



# LUND UNIVERSITY

## Janne Rydberg och hans formel

Om hur Fysicum växte från ett rum i Kungshuset till dagens storinstitution.

Forkman, Bengt; Litzén, Ulf; Holmin Verdozzi, Kristina

*Published in:*

Fysik i Lund i tid och rum

2016

*Document Version:*

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Forkman, B., Litzén, U., & Holmin Verdozzi, K. (Ed.) (2016). Janne Rydberg och hans formel: Om hur Fysicum växte från ett rum i Kungshuset till dagens storinstitution. In K. Holmin Verdozzi, & B. Forkman (Eds.), *Fysik i Lund i tid och rum* Gidlunds förlag i samarbete med Fysiska institutionen, Lunds universitet.

*Total number of authors:*

3

*Creative Commons License:*

CC BY

### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00



## Janne Rydberg och hans formel

Om hur ett siffersnille från  
Halmstad blev världsberömd.

# Mannen bakom formeln



Janne Rydberg 1854 - 1919



Johannes Robert Rydberg, mera känd som Janne Rydberg föddes i Halmstad år 1854. Som nittonåring flyttade han till Lund och började läsa matematik vid Lunds universitet.



# Det periodiska systemet

Gr. Nr.	Gruppe I. R <sup>0</sup>	Gruppe II. R <sup>0</sup>	Gruppe III. R <sup>0</sup>	Gruppe IV. R <sup>0</sup>	Gruppe V. R <sup>0</sup>	Gruppe VI. R <sup>0</sup>	Gruppe VII. R <sup>0</sup>	Gruppe VIII. R <sup>0</sup>
1	H=1							
2	Li=7	Be=9,4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24	Al=27,3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
4	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63.
5	(Ca=63)	Zn=65	—=69	—=72	As=75	So=78	Br=80	
6	Rb=85	Sr=87	?Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108.
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sa=118	Sb=122	Te=125	J=127	
8	Cs=133	Ba=137	?Di=138	?Ce=140	—	—	—	—
9	(—)	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	?Er=178	?La=180	Ta=182	W=184	—	Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199.
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	—	—	—
12	—	—	—	Th=231	—	U=240	—	—

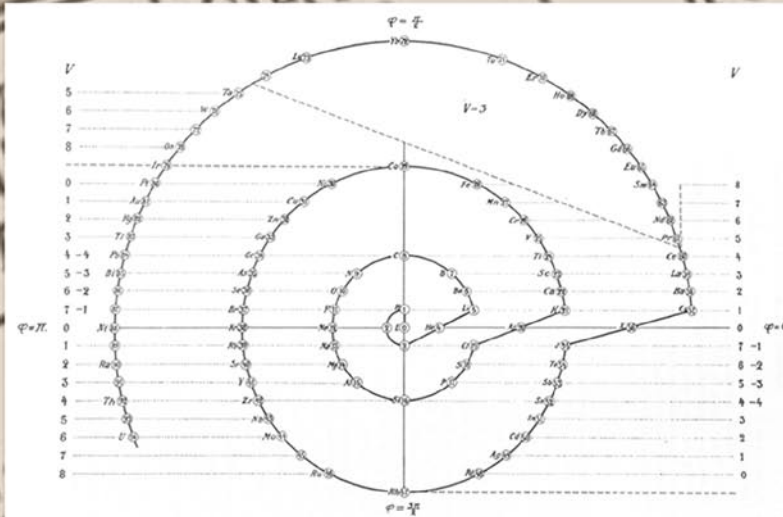


Dimitrij Ivanovitj Mendelejev 1834 - 1907

Redan under de första åren som student greps Rydberg av intresse för grundämnenas periodiska system som, under 1860-talet, publicerats av den ryske fysikprofessorn Dimitrij Ivanovitj Mendelejev.

I detta system var alla då kända grundämnen, 63 stycken, ordnade efter ökande atomvikt, och ämnen med liknande kemiska egenskaper var placerade under varandra. Luckor i systemet visade att alla grundämnen inte var upptäckta ännu.

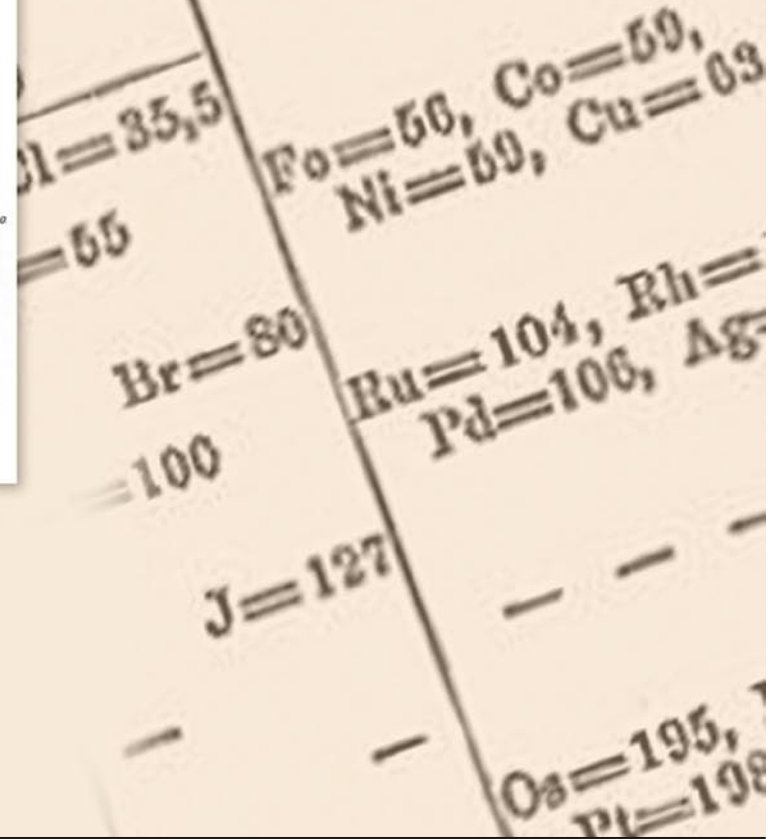
## Varför är systemet periodiskt?



I ett av sina försök att hitta en matematisk beskrivning placerade Rydberg grundämnena i en spiral.

Rydbergs intresse för matematik och siffror gjorde att han ville finna en matematisk beskrivning av den periodiska variationen hos grundämnenas egenskaper.

Han anade att här fanns ett samband med en annan av fysikens olösta gåtor, grundämnenas spektrallinjer. Där hade man också observerat ännu oförklarade regelbundenheter.





## Spektrallinjer

På 1660-talet visade Newton att de färger man ser när solljus passerar genom ett prisma finns i solljuset själv – de uppstår inte i glaset.

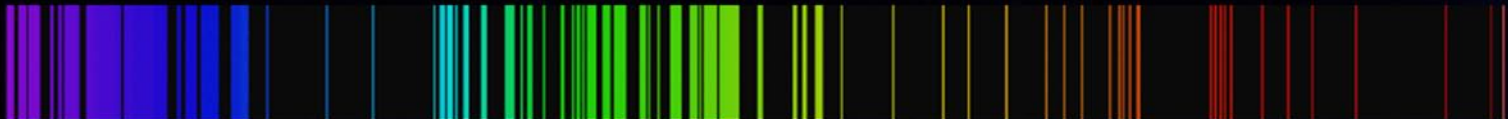
Omkring 1800 visade Thomas Young att ljus uppför sig som en vågrörelse. Han kunde mäta våglängden för olika färger.



1814 undersökte Fraunhofer solljuset. Han placerade en smal spalt framför prismet, och använde en kikare för att undersöka ljuset från spalten. Han såg då smala, mörka linjer i det kontinuerliga spektret.



När han i stället placerade en gaslåga framför spalten såg han smala lysande linjer, en del av dem på samma platser som de mörka linjerna i solspektrum.



## Får oss att inte sova

På 1850-talet upptäckte Bunsen och Kirchhoff att spektrallinjerna är unika för varje grundämne. I ett brev till en kollega skriver Bunsen:

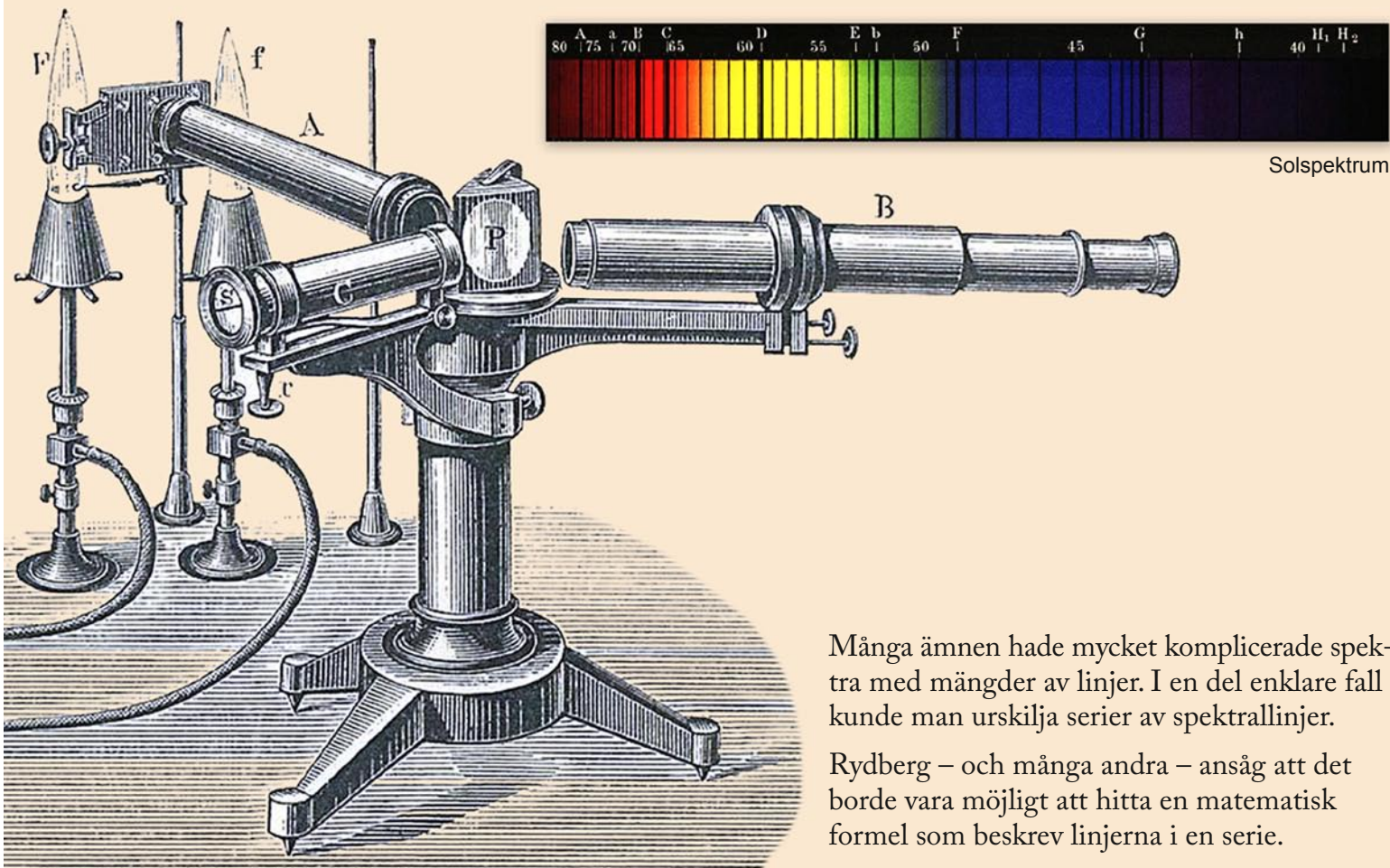
*För närvarande är Kirchhoff och jag engagerade i en speciell undersökning som inte får oss att sova. Kirchhoff har gjort en helt oväntad upptäckt och funnit förklaringen till de mörka linjerna som finns i solspektrum.*

Upptäckten möjliggjorde bestämning av solens och stjärnornas sammansättning och även upptäckten av nya grundämnen.



Robert Wilhelm Bunsen 1811 - 1899  
Gustav Robert Kirchhoff 1824 - 1887

# Grundämnenas spektrallinjer

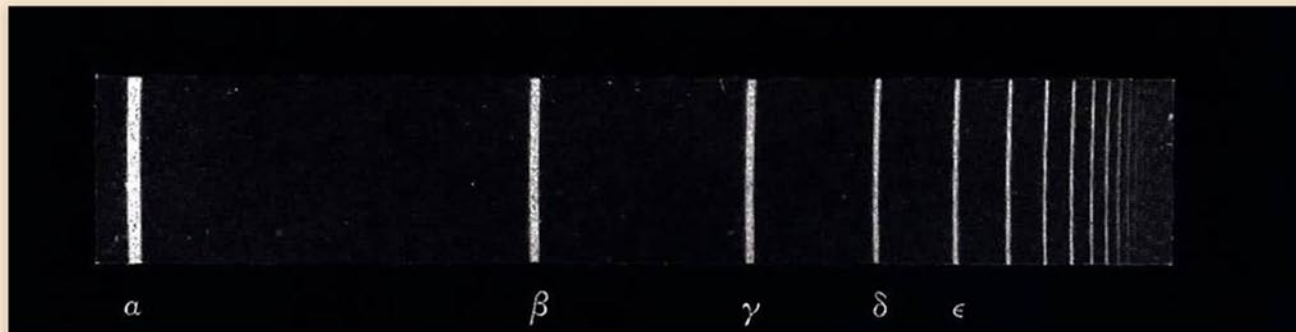


Många ämnen hade mycket komplicerade spektra med mängder av linjer. I en del enklare fall kunde man urskilja serier av spektrallinjer.

Rydberg – och många andra – ansåg att det borde vara möjligt att hitta en matematisk formel som beskrev linjerna i en serie.



# Spektralserier



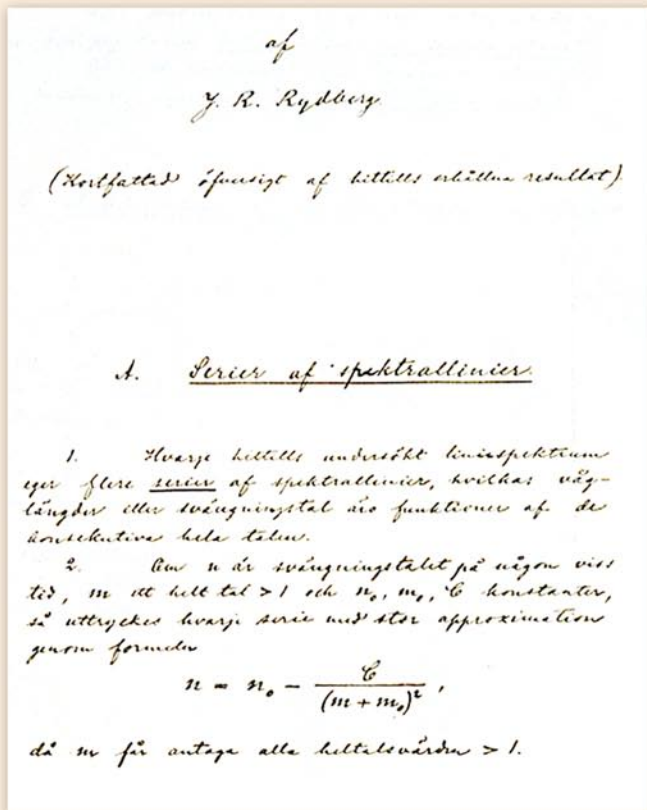
Den enklaste serien av spektrallinjer hade man observerat i väte.

Rydbergs intresse var ju att undersöka periodiska egenskaper hos grundämnena. Han valde därför att samtidigt studera spektra från flera ämnen som hörde till samma grupp i periodiska systemet, till exempel alkalimetallerna Li, Na, K o.s.v. Här är strukturen mer komplicerad än i väte, och man kunde urskilja flera serier i varje ämne.

Efter omfattande försök med olika matematiska funktioner kunde han 1887 presentera sina första resultat i en rapport till Vetenskapsakademien.

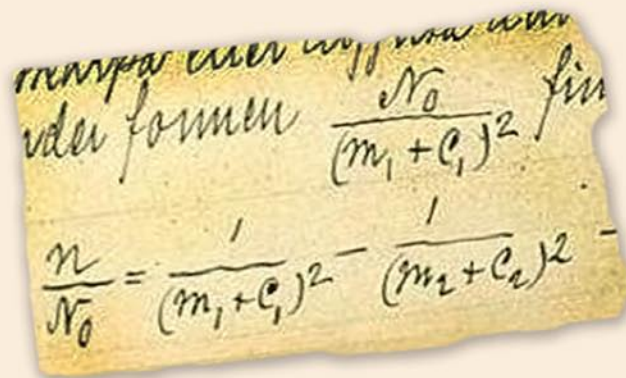
Element	Gruppen I. — R <sup>0</sup>	Gruppen II. — R <sup>0</sup>	Gruppen III. — R <sup>0</sup>	Gruppen IV. R <sup>1</sup> R <sup>0</sup>	Gruppen V. R <sup>1</sup> R <sup>0</sup>	Gruppen VI. R <sup>1</sup> R <sup>0</sup>	Gruppen VII. R <sup>1</sup> R <sup>0</sup>	Gruppen VIII. — R <sup>0</sup>
1	H=1							
2	Li=7	Be=9,4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24	Al=27,3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
4	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63.
5	(Cu=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80	
6	Rb=85	Sr=87	?Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108.
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sn=118	Sb=122	Te=125	J=127	
8	Cs=133	Ba=137	?Di=138	?Co=140	—	—	—	—
9	(—)	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	?Er=178	?La=180	Ta=182	W=184	—	Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199.
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	—	—	—
12	—	—	—	Th=231	—	U=240	—	—

# Serieformeln



Rydbergs rapport 1887 till Vetenskapsakademin.

I Lund beskrev Rydberg sitt arbete vid ett sammanträde i Matematisk-Fysiska Föreningen 1888.

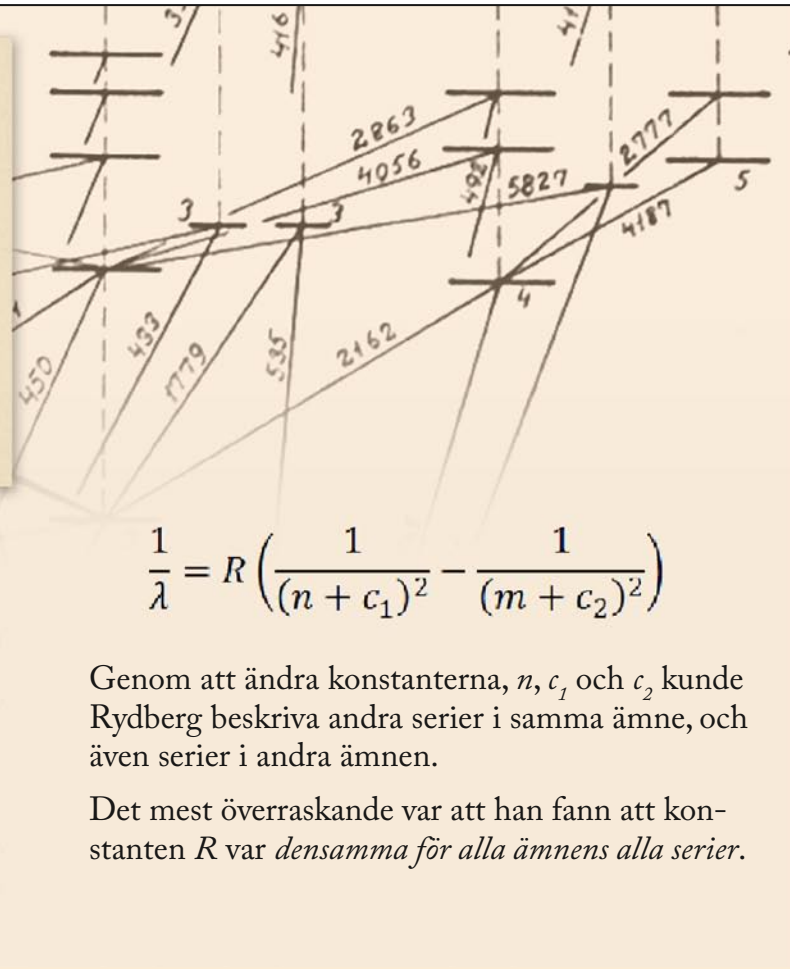
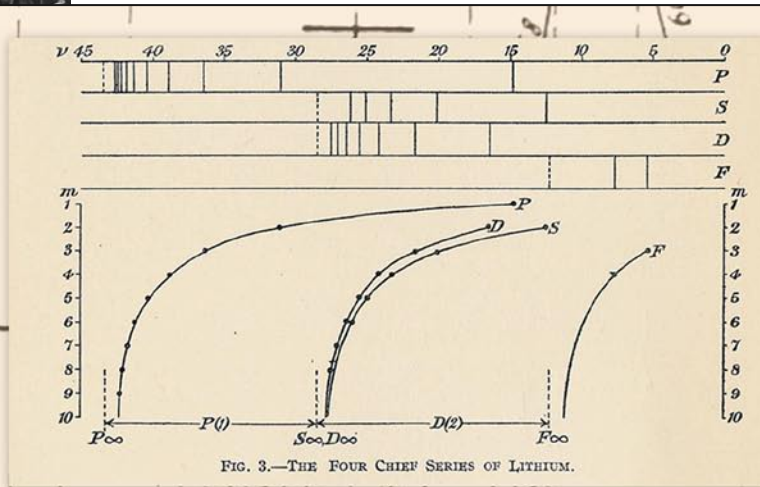


Idag skrivs formeln så här:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{(n + c_1)^2} - \frac{1}{(m + c_2)^2} \right)$$

$R, n, c_1$  och  $c_2$  är konstanter i en linjeserie.  
 $n$  och  $m$  är heltal, där  $m$  större än  $n$ .  
Låter vi  $m$  växa stegvis beskriver formeln  
våglängden  $\lambda$  hos linjerna i en serie.

# Rydbergskonstanter



$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{(n + c_1)^2} - \frac{1}{(m + c_2)^2} \right)$$

Genom att ändra konstanterna,  $n$ ,  $c_1$  och  $c_2$  kunde Rydberg beskriva andra serier i samma ämne, och även serier i andra ämnen.

Det mest överraskande var att han fann att konstanten  $R$  var densamma för alla ämnens alla serier.



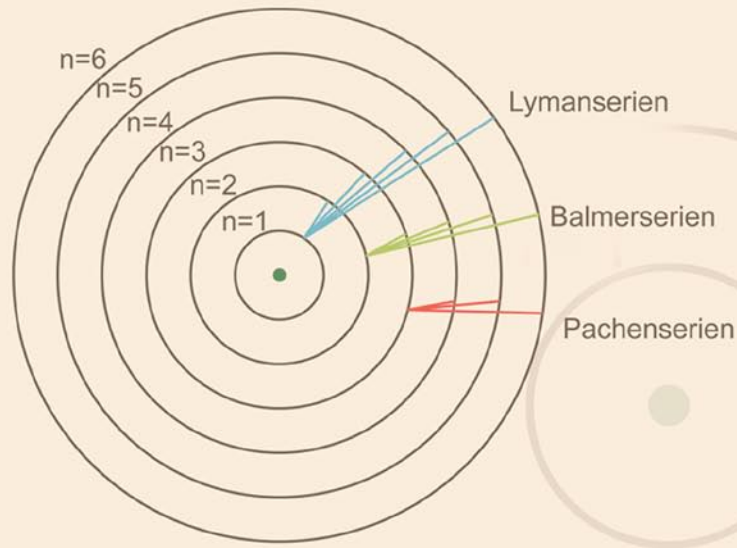
# Bohrs atommodell

1913 lyckades Niels Bohr, genom att införa två enkla *postulat* (teoretiska grundantaganden), härleda en teoretisk formel för vätespektrum, som hade samma form som Rydbergs formel (med konstanterna  $c_1 = c_2 = 0$ ).

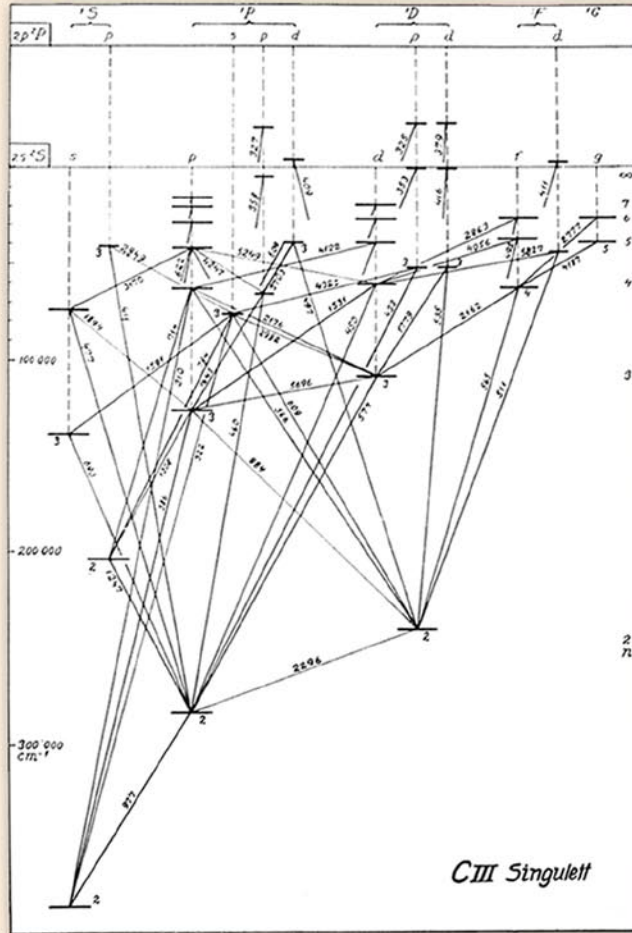
Teorin gav också ett värde på Rydbergs konstant  $R$  som stämde väl överens med Rydbergs experimentellt bestämda konstant.



Niels Bohr 1885 - 1962



# Rydberg och kvantfysiken



Upptäckten av serieformeln för enkla spektra visade att  $1/\lambda = \sigma$  är den viktiga storheten i spektra. Kvantfysiken visade sedan att  $\sigma$  är proportionell mot fotonenergin.

$$E = h\nu = hc\sigma$$

Rydbergs formel visar att en spektrallinje kan skrivas som en skillnad mellan två termer, kallas *Rydberg-Ritz kombinationsprincip*. Kvantfysiken visade sedan att termerna är atomens energinivåer.

$$R_{\infty} = \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^3 c}$$

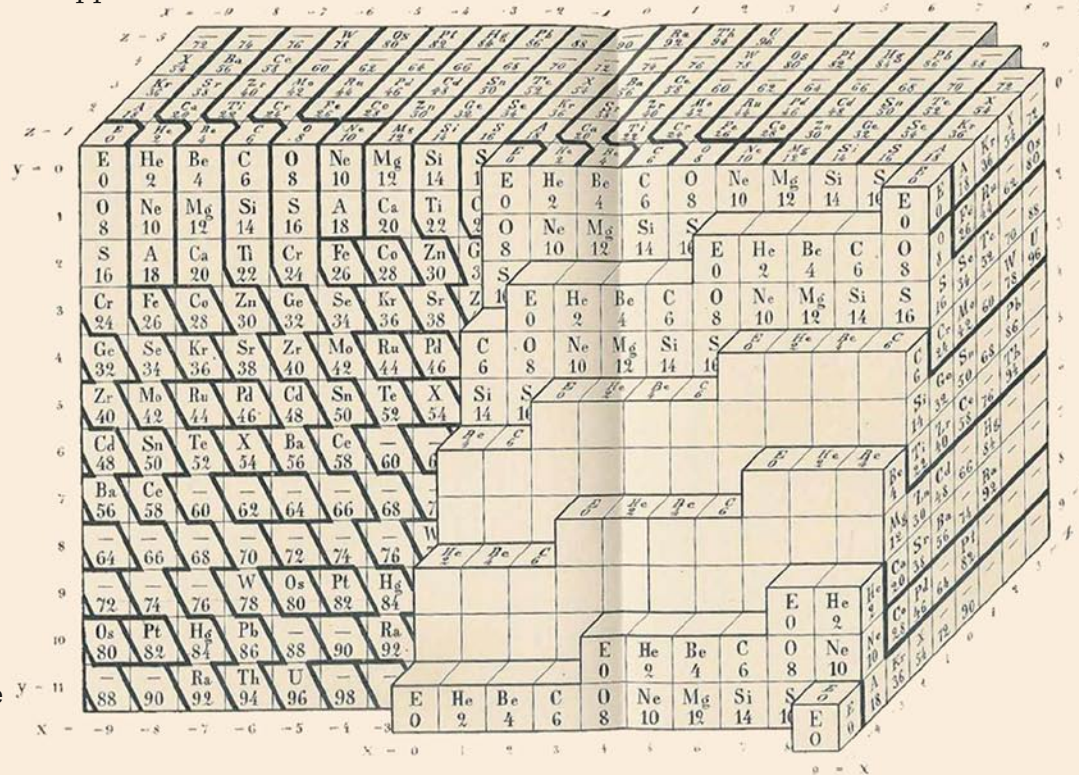
Det vi nu kallar *Rydbergskonstanten* visade sig vara en kombination av andra naturkonstanter. Eftersom den kan mätas spektroskopiskt med mycket stor noggrannhet är den fundamental för bestämningen av andra naturkonstanter.

# Åter till periodiska systemet

Periodiska systemet var hela tiden Rydbergs huvudintresse. Han fortsatte att pröva olika metoder för att förklara de periodiska regelbundenheterna, och försökte att ställa upp systemet på olika sätt.

Den slutliga förklaringen till periodiciteten fann man först genom Wolfgang Paulis postulat; att två elektroner i ett system inte kan ha alla sina kvanttal lika.

Postulatet kallas *uteslutningsprincipen* och lades fram 1925, sex år efter Rydbergs bortgång.



Ett av Rydbergs försök att förklara de periodiska regelbundenheterna.

## Mitt livsmål



Vid 47 års ålder och nyligen utnämnd till extra ordinarie (e.o.) professor skriver Rydberg i sin dagbok:

*Det synes mig uppenbart, då jag tänker över de vägar varpå jag blivit ledd fram till det arbete, som skall bliva mitt livsmål, att alla svårigheter och motgångar varit lika nödvändiga för att möjliggöra arbetet, som de framgångar jag haft, eller snarare mera nödvändiga ...*

*... Den som möter hinder på den väg han först inslagit, och därigenom ledes in på andra banor, som är möjliga att vandra, har en helt annan säker väg än den, för vilken hela fältet ligger fritt och öppet, så att han icke vet åt vad håll han må gå.*



## Rydbergskonferensen

För att fira 100-årsminnet av Rydbergs födelse hölls 1954 en konferens i Lund. Bland deltagarna fanns ett antal av världens ledande atomfysiker, bland annat sju nobelpristagare – tre som redan fått priset och fyra som skulle belönas senare.

Niels Bohr höll ett föredrag med titeln:  
*Rydberg's discovery of spectral laws.*

Wolfgang Pauli bidrog med:  
*Rydberg and the periodic system of the elements.*

Niels Bohr (1922)  
Wolfgang Pauli (1945)  
Frits Zernike (1953)  
Alfred Kastler (1966)  
Gerhard Herzberg (1971) (priset i kemi)  
Aage Bohr (1975)  
Ben Mottelson (1975)

