal-

cultation revealed that the molecular weight had a several million and that the molecules were of a uniform size. It was the first time anybody had observed such uniform giant molecules. It was later shown that this haemocyanin has a molecular weight of around ten million and is constant in a broad pH interval.

Svedberg and his collaborators studied a great number of proteins with molecular weight from 34 000 (ovalbumin), 68 000 (haemoglobin), 70 000 (serumalbumin), 175 000 (serumglobulin), up to millions (haemocyanin). Some haemocyanins yield association products representing weights of up to 80 million” (Brohult, 1987).

Svedberg war also in der Lage, Molekularmassen von Proteinen zu bestimmen. Er berechnete 1924 die Molekularmassen für das Casein aus der Milch und 1925 für das Hämoglobin nach den Sedimentationsmessungen und lieferte den Beweis für die Existenz von Proteinmolekülen einheitlicher Größe. Mit der Ultrazentrifuge, welche Beschleunigungen von 100 000 g erreichte, konnten die Proteine voneinander getrennt werden. Dabei erwiesen sich die meisten Eiweiße als monodisperse einheitliche Verbindungen. Mit dem Hämocyaninmolekül entdeckte er 1929 das größte damals bekannte Molekül (Svedberg, Fåhræus 1926; Svedberg 1929).

Um 1930 war die Ultrazentrifuge so entwickelt, daß versucht wurde, höhere Beschleunigungen zu erreichen. So wurden Beschleunigungen von 200 000 g (1931), 300 000 g (1933) und 400 000 g (1934) erreicht. Svedberg hatte sich überlegt Sedimentationsstudien in einem Zentrifugalfeld von über einer Million g auszuführen. Dieses ging nicht mit den Standard-Rotoren; sie brachen bei höherer Drehzahl. Es wurden Versuche mit kleineren Rotoren durchgeführt. Der zweite Rotor explodierte bei 900 000 g, der dritte Rotor hielt mehrere Versuche bei 710 000 g durch. Schließlich konnte man diesen Rotor mit kleineren Veränderungen ab 1939 für den Dauerbetrieb bei 525 000 g (120 000 rpm) einsetzen. Das Problem, daß sich die Probenzelle verzog, wurde durch Veränderung des Zellgefäßes gelöst.

Ende der dreißiger Jahre fing Svedberg an Polysaccharide zu untersuchen. Später kamen Studien über Cellulose, insbesondere Cellulose aus Holz und Cellulosenitrat, hinzu die die Zusammenarbeit mit den größten Cellulosefabriken in Schweden förderte. Es wurden die Molekulargewichte, Osmotischer Druck, Sedimentation und Diffusion an diesen Verbindungsklassen bearbeitet. Gleichzeitig wurden Celluloseverbindungen wie Carboxymethylcellulose, Hydroxyethylcellulose, Cellulosexanthate u. a. genauestens untersucht (Jullander, 1987).

Ein anderes Forschungsgebiet Svedbergs waren Polystyrole, Polychloroprene und Poly(methylmethacrylate). Im Zweiten Weltkrieg fing er an, Polychloropren als ölresistentes Gummi zu entwickeln, da dieses durch die Seeblockade nicht mehr nach Schweden geliefert werden konnte (Claesson, Pedersen 1976; Beneke, 1997). Am 24. April 1942 gab Svedberg dazu im Schwedischen Rundfunk eine kurze Mitteilung:

“Thanks to the enthusiasm and energy with which my collaborators have set to work we have during the last few days been able to produce raw rubber in Uppsala and send samples to a factory for technical tests. At a meeting the other day with the Sveriges Kemiska Industrikontor the first articles made from Swedish synthetic rubber by the laboratory of Helsingborgs Gummifabrik were demonstrated. It is to be hoped that only a short time will elapse before our chemical industry will be able to exchange the miniature boot, which was exhibited on that occasion, for a similar boot but of normal size“ (Kinell, 1987).

Svedberg war in den (19)40er Jahren der führende Chemiker und gefeiertste Wissenschaftler in Schweden. In seinem Institut arbeiteten viele internationale Wissenschaftler. Seine Studenten wurden von ihm gefördert, und viele erhielten nach dem Studium führende Stellen an der Universität und Industrie in Schweden und im Ausland. Sein großes Interesse galt der Verknüpfung von chemischen, physikalischen, botanischen und medizinischen Problemen untereinander. Gleichzeitig engagierte er sich auf dem technischen, industriellen, sozialen und kulturellen Feld. Er schrieb allgemeinverständliche Bücher über Energie, Materialien und die Industrie. Er malte, war ein begeisterter Fotograf und las gängige Literatur auf französisch. Svedberg war ein Wissenschaftler und Humanist (Rånby, 1987).



The Svedberg

Im Jahre 1918 veröffentlichte Svedberg als kleines Buch *Forskning och Industri* (Forschung und Industrie). Essays der Naturwissenschaften zeigten, daß einige der Industrien aus den Ideen der Naturwissenschaften gelernt und damit humane Verbesserungen für die Bevölkerung gebracht hatten. Er äußerte offen seine Meinung zur Zusammenarbeit von Wissenschaft und Industrie. Es sollte aber bis 1933 dauern, bis sich eine Kooperation anbahnte. In einem Vortrag bei Schwedens ältester Firma, der Stora Kopparberg Bergslag, stellte er eigene Ergebnisse der Proteinforschung mit der Ultrazentrifuge vor und beschrieb den Einsatz der Zentrifuge zum Studium von Cellulose und anderen hochmolekularen organischen Substanzen. Nach der Diskussion

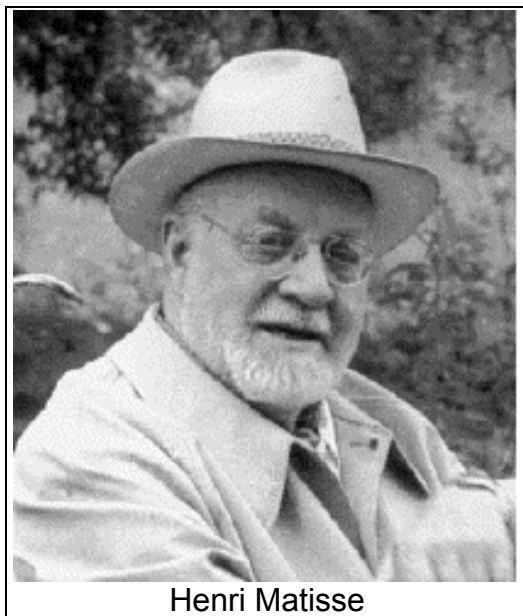
wurde ein bescheidener Forschungsauftrag zur Untersuchung von Cellulose ausgearbeitet. Ab 1936 bekam Svedberg von verschiedenen schwedischen Firmen Forschungsaufträge zur Untersuchung von Cellulose. Dabei zeigte sich Svedberg sehr kreativ und erfolgreich.

Svedbergs Interesse der Forschungsverknüpfung zwischen Industrie und Universität führte 1942 dazu, daß drei Stockholmer Firmen ein eigenes Labor gründeten, das LKB-Labor, benannt nach den Initialen der Firmen. Svedbergs Mitarbeiter Sven Brohult wurde Direktor. Im folgenden Jahr wurde eine neue Firma, die LKB Produkter AB, gegründet, die die Produktion und Vermarktung von wissenschaftlichen Instrumenten betrieb.

Um 1938 wurde Svedberg auch Mitglied in einer vom Minister für Handel und Verkehr berufenen Kommission zur Verbesserung der technischen Forschung. Er spielte in diesem Gremium eine führende Rolle. Durch diese Industriekontakte lernte er auch Gustaf Werner kennen (Gralén, 1987).

Kurz nach seiner Emeritierung am Physikalischen Institut in Uppsala wurde Svedberg im Dezember 1949 Leiter des Gustaf-Werner-Instituts für Nuclear-Chemie. Dieses Institut war von dem Göteborger Textilindustriellen Gustaf Werner mitfinanziert worden (2 Millionen Schwedenkronen), um mit einem Cyclotron die medizinischen Anwendung von Strahlung zu erforschen. Werners Interesse war dabei die Strahlung als Katalyse zur Synthese großer Moleküle für Textilstoffe zu verwenden. Verschiedene Arbeitsgruppen beschäftigten sich mit Problemen der biologischen und der medizinischen Anwendung, andere forschten über Probleme der Radiochemie und Radiophysik. Svedberg selbst arbeitete aktiv in einigen Gruppen mit.

1986 wurde das Svedberg-Laboratorium gegründet, in dem man sich mit Hochenergiephysik und Strahlenbiologie beschäftigt. Seit 1994 ist dieses Institut eine nationale Forschungseinrichtung, das der Leitung des Schwedischen Naturwissenschaftlichen Forschungskuratoriums untersteht. In ihm arbeiten Forschungsgruppen der Universitäten des In- und Auslandes (Larsson, Kullander, 1987; Gralén, 1987).



Henri Matisse

Svedberg war ein begeisterter Maler. Landschaften hatten es ihm besonders angetan, aber auch Porträts und frei erfundene Motive gehörten zu seinem Repertoire. In jungen Jahren malte er nur mit Wasserfarben, da Ölfarben, wie er meinte, zu lange zum Trocknen brauchen. Später malte er auch mit diesen. Einige Zeit, um 1920, malte er im Stile von Vincent van Gogh (1853 - 1890), Impressionisten, Henri Matisse (1869 - 1954) und Expressionisten. 1945 und 1948 hatte er eine Ausstellung in den Studentenräumen der Universität Uppsala. Um 1954 entwarf Svedberg Muster für Textilstoffe die Namen

wie u. a. Atome und Genetik (hier handelte es sich um Chromosomen, in schwarz auf grauem Grund) trugen und ein positives Echo hervorriefen (Ahlström, 1987).



Carl von Linné



Linnés Flora Lapplands

Eine andere große Leidenschaft von Svedberg war die Botanik, die in Schweden eine lange Tradition seit Carl von Linné (1707 - 1778) besaß. Svedberg betrachtete sich als Amateurbotaniker, da er dies nicht als Beruf ausübte. Sicher war er einer der bedeutendsten „Amateurbotaniker“ seiner Zeit in Schweden. Bereits mit sieben Jahren, als die Familie nach Norwegen umzog, begann er mit den botanischen Studien. Nachdem die Familie nach Schweden zurückgekehrt war, sammelte er erst um Uppsala, später in Minengebiet von Bergslagen in Västmanland Pflanzen für ein Herbarium. Auf der Schule in Örebro hatte er als Lehrer der Naturwissenschaften den Botaniker Ernst Adlerz, der Experte der Gattungen Hieracium und Rubus sowie der Moose war. Dieser hatte soviel Zutrauen zu Svedbergs Kenntnissen, daß er ihm erlaubte Moose zu sammeln und zu bestimmen. Die Ergebnisse publizierte Adlerz mit den seinigen in einer Moos-Flora 1907. Auch betrieb Svedberg systematische Studien in den verschiedenen Vegetationszonen. Während der Schulzeit ging er oft vor der Schule in die

Natur, um botanische Studien zu betreiben. Er verließ die Schule mit den höchsten Auszeichnungen und bekam unter anderem zwei botanische Handbücher als Anerkennung.

Nachdem er sich doch entschlossen hatte, Chemie zu studieren, blieb er trotzdem ein Leben lang der Botanik treu. Er machte botanische Exkursionen nicht nur in Schweden, sondern auch an vielen Plätzen in Europa, besonders in England, Irland, Frankreich, Spanien, Schweiz, Italien und Rußland. Als er 1923 Gastprofessor in den USA war, studierte er auch dort die Flora.

Zu seinem 75. Geburtstag im August 1959 bekamen Svedberg und seine Frau Margit von einer schwedischen Firma als Geburtstagsgeschenk eine Reise nach Spitzbergen. Es war schon in der Jugend sein größter Wunsch gewesen, die dortige Pflanzenwelt kennenzulernen. Im Jahr darauf trat er die Exkursion an und schrieb

darüber in seiner Publikation *Some Impressions from a Botanical Journey to Spitsbergen* (1961):

"For me who has botanized for many years in the Scandinavian mountains and after long walking-tours and hard climbing may have managed to find a few specimens of our rare snow-line flowers, it was an overwhelming experience to find the same flowers here in Spitsbergen growing by the thousands just outside our house".

Diese Reise nach Spitzbergen gab Svedberg den neuen Impuls, die arktische Flora besser kennen zu lernen. Bereits 1961 machte er mit seiner Frau eine botanische Expedition nach Grönland. Dort lernte er in drei Wochen drei verschiedene botanische Zonen kennen. Insgesamt drei botanische Expeditionen führten Svedberg nach Grönland. Seine letzte botanische Exkursion führten ihn 1968 auf die Farör Inseln.



Im Jahre 1966 übergab Svedberg sein Herbarium dem Pflanzeninstitut in Uppsala. Dort ist es noch heute in einem ausgezeichnetem Zustand. Mit Svedbergs Zustimmung, wurde es nach seinem Tod in Svedberg Herbarium benannt. Svedberg sammelte und preßte nicht nur Pflanzen, sondern war auch ein ausgezeichneter Fotograf. Seine botanische Sammlung beinhaltet auch tausende von Pflanzenfotographien in schwarz/weiß, Farbe und auch als Stereofotos. Svedberg publizierte zehn botanische Schriften, alle in schwedischer Sprache. Sie sind am Ende der Literaturangabe extra aufgeführt (Clemedson, 1987).

Svedberg publizierte über 240 Veröffentlichungen und Monographien. Er war mehrfach Ehrendoktor, Mitglied verschiedener wissenschaftlichen Akademien und erhielt viele internationale Auszeichnungen (Nobelpreis 1926; John Ericsson

Medaille 1942; Berzelius Medaille 1944; Medal of the Franklin Institute 1949). Die Kolloid-Gesellschaft ernannte ihn 1934 zu ihrem Ehrenmitglied. Nach Svedberg ist die *Svedberg-Einheit* (S) für den Sedimentationskoeffizienten benannt.

Svedberg war viermal in seinem Leben verheiratet. 1909 heiratete er die Medizinerin Andrea Andreen (1888 - 1972), 1916 Jane Frodi, 1938 Ingrid Blomquist.

Die letzte Ehe schloß er 1948 mit Margit Hallén. Svedberg hatte insgesamt zwölf Kinder, sechs Mädchen und sechs Söhne.

Literatur

Ahlström P (1987) Svedberg as an artist. In: Rånby B (ed) Physical chemistry of colloids and macromolecules. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh: 149-151 (Proceedings of the International Symposium on Physical Chemistry of Colloids and Macromolecules to celebrate the 100th anniversary of the birth of Professor The(odor) Svedberg on 30 August 1884, a pioneer in Colloid and Macromolecular Research. Uppsala University, Sweden. held on 22-24 August 1984): 149-151

Beneke K (1995) Öl auf Wasser. In: Zur Geschichte der Grenzflächenerscheinungen - mit ausgesuchten Beispielen -. Beiträge zur Geschichte der Kolloidwissenschaften IV. Mitteilungen der Kolloidgesellschaft, Verlag Reinhard Knof, Kiel: 37-40

Beneke K (1997) Svedberg, Theodor (genannt The). In: Lagaly G, Schulz O, Zimehl R (Hrsg) Dispersionen und Emulsionen. Eine Einführung in die Kolloidik feinverteilter Stoffe einschließlich der Tonminerale. Mit einem historischen Beitrag über Kolloidwissenschaftler von Klaus Beneke. Steinkopff Verlag, Darmstadt: 535-536

Bredig G (1898) Darstellung kolloidaler Metallösungen durch elektrische Zerstäubung. Angew Chem 103: 1344-1346

Brohult S (1987) Svedberg as a scientist. In: Rånby B (ed) Physical chemistry of colloids and macromolecules. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh: 9-13 (Proceedings of the International Symposium on Physical Chemistry of Colloids and Macromolecules to celebrate the 100th anniversary of the birth of Professor The(odor) Svedberg on 30 August 1884, a pioneer in Colloid and Macromolecular Research. Uppsala University, Sweden. held on 22-24 August 1984): 9-13

Claesson S, Pedersen K O (1976) Svedberg, The (Theodor). In: Ch C Gillispie (ed) Dictionary of Scientific Biography. American Council of Learned Societies. Charles Scribner's Sons, New York 13: 158-164

Clemenson C J (1987) Svedberg as a botanist. In: Rånby B (ed) Physical chemistry of colloids and macromolecules. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh: 145-147 (Proceedings of the International Symposium on Physical Chemistry of Colloids and Macromolecules to celebrate the 100th anniversary of the birth of Professor The(odor) Svedberg on 30 August 1884, a pioneer in Colloid and Macromolecular Research. Uppsala University, Sweden. held on 22-24 August 1984): 145-147

Fischer A (1989) Svedberg, Theodor. In: Pötsch W R (Hrsg) Lexikon bedeutender Chemiker. Verlag Harri Deutsch, Thun, Frankfurt/Main: 412-413

Gralén N (1987) Svedberg as a promotor of science and technology in society. In: Rånby B (ed) Physical chemistry of colloids and macromolecules. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh: 153-154 (Proceedings of the International Symposium on Physical Chemistry of Colloids and Macromolecules to celebrate the 100th anniversary of the birth of Professor Theodor Svedberg on 30 August 1884, a pioneer in Colloid and Macromolecular Research. Uppsala University, Sweden. held on 22-24 August 1984): 153-154

Jullander I (1987) Svedberg and the polysaccharides. In: Rånby B (ed) Physical chemistry of colloids and macromolecules. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh: 29-36 (Proceedings of the International Symposium on Physical Chemistry of Colloids and Macromolecules to celebrate the 100th anniversary of the birth of Professor Theodor Svedberg on 30 August 1884, a pioneer in Colloid and Macromolecular Research. Uppsala University, Sweden. held on 22-24 August 1984): 29-36

Kerker M (1986) Historical Note. Classics and classicist of colloid and interface science. 3. The (Theodor) Svedberg. *J Coll Interf Sci* 114: 295-297

Kinell P O (1955) Theodor Svedberg. Kolloidchemiker - Molekülforscher – Atomfachmann. In: *Gestalter unserer Zeit, Band 3. Forscher und Wissenschaftler in heutigen Europa*. G. Stalling-Verlag, Oldenburg: 191-198

Kinell P O (1987) Svedberg and the synthetic polymers. In: Rånby B (ed) Physical chemistry of colloids and macromolecules. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh: 37-44 (Proceedings of the International Symposium on Physical Chemistry of Colloids and Macromolecules to celebrate the 100th anniversary of the birth of Professor Theodor Svedberg on 30 August 1884, a pioneer in Colloid and Macromolecular Research. Uppsala University, Sweden. held on 22-24 August 1984): 37-44

Lagaly G, Schulz O, Zimehl R (1997) Sedimentationsmethoden. In: *Dispersionen und Emulsionen. Eine Einführung in die Kolloidik feinverteilter Stoffe einschließlich der Tonminerale. Mit einem historischen Beitrag über Kolloidwissenschaftler von Klaus Beneke*. Steinkopff Verlag, Darmstadt: 294-318

Larsson B, Kullander S (1987) Contributions of Svedberg to nuclear and radiation research. In: Rånby B (ed) Physical chemistry of colloids and macromolecules. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh: 49-56 (Proceedings of the International Symposium on Physical Chemistry of Colloids and Macromolecules to celebrate the 100th anniversary of the birth of Professor Theodor Svedberg on 30 August 1884, a pioneer in Colloid and Macromolecular Research. Uppsala University, Sweden. held on 22-24 August 1984): 49-56

Nichols, J B (1987) The first Svedberg centrifuges. In: Rånby B (ed) Physical chemistry of colloids and macromolecules. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh: 45-48 (Proceedings of the International Symposium on Physical Chemistry of Colloids and Macromolecules to celebrate the 100th anniversary of the

birth of Professor Theodor Svedberg on 30 August 1884, a pioneer in Colloid and Macromolecular Research. Uppsala University, Sweden. held on 22-24 August 1984): 45-48

Rånby B (1987) Opening adress. In: Rånby B (ed) Physical chemistry of colloids and macromolecules. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh: 3-4 (Proceedings of the International Symposium on Physical Chemistry of Colloids and Macromolecules to celebrate the 100th anniversary of the birth of Professor Theodor Svedberg on 30 August 1884, a pioneer in Colloid and Macromolecular Research. Uppsala University, Sweden. held on 22-24 August 1984): 3-4

Pedersen K O (1987) Svedberg and the proteins. In: Rånby B (ed) Physical chemistry of colloids and macromolecules. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh: 23-27 (Proceedings of the International Symposium on Physical Chemistry of Colloids and Macromolecules to celebrate the 100th anniversary of the birth of Professor Theodor Svedberg on 30 August 1884, a pioneer in Colloid and Macromolecular Research. Uppsala University, Sweden. held on 22-24 August 1984): 23-27

Rinde H (1928) The distribution of the sizes of particles in gold sols. Dissertation, Upsala

Svedberg T (1905) Über die elektrische Darstellung einiger neuen colloidalen Metalle. Ber Dtsch Chem Ges 38: 3616-3620

Svedberg T (1906) Über die elektrische Darstellung colloidalen Lösungen. Ber Dtsch Chem Ges 39: 1705-1713

Svedberg T (1907) Zur Kenntnis der Stabilität kolloider Lösungen. Nova Acta Royal Soc Sci Uppsala (4) 2: 1-160. Akad. Buchdruckerei, Uppsala, 1907. Doktorarbeit Societas Scientiarum Upsaliensis

Svedberg T, Strömholm D (1909) Untersuchungen über die Chemie der radioaktiven Grundstoffe I. Z Anorg Chem 61: 338-346

Svedberg T, Strömholm D (1909) Untersuchungen über die Chemie der radioaktiven Grundstoffe II. Z Anorg Chem 63: 197-206

Svedberg T (1909) Die Methoden zur Herstellung kolloider Lösungen anorganischer Stoffe. Ein Hand- und Hilfsbuch für die Chemie und Industrie der Kolloide. Steinkopff-Verlag, Dresden, 1909, 512 Seiten

Svedberg T (1910 a) Die Methoden zur Messung der Brown'schen Bewegung. Z f Chem Ind Koll (Kolloid Z) 7: 1-7

Svedberg T (1910 b) Über die Bildung disperser Systeme durch Bestrahlen von Metallen mit ultra-violetten Licht und Röntgenstrahlen. Z f Chem Ind Koll (Kolloid Z) 6: 129-136

Svedberg T (1912) Die Existenz der Moleküle. Experimentelle Studien. Akademischer Verlag, Leipzig, 1912, 243 Seiten

Botanische Schriften von The Svedberg (alle in schwedisch)

- Svedberg T (1922) Ett bidrag till de statistiska metodernas användning inom växtbiologien. Svensk Botanisk Tidskrift 16: 1-8
- Svedberg T (1922) Några synpunkter. Svensk Botanisk Tidskrift 16: 197-205
- Svedberg T (1927) *Astragalus danicus* och *Botrychium simplex* funna i Bouslän. Acta Horti Gothoburgensis 3: 167-168
- Svedberg T, Svedberg I (1939) *Valeriana baltica* fridlyses på Lucerna. Bygd och Natur: 178-181
- Svedberg T (1945) Mitt roligaste växtfynd (Svar på enkät). Sveriges Natur 36: 78-84
- Svedberg T (1947) Något om vegetationen på östra Skånes sandfält. In: Hanström B, Curry-Lindahl K (Hrsg) Natur i Skåne. Bokförlaget Svensk Natur, Stockholm, 1947: 127-136
- Svedberg T (1948) *Glaucium flavum* Cr. på stora vassholmen i Fjällbacka skärgård. In: Festskrift tillägnad J. Arvid Hedvall den 18 januari 1948. Elanders boktryckeri AB, Göteborg, 1948: 553-562
- Svedberg T (1961) Några intryck från en botanisk resa till Spetsbergan. [Some impressions from a botanical journey to Spitsbergen]. Svensk Naturvetenskap 14: 186-189
- Svedberg T (1961) Om *Draba Gredinii* E. Ekman på Svalbard. Blyttia 19: 158-159
- Svedberg T (1964) Västgrönland - ett botaniskt paradys. [West Greenland - a botanical paradise] In: Festskrift tillägnad Carl Kempe 80 år 1884-1964. Almquist & Wiksell Boktryckeri AB, Uppsala, 1964: 859-872

Weitere Publikationen und Werke von The Svedberg

- Svedberg T (1906) Z Elektrochem 12: 853 - 860
- Svedberg T (1906) Z Elektrochem 12: 909 - 910
- Svedberg T (1906) Arkiv Kemi B2: 34
- Svedberg T (1910) Über die Entwicklung eines Grundproblems der Kolloidchemie. In: In: Gebenkboek aangeboden aan J. M. van Bemmelen (1830-1910). Uitgegeven bij C. de Boer jr. Te Helder (1910) 423-429
- Svedberg T, Estrup K (1911) Z f Chem Ind Koll (Kolloid Z) 9: 259
- Svedberg T (1914) Die Materie. Ein Forschungsproblem in Vergangenheit und Gegenwart. Übersetzt von Heinrich Finkelstein. Leipzig, 1914
- Svedberg, T (1915) Arbetets Dekadens. Naturvetenskapliga essayer. Stockholm, 1915
- Svedberg T, Nordlund I (1918) Fotografisk undersökning av *Codex argenteus*. Uppsala Univ Årsskr 1 Math Naturv: 1 - 26
- Svedberg T (1921) The Formation of Colloids. Churchill, London, 1921, 127 Seiten. Serie: Monographs on the physics and chemistry of colloids

- Svedberg T, Andersson H (1921) On the relation between sensitiveness and size of grain in photographic emulsions. *Photogr J* 61: 325 - 332
- Svedberg T (1923) Die Dekadenz der Arbeit ; Nach d. 2. Aufl. übersetzt von B. Finkelstein. Leipzig, 1923. Einheitssachtitel: Arbetets Dekadens
- Svedberg T, Rinde H (1923) *J Amer Chem Soc* 45: 943
- Svedberg T, Nichols J B (1923) Determination of size and distribution of size of particle by centrifugal methods. *J Amer Chem Soc* 45: 2910 - 2917
- Svedberg T, Rinde H (1924) The Ultra-Centrifuge, a new instrument for the determination of size particle in amicroscopic colloids. *J Amer Chem Soc* 46: 2677 - 2693
- Svedberg T (1924) *Colloid Chemistry*. ACS Monography 16. Chemical Catalog Co, New York, 1924
- Svedberg T (1925) *Kolloid-Chemie*. Übers. von Heinrich Finkelstein. Vom Verf. durchges. u. erw. Aufl. Akad. Verlagsges, Leipzig, 1925, 261 Seiten [Orig. 1924]
- Svedberg T (1925) *Zsigmondy Festschrift, Ergänzungsband Kolloid Z zu Band 36*: 53
- Svedberg T (1926) *Z Physikal Chem* 121: 65
- Svedberg T, Nicols J B (1926) *J Amer Chem Soc* 48: 3081
- Svedberg T, Fähræus R (1926) A new method for the determination of the molecular weight of the proteins. *J Amer Chem Soc* 48: 430 - 438
- Tiselius A, Svedberg T (1926) A new method for determination of the mobility of proteins. *J Amer Chem Soc* 48: 2272 - 2278
- Svedberg T (1927) Nobelföredrag hållet i Stockholm den 19 maj 1927. Prix Nobel 1926, Stockholm, 1 - 16
- Svedberg T (1927) Nobelvortrag gehalten zu Stockholm am 19. Mai 1927. *Kolloidchem Beihefte* 26: 230 - 244
- Svedberg T, Lysholm A (1927) *Nova Acta Royal Soc Upsala*
- Svedberg T, Nichols J B (1927) *J Amer Chem Soc* 49: 2920
- Svedberg T, Chirnoaga E (1928) *J Amer chem Soc* 50: 1399
- Abderhalden E (1920) *Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden*. Hrsg: Emil Abderhalden. Urban & Schwarzenberg, 1920 Anmerkung: [Früher u.d.T.:] *Handbuch der biochemischen Arbeitsmethoden jetzt*:
- Bachmann W (1929) Band 3. *Methoden der Kolloidforschung*. Hrsg. Wilhelm Bachman unter der Mitarbeit von Raphael Ed. Liesegang; Alfred Lottermoser; Johann Matula; Hans Handovsky; Heinrich Bechhold; Hermann Thoms; Ernst Bloch; Andor Fodor; Friedrich Vincenz von Hahn; Rassa Riwlín; Mona Spiegel; Arne Tiselius; Theodor Svedberg; Rudolf Köhler; Marie Wreschner; Reinhold Fürth. 1929
- Svedberg T (1929) Mass and size of protein molecules. *Nature* 123: 871
- Svedberg T (1934) Sedimentationsmessungen mit der Ultrazentrifuge. *Naturwiss* 22: 225-231
- Svedberg T (1939) A discussion on the protein molecule. *Proc Royal Soc A* 170: 40 - 56

Svedberg T, Brohult S (1939) Slitting of protein molecules by ultraviolet light and alpha-rays. *Nature* 143: 938

Svedberg T, Pedersen K O (1940) *The Ultracentrifuge*. Clarendon Press, Oxford, 1940, 478 Seiten. Serie: The international Series of monographs on physics

Svedberg T, Pedersen K O (1940) *Die Ultrazentrifuge*. Theorie, Konstruktion und Ergebnisse ; mit 154 Abb. u. zahlr. Tab. 1940, 433 Seiten

Gralen N, Svedberg T (1941) *Naturwiss* 29: 270

Svedberg T, Kinell P O (1946) *Undersökningar över syntetisk kautschuk*. Uppsala

Svedberg T (1947) *The aims and means of research*. *IVA* 18: 127 - 133

