

# Relativistický vesmír a kvantový mikrosvět

The background of the slide is a dark, starry night sky. It is filled with numerous small, faint stars of various colors, including white, yellow, and blue. A single, much larger and brighter blue star is positioned in the upper right quadrant, exhibiting a prominent four-pointed diffraction pattern. The overall appearance is that of a deep space field of stars.

Petr Kurfürst

# Cesta k relativitě (prostoru a času) a ke „kvantům“

## Epochální články Alberta Einsteina z roku 1905:

- *Über... die Erzeugung... des Lichts betreffenden heuristischen Gesichtspunkt* (vysvětlení fotoelektrického jevu - Nobelova cena 1921)
- *Über die... molekularkinetische Theorie...* (o Brownově pohybu)
- *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* (o elektrodynamice pohybujících se těles)
- Dva principy „speciální“ relativity:
- **tytéž zákony ve všech (inerciálních) soustavách**
- **absolutní invariance rychlosti světla**
- Naopak: čas i prostor jsou **relativní!**



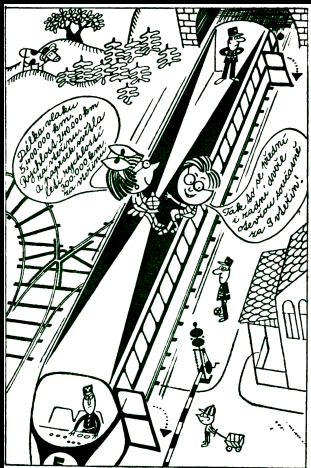
3. Zur Elektrodynamik bewegter Körper;  
von A. Einstein.

Daß die Elektrodynamik Maxwells — wie dieselbe gegenwärtig aufgefaßt zu werden pflegt — in ihrer Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien führt, welche den Phänomenen nicht anzuhafien scheinen, ist bekannt. Man denke z. B. an die elektrodynamische Wechselwirkung zwischen einem Magneten und einem Leiter. Das beobachtbare Phänomen hängt hier nur ab von der Relativbewegung von Leiter und Magnet, während nach der üblichen Auffassung die beiden Fälle, daß der eine oder der andere dieser Körper der bewegte sei, streng voneinander zu trennen sind. Bewegt sich nämlich der Magnet und ruht der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten ein elektrisches Feld von gewissem Energiewerte, welches an den Orten, wo sich Teile des Leiters befinden, einen Strom erzeugt. Ruht aber der Magnet und bewegt sich der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten kein elektrisches Feld, dagegen im Leiter eine elektromotorische Kraft, welcher an sich keine Energie entspricht, die aber — Gleichheit der Relativbewegung bei den beiden ins Auge gefaßten Fällen vorausgesetzt — zu elektrischen Strömen von derselben Größe und demselben Verlaufe Veranlassung gibt, wie im ersten Falle die elektrischen Kräfte.

Beispiele ähnlicher Art, sowie die mißlungenen Versuche, eine Bewegung der Erde relativ zum „Lichtmedium“ zu konstatieren, führen zu der Vermutung, daß dem Begriffe der absoluten Ruhe nicht nur in der Mechanik, sondern auch in der Elektrodynamik keine Eigenschaften der Erscheinungen entsprechen, sondern daß vielmehr für alle Koordinatensysteme, für welche die mechanischen Gleichungen gelten, auch die gleichen elektrodynamischen und optischen Gesetze gelten, wie dies für die Größen erster Ordnung bereits erwiesen ist. Wir wollen diese Vermutung (deren Inhalt im folgenden „Prinzip der Relativität“ genannt werden wird) zur Voraussetzung erheben und außerdem die mit ihm nur scheinbar unverträgliche

## Důsledky „speciální“ relativity

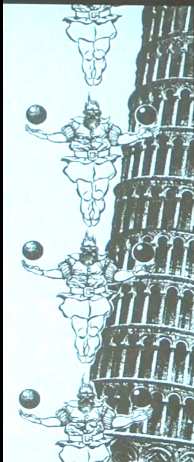
Relativita „**současnosti**“ pro různé pozorovatele:



**Delší čas, zkrácení délek, nárůst hmotnosti** v pohybujících se soustavách  
**Netriviální skládání rychlostí:** rychlost 1 + rychlost 2 < prostý součet

# Gravitace jako „zdeformovaný“ prostoročas

- **Princip ekvivalence:** podle Einsteina „nejšťastnější nápad jeho života... gravitační pole existuje pouze relativně, při volném pádu zmizí“



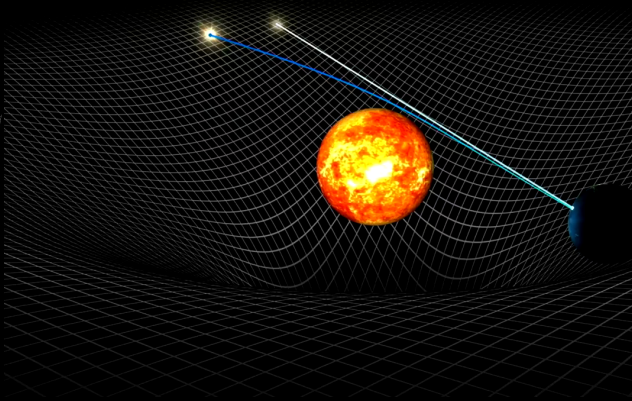
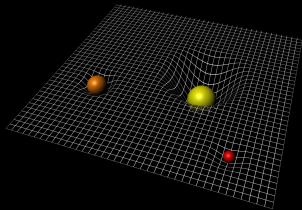
„Seděl jsem v křesle na patentovém úřadě v Bernu a náhle se mi zjevila myšlenka: Když člověk volně padá, nepociťuje svou vlastní váhu. Udivilo mě to. Tento prostý myšlenkový experiment na mne hluboce zapůsobil ... Rozhodl jsem se proto rozšířit teorii relativity i na vztažné soustavy se zrychlením. Cítil jsem, že bych tím současně mohl vyřešit i problém gravitace. Celý jsem ho tehdy vyřešit nedokázal. Trvalo mi to dalších osm let...“

**Einstein ve své přednášce v Kyoto 14. 12. 1922**

# Gravitace jako „zdeformovaný“ prostoročas

---

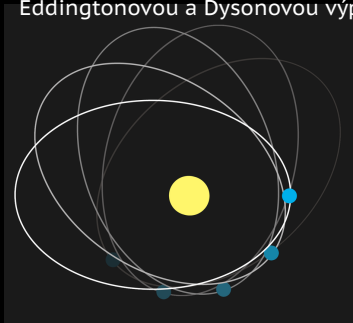
- Hmotná tělesa deformují **prostoročasové** „tkanivo“



## Ověření principů obecné relativity

---

- **Výpočet stáčení perihelia Merkura** (18. 11. 1915): „*Die Rechnung liefert für den Planeten Merkur ein Vorschreiten des Perihels um 43” in hundert Jahren*“
- **Ohyb světelných paprsků okolo okraje Slunce** o 1,75” (pozorováno Eddingtonovou a Dysonovou výpravou v roce 1919)



oběžné trajektorie - orbity - tvoří „rozetu“



zatemnění Slunce 29. 5. 1919  
pozorované a snímáné z Princova ostrova

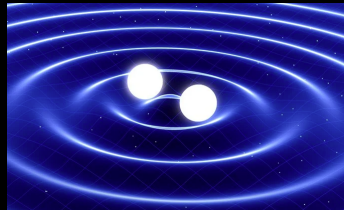
# Ověření principů obecné relativity

---

- V současné době **stovky** ověřujících experimentů:
- Mimo jiné - **přesnost navigačních systémů GPS** (i dalších)
- Zásadní jsou testy **obecné relativity** v extrémně silných gravitačních polích
- Zachycení **gravitačních vln** - detektory **LIGO, VIRGO, KAGRA...**



interferometr LIGO -  
Livingston, Louisiana



systém dvou neutronových hvězd,  
obíhajících velmi blízko sebe

# Ověření principů obecné relativity

---

- V současné době **stovky** ověřujících experimentů:
- Mimo jiné - **přesnost navigačních systémů GPS** (i dalších)
- Zásadní jsou testy **obecné relativity** v extrémně silných gravitačních polích
- Zachycení **gravitačních vln** - detektory **LIGO, VIRGO, KAGRA...**



interferometr LIGO -  
Livingston, Louisiana



# Ověření principů obecné relativity

---

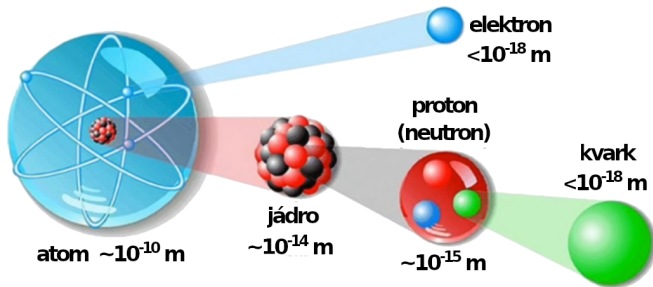
# Matérie (Matter)

R <sub>2</sub> O RH		RO RH <sub>2</sub>												R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> RH <sub>3</sub>	RO <sub>2</sub> RH <sub>4</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>5</sub> RH <sub>3</sub>	RO <sub>3</sub> H <sub>2</sub> R	R <sub>2</sub> O <sub>7</sub> HR	18 VIII. A
1 I. A																	18		
1	<b>Periodická soustava prvků</b>																18		
1	1,0079 <b>1</b> H 1,0079 Vodík																	4,00 <b>2</b> He 4,00 Helium	
2	6,94 <b>3</b> Li 6,94 Lithium	9,01 <b>4</b> Be 9,01 Beryllium											10,81 <b>5</b> B 10,81 Bor	12,01 <b>6</b> C 12,01 Uhlík	14,01 <b>7</b> N 14,01 Dusík	16,00 <b>8</b> O 16,00 Kyslík	19,00 <b>9</b> F 19,00 Fluor	20,18 <b>10</b> Ne 20,18 Neon	
3	22,99 <b>11</b> Na 22,99 Sodík	24,31 <b>12</b> Mg 24,31 Hořčík	III. B	IV. B	V. B	VI. B	VII. B	VIII. B	VIII. B	VIII. B	I. B	II. B	13,00 <b>13</b> Al 13,00 Hliník	14,01 <b>14</b> Si 14,01 Křemík	15,00 <b>15</b> P 15,00 Fosfor	16,00 <b>16</b> S 16,00 Síra	17,00 <b>17</b> Cl 17,00 Chlór	39,95 <b>18</b> Ar 39,95 Argon	
4	39,10 <b>19</b> K 39,10 Draslík	40,08 <b>20</b> Ca 40,08 Vápník	44,96 <b>21</b> Sc 44,96 Skandium	47,88 <b>22</b> Ti 47,88 Titan	50,94 <b>23</b> V 50,94 Vanad	52,00 <b>24</b> Cr 52,00 Chrom	54,94 <b>25</b> Mn 54,94 Mangan	55,85 <b>26</b> Fe 55,85 Železo	58,93 <b>27</b> Co 58,93 Kobalt	58,69 <b>28</b> Ni 58,69 Nikl	63,55 <b>29</b> Cu 63,55 Měď	65,38 <b>30</b> Zn 65,38 Zinek	69,72 <b>31</b> Ga 69,72 Galium	72,61 <b>32</b> Ge 72,61 Germanium	74,92 <b>33</b> As 74,92 Arzen	78,96 <b>34</b> Se 78,96 Selen	79,90 <b>35</b> Br 79,90 Brom	83,80 <b>36</b> Kr 83,80 Krypton	
5	85,47 <b>37</b> Rb 85,47 Rubidium	87,62 <b>38</b> Sr 87,62 Stroncium	88,91 <b>39</b> Y 88,91 Yttrium	90,92 <b>40</b> Zr 90,92 Zirkonium	92,91 <b>41</b> Nb 92,91 Niobium	95,94 <b>42</b> Mo 95,94 Molybden	98,91 <b>43</b> Tc 98,91 Technecium	101,07 <b>44</b> Ru 101,07 Ruthenium	102,91 <b>45</b> Rh 102,91 Rhodium	106,42 <b>46</b> Pd 106,42 Palladium	107,87 <b>47</b> Ag 107,87 Stříbr	112,41 <b>48</b> Cd 112,41 Kadmium	114,82 <b>49</b> In 114,82 Indium	118,71 <b>50</b> Sn 118,71 Cín	121,75 <b>51</b> Sb 121,75 Antimon	127,60 <b>52</b> Te 127,60 Tellur	126,90 <b>53</b> I 126,90 Jod	131,29 <b>54</b> Xe 131,29 Xenon	
6	132,91 <b>55</b> Cs 132,91 Cesium	137,33 <b>56</b> Ba 137,33 Barium	178,49 <b>72</b> Hf 178,49 Hafnium	180,95 <b>73</b> Ta 180,95 Tantal	183,85 <b>74</b> W 183,85 Wolfram	186,21 <b>75</b> Re 186,21 Rhenium	190,20 <b>76</b> Os 190,20 Osmium	192,22 <b>77</b> Ir 192,22 Iridium	195,08 <b>78</b> Pt 195,08 Platina	196,97 <b>79</b> Au 196,97 Zlato	200,59 <b>80</b> Hg 200,59 Rtuť	204,38 <b>81</b> Tl 204,38 Thallium	207,20 <b>82</b> Pb 207,20 Olovo	208,98 <b>83</b> Bi 208,98 Bismut	209 <b>84</b> Po 209 Polonium	210 <b>85</b> At 210 Astat	222 <b>86</b> Rn 222 Radon	222 <b>87</b> Rf 222 Rutherfordium	
7	~223 <b>87</b> Fr ~223 Francium	226,03 <b>88</b> Ra 226,03 Radium	~267 <b>104</b> Rf ~267 Rutherfordium	~268 <b>105</b> Db ~268 Dubnium	~269 <b>106</b> Sg ~269 Seaborgium	~270 <b>107</b> Bh ~270 Bohrium	~271 <b>108</b> Hs ~271 Hassium	~272 <b>109</b> Mt ~272 Meitnerium	~278 <b>110</b> Ds ~278 Darmstadtium	~281 <b>111</b> Rg ~281 Roentgenium	~285 <b>112</b> Cn ~285 Copernicium	~286 <b>113</b> Nh ~286 Nihonium	~289 <b>114</b> Fl ~289 Flerovium	~288 <b>115</b> Mc ~288 Moscovium	~293 <b>116</b> Lv ~293 Livermorium	~294 <b>117</b> Ts ~294 Tennessine	~294 <b>118</b> Og ~294 Oganesson		



6	Lanthanoidy	138,91 <b>57</b> La 1,10 Lanthan	140,12 <b>58</b> Ce 1,10 Cer	140,91 <b>59</b> Pr 1,10 Praseodym	144,24 <b>60</b> Nd 1,10 Neodymium	~145 <b>61</b> Pm 1,10 Promethium	150,36 <b>62</b> Sm 1,10 Samarium	151,96 <b>63</b> Eu 1,00 Europium	157,25 <b>64</b> Gd 1,10 Gadolinium	158,93 <b>65</b> Tb 1,10 Terbium	162,50 <b>66</b> Dy 1,10 Dysprosium	164,93 <b>67</b> Ho 1,10 Holmium	167,26 <b>68</b> Er 1,10 Erbium	168,93 <b>69</b> Tm 1,10 Thulium	173,04 <b>70</b> Yb 1,10 Ytterbium	174,04 <b>71</b> Lu 1,10 Lutetium
7	Aktinoidy	227,03 <b>89</b> Ac 1,00 Aktinium	232,04 <b>90</b> Th 1,10 Thorium	231,04 <b>91</b> Pa 1,10 Protaktinium	238,03 <b>92</b> U 1,20 Uran	~237,05 <b>93</b> Np 1,20 Neptunium	[244] <b>94</b> Pu 1,20 Plutonium	~243 <b>95</b> Am 1,20 Americium	~247 <b>96</b> Cm 1,20 Curium	~247 <b>97</b> Bk 1,20 Berkelium	~251 <b>98</b> Cf 1,20 Kalforium	~252 <b>99</b> Es 1,20 Einsteinium	~257 <b>100</b> Fm 1,20 Fermium	~258 <b>101</b> Md 1,20 Mendelevium	~259 <b>102</b> No 1,20 Nobelium	~260 <b>103</b> Lr 1,20 Lawrencium

# Struktura atomu



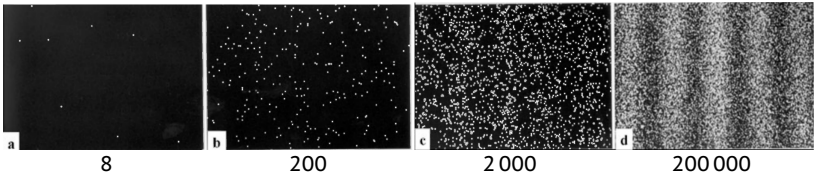
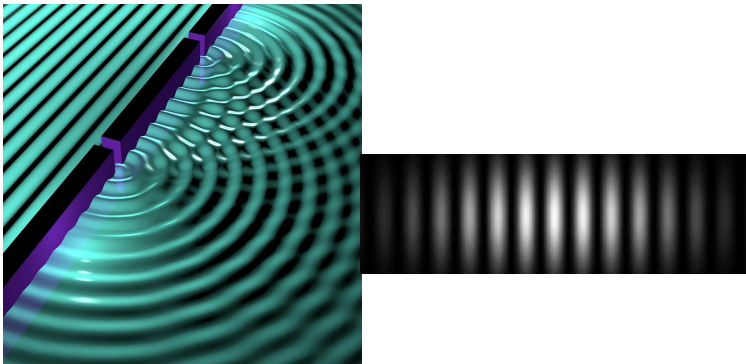
Cesta k relativitě (prostoru a času) a ke „kvantům“:



## Pole (Field)



# Dvoušterbinový jev (Double-slit effect)



Pole (Field)

pole absolutního  
vakua

## Nová "periodická" tabulka

elektron


















neutrino

up kvark

down  
kvark



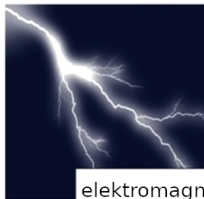
# Standardní model elementárních částic

		tři generace částic látky (fermiony)			interakce / nosiče sil (bosony)		
		I	II	III			
hmotnost náboj spin	KVARKY	$\approx 2,2 \text{ MeV}$ $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$  <b>u</b> up	$\approx 1,28 \text{ GeV}$ $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$  <b>c</b> charm	$\approx 173,1 \text{ GeV}$ $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$  <b>t</b> top	$0$ $0$ $1$  <b>g</b> gluon	$\approx 124,97 \text{ GeV}$ $0$ $0$  <b>H</b> higgs	
		$\approx 4,7 \text{ MeV}$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$  <b>d</b> down	$\approx 96 \text{ MeV}$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$  <b>s</b> strange	$\approx 4,18 \text{ GeV}$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$  <b>b</b> bottom	$0$ $0$ $1$  <b><math>\gamma</math></b> foton	POLNÍ BOSONY VEKTOROVÉ BOSONY SKALÁRNÍ BOSONY	
		$\approx 0,511 \text{ MeV}$ $-1$ $\frac{1}{2}$  <b>e</b> elektron	$\approx 105,66 \text{ MeV}$ $-1$ $\frac{1}{2}$  <b><math>\mu</math></b> mion	$\approx 1,7768 \text{ GeV}$ $-1$ $\frac{1}{2}$  <b><math>\tau</math></b> tauon	$\approx 91,19 \text{ GeV}$ $0$ $1$  <b>Z</b> Z boson		
$< 1,0 \text{ eV}$ $0$ $\frac{1}{2}$  <b><math>\nu_e</math></b> elektron. neutrino	$< 0,17 \text{ MeV}$ $0$ $\frac{1}{2}$  <b><math>\nu_\mu</math></b> mionové neutrino	$< 18,2 \text{ MeV}$ $0$ $\frac{1}{2}$  <b><math>\nu_\tau</math></b> tauonové neutrino	$\approx 80,39 \text{ GeV}$ $\pm 1$ $1$  <b>W</b> W boson				

# čtyři síly



gravitace



elektromagnetismus



silná jaderná interakce



slabá jaderná interakce

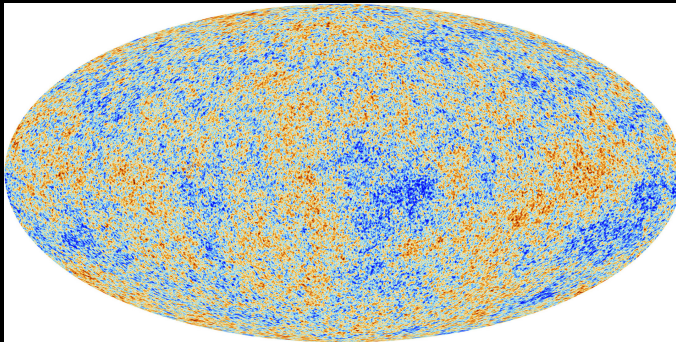
## Rovnice teorie všeho (dosud):

$$W = \int_{k < \Lambda} [Dg][DA][D\psi][D\Phi] \exp \left\{ i \int d^4x \sqrt{-g} \left[ \frac{m_p^2}{2} R \right. \right.$$

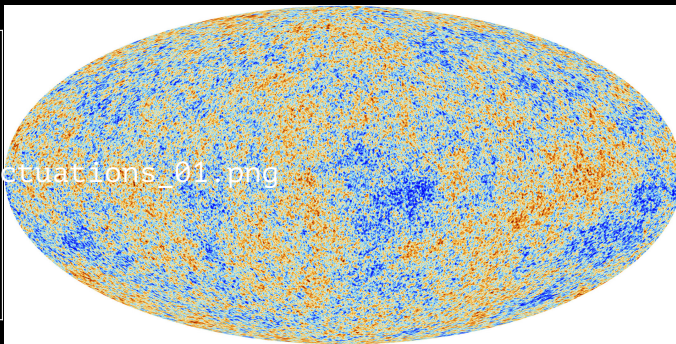
quantum mechanics
spacetime
gravity

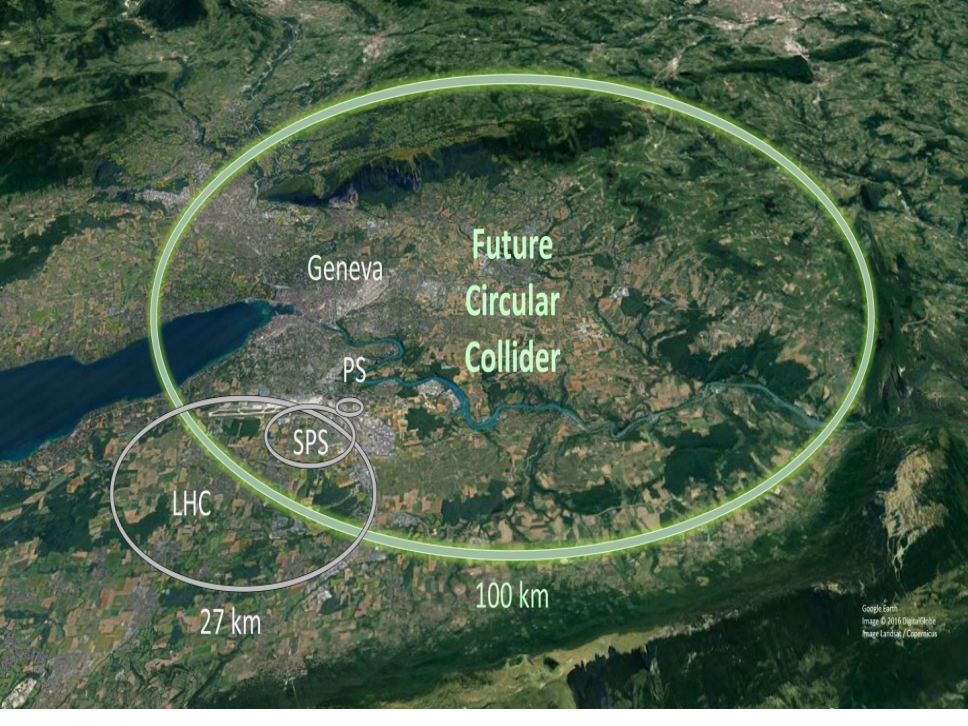
$$\left. \left. - \frac{1}{4} F_{\mu\nu}^a F^{a\mu\nu} + i \bar{\psi}^i \gamma^\mu D_\mu \psi^i + \left( \bar{\psi}_L^i V_{ij} \Phi \psi_R^j + \text{h.c.} \right) - |D_\mu \Phi|^2 - V(\Phi) \right] \right\}$$

other forces
matter
Higgs



Figs/Quantum\_Fluctuations\_01.png





Geneva

Future  
Circular  
Collider

PS

SPS

LHC

27 km

100 km

**Děkuji za pozornost!**