



LU OPEN MINDED

Fizikas paradigmu spēks un bezspēcība

Vjačeslavs Kaščejevs
asociētais profesors, Ph.D.

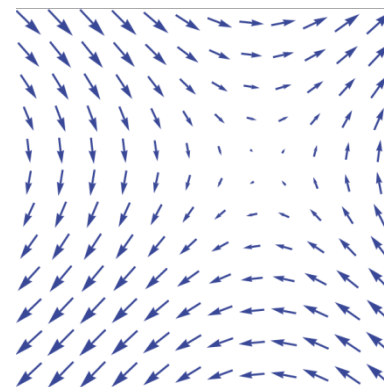
5. lekcija



**LATVIJAS
UNIVERSITĀTE**
ANNO 1919

Kas ir lauks?

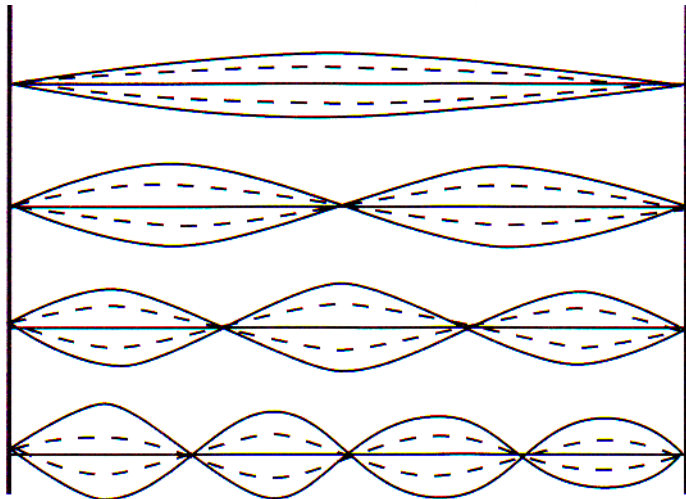
- ▶ Lielums, kuram katrā telpas punktā ir sava vērtība.
- ▶ Piemērs: kviešu lauks $K(x,y,t)$
 - graudu skaits uz kvadrātmetru zemes pleķī ar koordinātēm x un y gadā t
- ▶ Klasiskais elektromagnētiskais lauks
 - Katrā telpas punktā ir “iedēstīts” savs elektriskā lauka vektors!
 - Fizikālā lauka stāvokļa precīzai uzdošanai vajadzīgs bezgalīgi liels skaitļu daudzums
- ▶ Matemātiski ekvivalents bezgalīgi lielai abstraktu “punktveida daļiņu” (modu) kopai



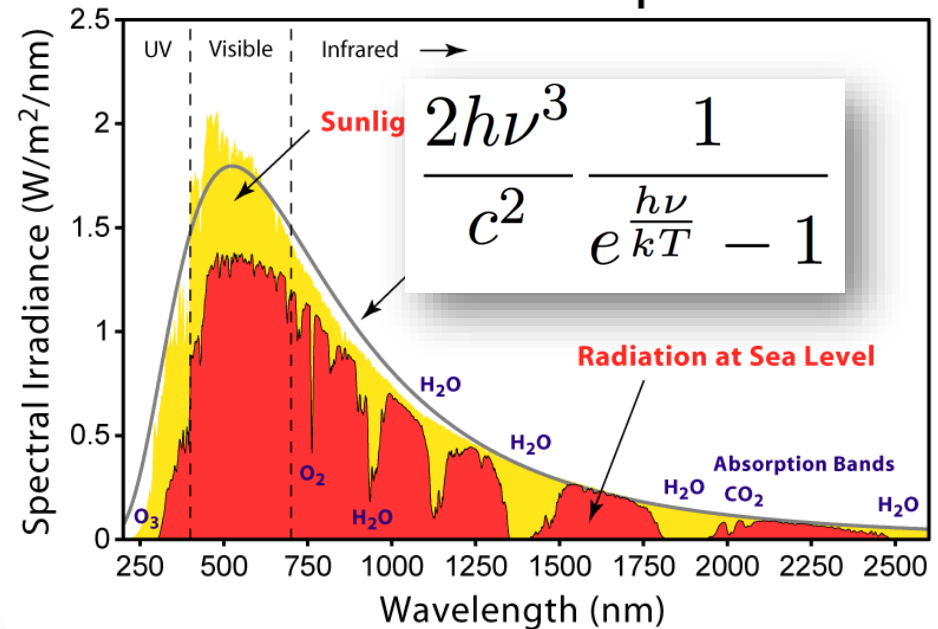
Piektās lekcijas plāns

- ▶ “Kvanti” šīs lekcijas kontekstā ir matērijas uzbūves vissmalkākais līmenis
- ▶ Kvantu paradigmas pamatelementi
 - Dalījums: kvantu stāvoklis un izmērāmi lielumi
 - Tilts pāri dalījumam: mērījuma iznākumu varbūtības
 - Nenoteiktības princips
 - Kvantu lauks jeb vakuuma mikroskopiskais apraksts

Planka starojuma likums



Solar Radiation Spectrum

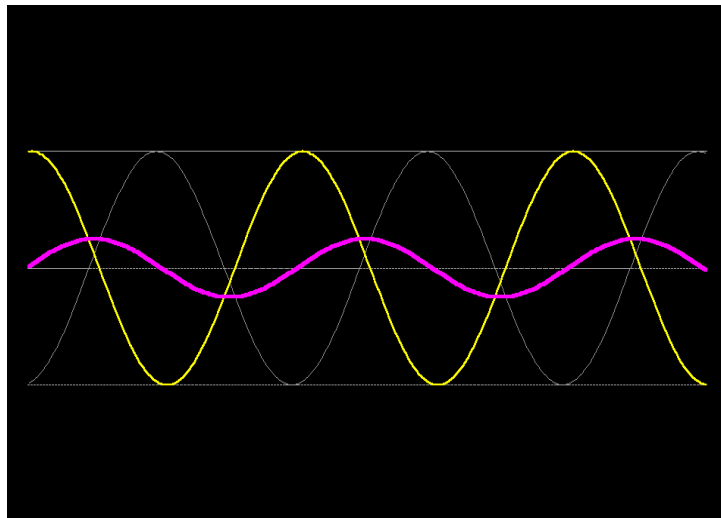


$$E_\nu = h\nu \times (1, 2, 3, \dots)$$

Avots: <http://en.wikipedia.org/wiki/Sunlight>

Kādi ir kvantu dinamikas likumi?

- ▶ Planka formula deva pareizu atbildi statistiskās fizikas līmenī, bet kāda ir kvantu dinamika?



$$E_\nu = h\nu \times (1, 2, 3, \dots)$$



$$m \frac{d^2 A(t)}{dt^2} = k A(t)$$

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

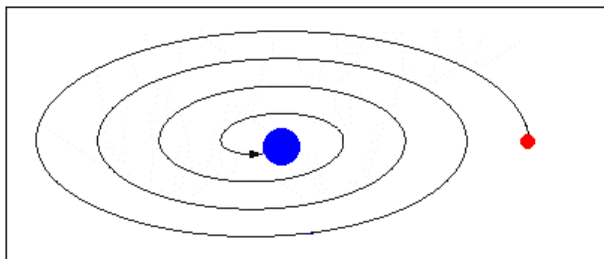


Kvantu paradigmas kopsavilkums

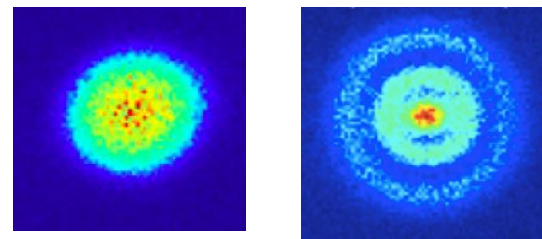
- ▶ **Izolētas** kvantu kopas uzvedība ir precīzi aprakstāma
 - Seko “tagadnes diktāta” paradigmai
 - Stāvokli pilnībā apraksta noteikta skaitļu kopa (“kvantu informācija” jeb “stāvokļa vektors” jeb “viļņu funkcija”)
 - Stāvokļa attīstību laikā nosaka **Šrēdingera vienādojums**
- ▶ **Izmērāmi** (reģistrējami) **lielumi**, kurus varam empīriski piekārtot kvantu sistēmai, atspoguļo **tikai daļu** no tās informācijas, kas nosaka stāvokļa attīstību (**Heizenberga nenoteiktība**)
- ▶ Mērījuma process (mijiedarbība ar citām matērijas daļām) lauž izolētību un tādēļ izjauc kvantu stāvokli

Jautājumi, kas bieži jauc galvu

- ▶ Daži vēsturiski svarīgi jautājumi biežāk traucē nekā palīdz saprast kvantu fiziku
- ▶ Kāpēc elektrons kustībā ap kodolu neizstaro elektromagnētiskos viļņus?
 - Staro gan, līdz zaudē visu enerģiju.
Kvantu “nekustīgais stāvoklis” ir citādāks nekā (nepamatoti piemērots) klasiskais miers



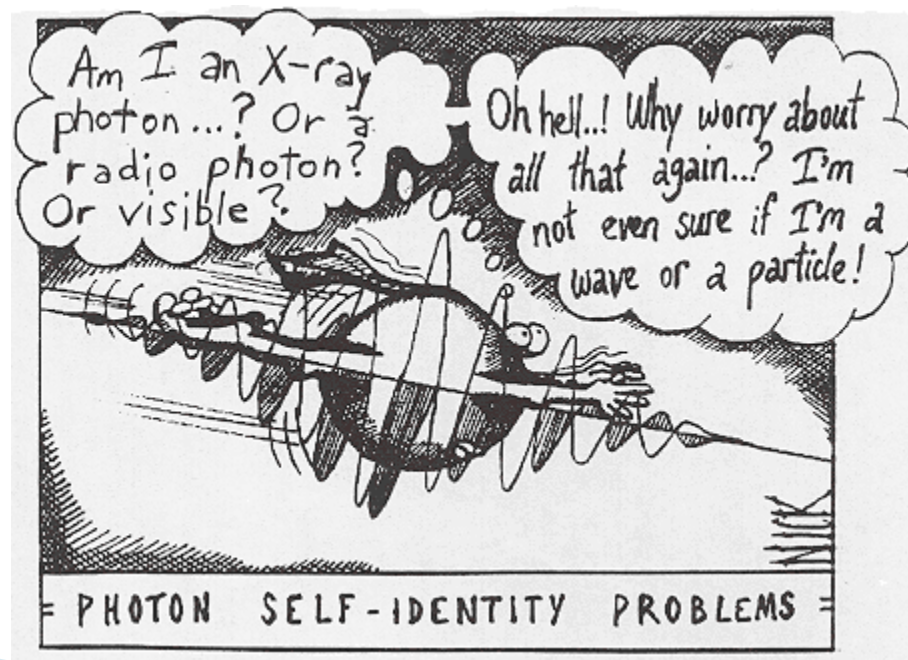
The electron should fall on the nucleus.



Elektronu mākoņu attēls ūdeņraža atomā
<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.110.213001>

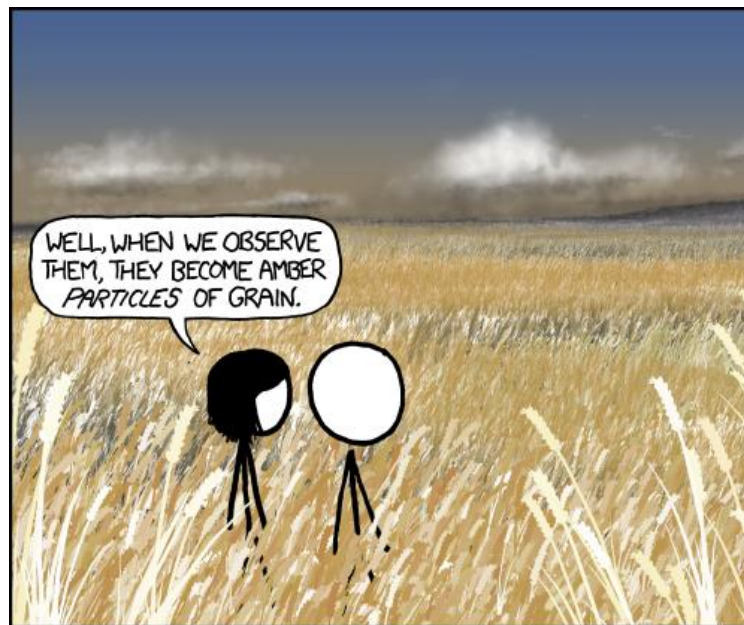
Jautājumi, kas bieži jauc galvu

- ▶ Kā kvantu daļiņa var vienlaicīgi būt gan daļiņa, gan vilnis?
 - Jautājums ir mēģinājums nepiemērotus intuitīvus priekšstatus “importēt” kvantu fizikā



Jautājumi, kas bieži jauc galvu

- ▶ Kā novērotājs izsauc viļņu funkcijas sabrukumu?
 - “Novērtoājs” ir fizikāla mijiedarbība ārpus ietvara, kurā minētā viļņu funkcija ir pielietojama



Kvantu paradigmas kopsavilkums

- ▶ Kvantu sistēmās stāvokļa attīstība
 - Seko “tagadnes diktāta” paradigmai
 - Stāvokli pilnībā apraksta noteikta skaitļu kopa (“kvantu informācija” jeb “stāvokļa vektors” jeb “viļņu funkcija”)
 - Stāvokļa attīstību laikā nosaka **Šrēdingera vienādojums**

Kvantu fizikas matemātiskā puse

- ▶ Kvantu stāvokļa vektors “dzīvo” abstraktā telpā ar (ļoti) daudzām dimensijām

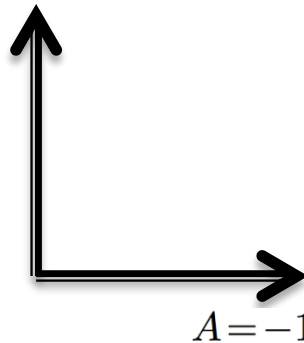
$$|\Psi\rangle = \begin{pmatrix} 0.213 \\ 0.12 + 0.3i \\ 0.005 \\ \dots \end{pmatrix}$$



- ▶ Izmērāms lielums ir koordinātu sistēma stāvokļu telpā + iespējamo vērtību kopa uz asīm

 $\hat{A}$

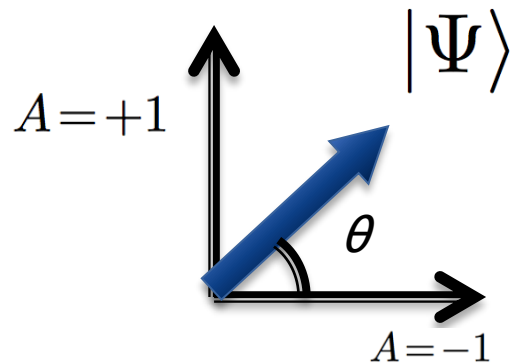
lineārs operators
(matrica)

 $A = +1$ 

Werner Karl
Heisenberg
(1901–1976)

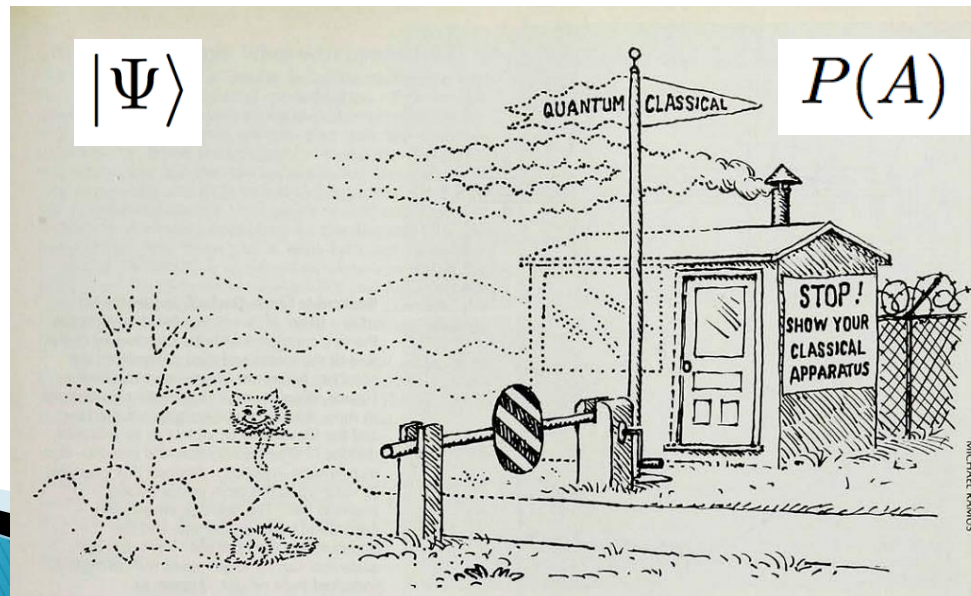
Borna likums – “logs” uz kvantiem

- Mērījuma iznākuma varbūtība:



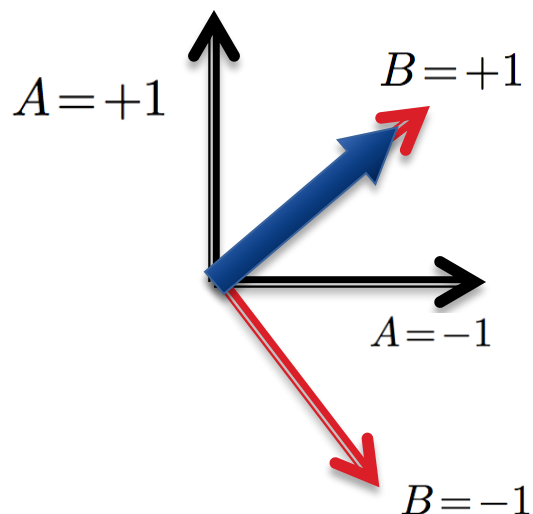
$$P\left(\boxed{A = -1}\right) = |\cos \theta|^2$$

$$P\left(\boxed{A = +1}\right) = |\sin \theta|^2$$



Kvantu nenoteiktība

- ▶ Eksistē izmērāmi lielumi, kuriem vienlaicīgi nevar piekārtot noteiktu vērtību



$$P(B = +1) = 100\%$$

$$P(A = +1) = 50\%$$

$$P(A = -1) = 50\%$$

Lielums B
ir pilnīgi noteikts

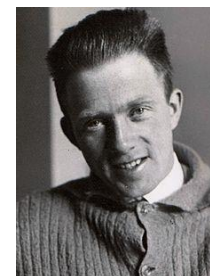
Bet lielums A – nav!

- ▶ Nekomutatīva algebra:

$$\hat{A}\hat{B} \neq \hat{B}\hat{A}!$$

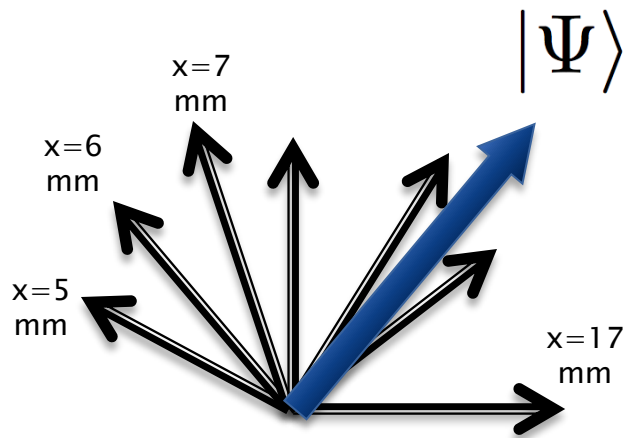
$$\hat{x}\hat{p} - \hat{p}\hat{x} = \frac{h}{2\pi} = \hbar$$

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$



Cik daudz dimensiju kvantu telpā?

- 1 (stabila) elementārdaļiņa, piemēram elektrons
- ▶ Reālai telpiskai koordinātei x ir bezgalīgi daudz iespējamo vērtību (mērījuma iznākumu)



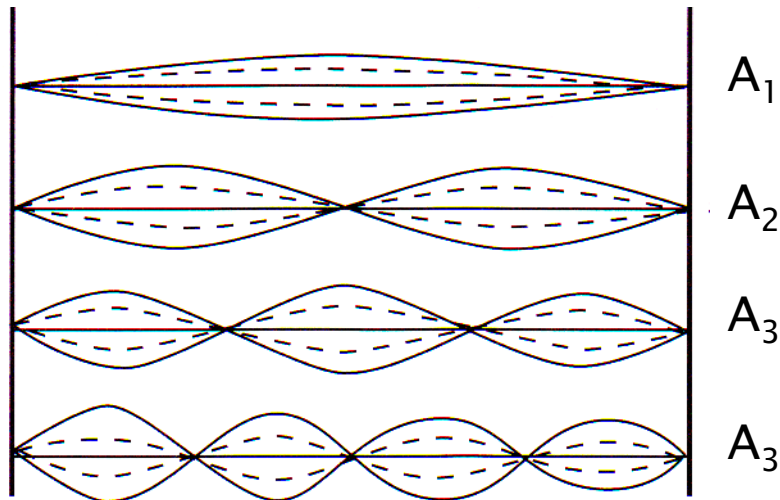
$|\Psi\rangle$ – Jāuzdod projekcijas uz katru no asīm!

- Līdzīgi fizikālam laukam, sava vērtība katrā telpas punktā!
- Šrēdingera viļņu funkcija

$$|\Psi\rangle \leftrightarrow \Psi(x)$$

- Analogija ar lauku ved strupceļā, ja ir vairāk nekā viens kvants

Kvantu lauki ir plaši!

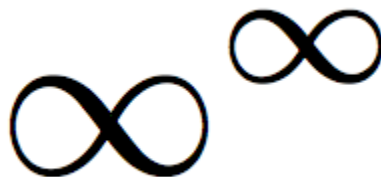


- Katras modas svārstību amplitūda ir neatkarīga nepārtraukta koordināte
- Viļņu funkcija vairs “neierakstās” 3D telpā

$$\Psi(A_1, A_2, A_3, A_4 \dots)$$

Vakuuma pilnais kvantu stāvoklis ir vektors

telpā ar



Dimensijām!