

Läs boken! t.ex. svartkroppsstrålning 4-5
 behöver veta $\frac{N_e}{N_g} = e^{-\Delta E/kT}$
 - to det för givet, som Feynman gör.
 vi kommer att återkomma till stående
 vågor snart, så var inte orolig om
 du inte förstår allt - läs ändå!

Förra gången: "rent tillstånd"

$$\begin{array}{|c|} \hline + \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline 0 \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline 1 \\ \hline \end{array} = \begin{Bmatrix} + \\ 0 \\ -1 \end{Bmatrix}, \quad \begin{Bmatrix} + \\ 0 \\ -1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} + \\ 0 \\ -1 \end{Bmatrix}$$

skrivs $\langle -S | -S \rangle = 1$

(Historia: googla "Stern Gerlach
 Physics Today")

9 möjliga kombinationer
 om vi alltid töcker 2

= 0 om samma
 = 1 om olika

$$\langle j | i \rangle = \delta_{ji}$$

Mer systematiskt:

$$\begin{Bmatrix} + \\ 0 \\ -1 \end{Bmatrix}_S \begin{Bmatrix} + \\ 0 \\ -1 \end{Bmatrix}_T \begin{Bmatrix} + \\ 0 \\ -1 \end{Bmatrix}_S$$

Feynman skriver ibland S' för att
 skilja dem åt, det gör inte vi

$$= \langle +S | 0T \rangle \langle 0T | +S \rangle$$

betecknade $|\langle 0T | +S \rangle|^2 = \alpha$

$$\begin{Bmatrix} + \\ 0 \\ -1 \end{Bmatrix}_S \begin{Bmatrix} + \\ 0 \\ -1 \end{Bmatrix}_T \begin{Bmatrix} + \\ 0 \\ -1 \end{Bmatrix}_S$$

$$|\langle +S | 0T \rangle|^2 = \beta$$

$$\Rightarrow N_{\text{slut}} = \beta \alpha N$$

$$= \langle +S | +T \rangle \langle +T | +S \rangle + \langle +S | 0T \rangle \langle 0T | +S \rangle$$

$$+ \langle +S | -T \rangle \langle -T | +S \rangle = 1$$

om vi har
 normerat rätt

$$= 100\%$$

$$N_{\text{slut}} = N$$

①

$$\begin{Bmatrix} + \\ 0 \\ - \\ S \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} + \\ 0 \\ - \\ + \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} + \\ 0 \\ - \\ S \end{Bmatrix}$$

$$N_{slut} = \delta \alpha N$$

$$= \langle OS | OT \rangle \langle OT | +S \rangle$$

$$|\langle OT | +S \rangle|^2 = \alpha \quad (\text{se ovan})$$

$$|\langle OS | OT \rangle|^2 = \delta$$

$$\begin{Bmatrix} + \\ 0 \\ - \\ S \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} + \\ 0 \\ - \\ + \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} + \\ 0 \\ - \\ S \end{Bmatrix}$$

$$= \langle OS | +T \rangle \langle +T | +S \rangle + \langle OS | OT \rangle \langle OT | +S \rangle + \langle OS | -T \rangle \langle -T | +S \rangle = 0$$

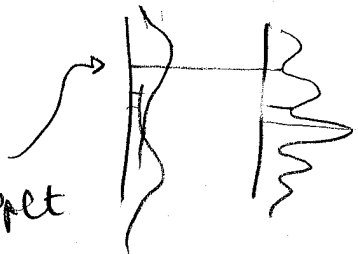
↑
Inte så konstigt om talen är komplexa
eller ens icke-positiva: jfr

$$3 + (-3) = 0$$

$$|3|^2 + |-3|^2 = 9 + 9 = 18$$

Här: interferens! jfr. dubbelspalt
kan vara destruktiv.

mindre med
ett till hål öppet



Allmän regel: "komplett bas"

$$\begin{Bmatrix} + \\ 0 \\ - \\ S \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} + \\ 0 \\ - \\ + \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} + \\ 0 \\ - \\ S \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} + \\ 0 \\ - \\ S \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} + \\ 0 \\ - \\ S \end{Bmatrix}$$

$$\sum_i \langle OS | i \rangle \langle i | +S \rangle = \langle OS | +S \rangle$$

→
 $i = -T, OT, +T$

Fråga: om vi vet $\langle +T | +S \rangle$, vad är $\langle +S | +T \rangle$?

Betrakta $\begin{Bmatrix} + \\ 0 \\ -1 \end{Bmatrix}_S \quad \begin{Bmatrix} + \\ 0 \\ -1 \end{Bmatrix}_T$

(föret med $\langle x | \dots | y \rangle$,
 $\langle s | \dots | x \rangle$ ofyraktiskt,
 men här helt ok)

$$|\langle +T | +S \rangle|^2 + |\langle 0T | +S \rangle|^2 + |\langle -T | +S \rangle|^2 = 1$$

dvs.

$$(*) \quad \langle +T | +S \rangle \langle +T | +S \rangle^* + \langle 0T | +S \rangle \langle 0T | +S \rangle^* + \langle -T | +S \rangle \langle -T | +S \rangle^* = 1$$

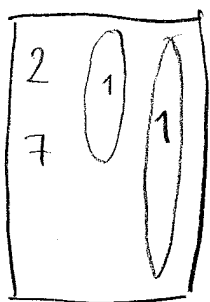
men vi har också "allmänna regeln":

$$\langle +S | +T \rangle \langle +T | +S \rangle + \langle +S | 0T \rangle \langle 0T | +S \rangle + \langle +S | -T \rangle \langle -T | +S \rangle = 1$$

$$\Rightarrow \text{+ex. } \langle +T | +S \rangle^* = \langle +S | +T \rangle$$

Regel: byt ordning $\Rightarrow$ komplexkonjugera.

Konceptfråga 7: vad betyder (*)



- A) det finns en "bevaringslag" (som för energi) för sannolikhet
 B) man "tappar inte bort" partiklar
 C) har man en komplett bas har man ingen interferens

D) de enskilda partiklarna kan bara uppfattas som vågor
 Svar: A & B

Hur rotter man bas tillstånd?

Detaljer: kap. 6. Vi hoppar över det.

Kan vi tänka på $|+s\rangle, |0s\rangle, |-s\rangle$
som komponenter av en vektor, kalla den $\vec{S}$?

Tag ett allmänt tillstånd $|\phi\rangle$.

Om basen är komplett (jfr. 3 basvektorer i 3dim:
får inte vara parallella!)

kan vi utveckla $|\phi\rangle$ i $|i\rangle$:

$$|\phi\rangle = \sum_i C_i |i\rangle = \sum_i |i\rangle C_i \quad (\Rightarrow \langle j|\phi\rangle = \sum_i \delta_{ij} C_i = C_j)$$

"tillståndets komponenter" $\downarrow$
"användbart senare"

en annan:

$$|\chi\rangle = \sum_i |i\rangle D_i \quad \langle j|\chi\rangle = D_j$$

"Skalarprodukt" — inte i rummet, i "Hilbertrummet!"
(tex. $|\chi\rangle = \infty$ många)

vet

$$\langle \chi | \phi \rangle = \sum_i \langle \chi | i \rangle \langle i | \phi \rangle \quad \text{"ta bort } |\phi\rangle$$

$$\text{så } \langle \chi | = \sum_i \underbrace{\langle \chi | i \rangle \langle i |}_{= \langle i | \chi \rangle^*} = \sum_i D_i^* \langle i |$$

Apparat A:

$$\langle \phi_2 | A | \phi_1 \rangle = \sum_{i,j} \langle \phi_2 | i \rangle \underbrace{\langle i | A | j \rangle}_{\text{Matrix } A_{ij}} \langle j | \phi_1 \rangle$$

Matrisen karakteriserar
bas tillstånden

Återkommer till S-G
(se "Extra" på baksidan!) (4)

Tidsutveckling

Apparat U = tidsutveckling = "vånta" ! $U(t_2, t_1)$

$$|\phi\rangle = \sum_i |i\rangle c_i(t)$$

Feynman s. 8-8 till 8.9

$$i\hbar \frac{dC_i(t)}{dt} = \sum_j H_{ij}(t) C_j(t)$$

Hamiltonmatrisen
"energimatrisen"

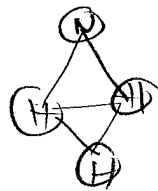
$$U_{ij}(t + \Delta t, t) = \delta_{ij} - \frac{i}{\hbar} H_{ij} \Delta t$$

Antag $H_{ij}(t) = H_{ij}$
(konstant)

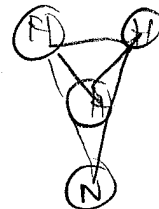
$\Delta t \rightarrow 0 \Rightarrow$ inget händer

Börja med 2-tillstånds-system

Ex. Ammoniak
("pyramid")



$|1\rangle$



$|2\rangle$

$$|\phi\rangle = |1\rangle C_1(t) + |2\rangle C_2(t)$$

studera tidsberoende hos $C_1(t)$, $C_2(t)$

