

Většinu života se Albert Einstein snažil vybudovat úplnou teorii vesmíru, která by sjednocovala elektromagnetismus a gravitaci. Na tomto úkolu pracoval neúnavně od 20. let až do své smrti v roce 1955. Jeho úsilí však bylo odsouzeno k nezdaru, protože nebral v úvahu jaderné síly.

V roce 1915 poskytla Einsteinova obecná teorie relativity nový způsob popisu gravitace, který nahradil starou Newtonovu teorii. Podle Einsteina není gravitace síla v běžném smyslu, ale geometrická vlastnost prostoru určená rozložením hmoty: V blízkosti hmotných objektů se prostor zakřivuje. Einstein mimo jiné předpověděl, že světelné paprsky z hvězdy, která „zapadne“ za sluneční kotouč, se vlivem gravitace Slunce ohnou. Tento jev byl dramaticky potvrzen při měření během totálního zatmění Slunce v roce 1919, čímž se Einstein stal doslova přes noc slavným.

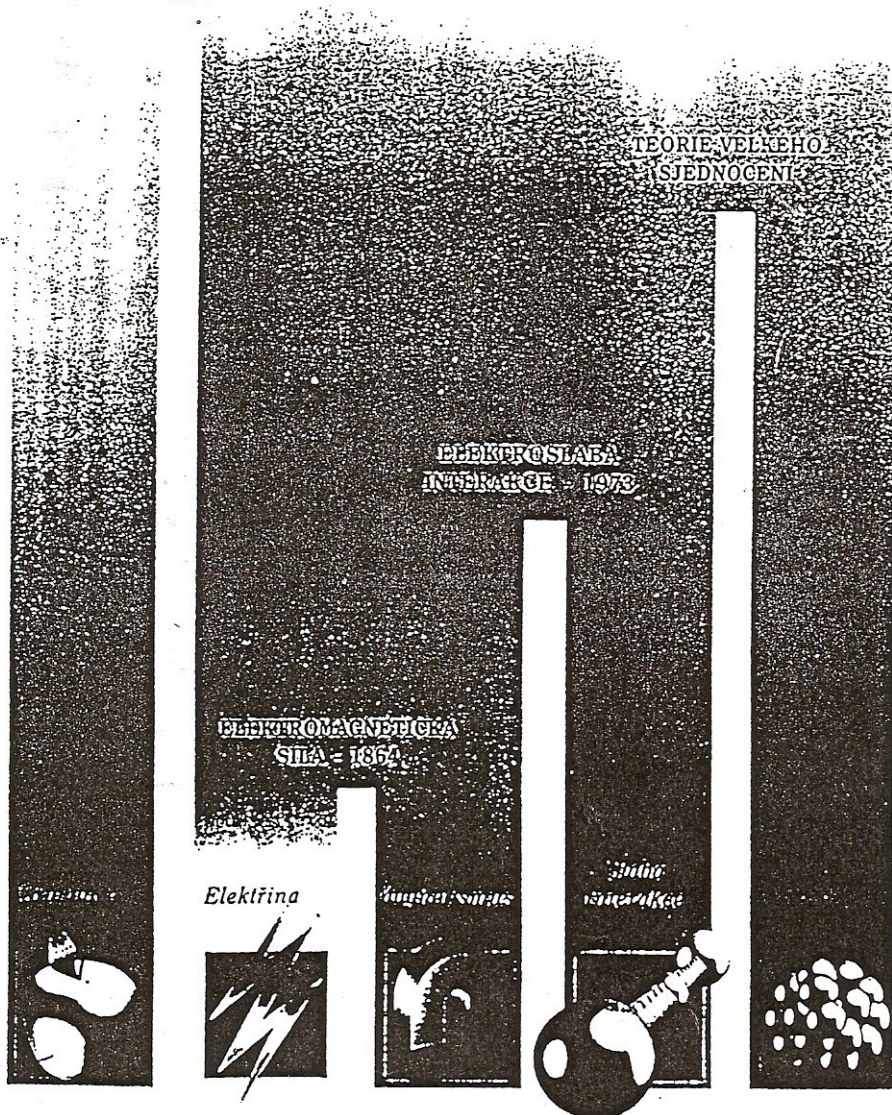
Obecná relativita představuje vrchol Einsteinova tvůrčího vzepětí. Tvoří základ moderní kosmologie a je rozšířením jeho starší speciální teorie relativity; tyto dvě teorie navždy změnily náš pohled na prostor, čas a pohyb. Einstein vedle toho přispěl k počátkům kvantové revoluce a poskytl světu klíč k jadernému věku svou slavnou rovnicí  $E = mc^2$ . Po čem takový vědec mohl zatoužit než po konečné teorii, která by zahrнула celý vesmír do jediného a sjednocujícího popisu?

Snaha o sjednocení interakcí V přírodě existuje pět základních sil či interakcí. První sjednocení úspěšně provedl Maxwell v roce 1864, kdy dokázal, že elektřina a magnetismus jsou jenom různými projevy elektromagnetické síly, která stojí v pozadí chemických reakcí i zákonů šíření světla. K dalšímu sjednocení došlo v roce 1973, kdy byla vytvořena teorie elektroslabé interakce. V současnosti se fyzikové snaží o „teorii velkého sjednocení“, která by zahrнула elektroslabé i silné interakce, a doufají, že dospějí až k „teorii všeho“, která pokryje všechny síly včetně gravitace.

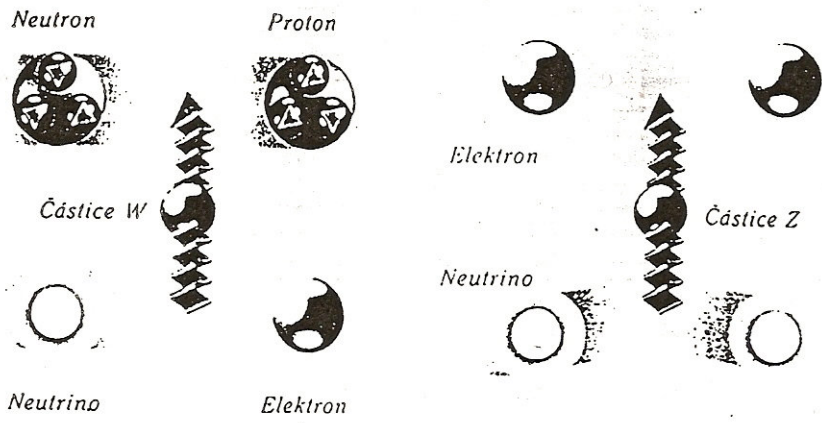
# Einsteinův životní sen

TEORIE VELKÉHO SJEDNOCENÍ

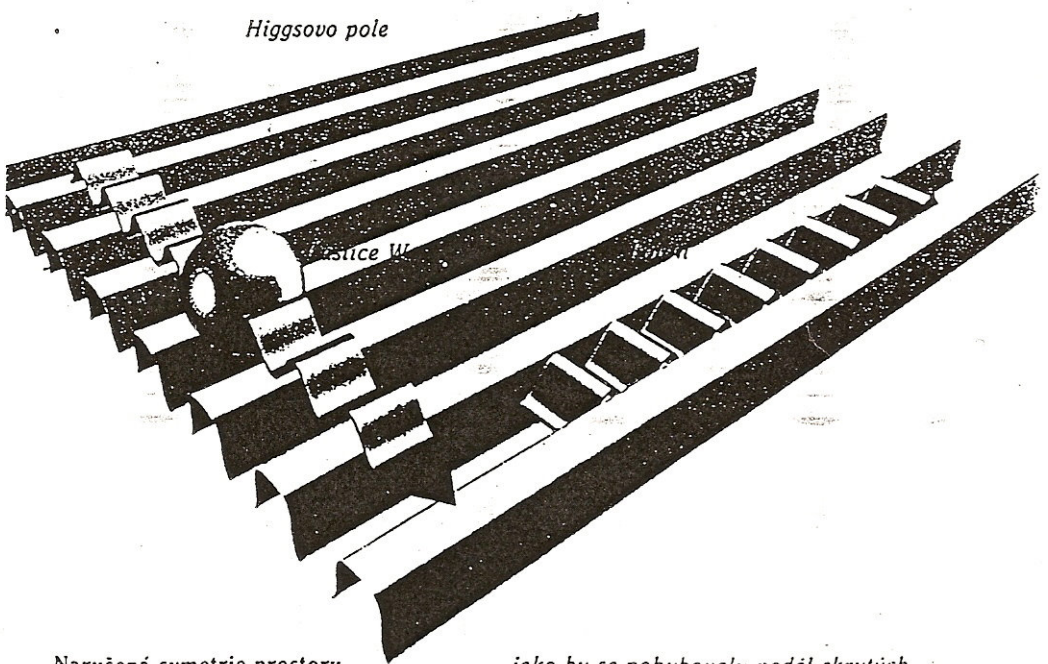
TEORIE  
VŠEHO







Slabé interakce Na obrázku vlevo je znázorněn klasický rozpad beta, při němž se neutron (dva kvarky d a jeden u) mění na proton – vyměňuje se částice W, která učini z kvarku d kvark u, zatímco z neutrino se stane elektron. Při procesu s neutrálním proudem (vpravo) se vyměňuje částice Z, jejímž prostřednictvím neutrino „postrčí“ kvark nebo (jako na našem obrázku) elektron. V experimentech při vysokých energiích dochází k oběma procesům současně. Ještě před tím, než byla částice Z pozorována přímo, dokázali fyzikové ze srovnání neutrálních proudů s elektromagnetickými procesy odhadnout její hmotu.



**Narušená symetrie prostoru**  
 Za sjednocení elektroslabé interakce mohou tajemné Higgsovy částice, které „spontánně narušují“ symetrii prázdného prostoru. V kvantové fyzice není ani vakuum úplně prázdné: v souladu s principem neurčitosti je plně přechodně existujících částic, které se neustále objevují a mizí. Higgsovy částice vtiskují prázdnému prostoru určitou strukturu – tzv. Higgsovo pole – které si můžeme vzdáleně představit jako vlny na uhlíkové vrstvě desky z tuhé lepenky. Nehmotné nosiče elektromagnetické síly (fotony)

jako by se pohybovaly podél skrytých zvlňení, což jde snadno, zatímco nosiče slabé interakce (částice W a Z) musí překonávat hrboly a potřebují k tomu množství dodatečné energie, kterou získají od Higgsova pole a stanou se tak těžkými. Bez Higgsova pole by byly fotony i nosiče slabé interakce stejně nehmotné. Fyzikové vědí, že Higgsovy částice existují, ale zatím zůstává tajemstvím, co je jejich podstatou a jaké mají vlastnosti. Objev těchto částic, které jakoby prorůstají vakuem, je jedním z hlavních cílů současné fyziky vysokých energií.



**K**varky jsou doživotně uvězněny - nikdy nemohou uniknout z částic, v nichž je drží nesmírně mohutná síla vznikající z jejich „barevného“ náboje. Tato síla se nepodobá žádné z těch, které známe. Je tím slabší, čím jsou si kvarky blíží, a tím silnější, čím dál jsou od sebe.

# Doživotní vězení

BAREVNÁ SÍLA MEZI KVARKY

Po úspěchu Osminásobné cesty (viz str. 60), kvarkového modelu a objevu omega minus se fyzikové v první polovině 60. let intenzivně věnovali silným interakcím, avšak teorie silových polí se dočasně ocitly mimo hlavní ohnisko zájmu. Úspěšně sjednocení elektroslabých interakcí všem připomnělo, že polní teorie zdaleka nevyčerpaly své možnosti, a tak počátkem 70. let teoretičtí fyzikové na polní teorii silných interakcí znovu zaměřili pozornost. Snažili se vyřešit problém, co drží kvarky uvnitř protonů a neutronů, a vytvořili teorii, která se opírala o speciální „barevný“ náboj kvarků (viz str. 60). Teorie dostala název „kvantová chromodynamika“ (QCD) podle řeckého slova „chromos“ (barva).

QCD je v mnoha ohledech podobná kvantové elektrodynamice (QED), relativistické kvantové polní teorii elektromagnetické interakce, ale má složitější strukturu. „Barevná“ síla mezi kvarky je přenášena osmi částicemi-nosiči, které se nazývají „gluony“ a „slepují“ kvarky dohromady (angl. glue - lepidlo). Vlastnosti odpovídající elektrickému náboji v QCD výrazně závisí na prostoru a času - čím menší objem, tím slabší se interakce stává. Naopak, čím je objem větší, tím je interakce silnější, takže je nemožné kvarky od sebe oddělit.

Barevné síly mezi kvarky si můžeme představit jako pružné, ale pevné struny; kvarky jsou připojeny na koncích. Dokud není struna napjatá, kvarky se pohybují snadno, ale při hodně natažené struně je velmi těžké ještě více je oddálit. Barevná síla mezi kvarky je i původní příčinou silných sil v jádru, ale na úrovni jádra jde o druhotný jev, kdy výměnnými částicemi jsou mezony a celkové síly jsou snadněji rozpoznatelné než síly mezi kvarky.

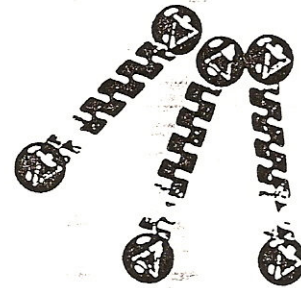


Napjatá gluonová pružina



Tříjetový případ

Dvoujetový případ



Kvarkový posilovač svalů Silovou vazbu mezi kvarky můžeme přirovnat k velmi silným pružinám. Když leží posilovač svalů volně na stole, můžeme jeho držadly snadno pohybovat. Teprve když pružiny pořádně natáhneme, cítíme odpor. S kvarky je to podobné - čím jsou od sebe dál, tím silnější je jejich vazba. Jestliže pružina získá velké množství energie a natáhne se až za určitou hranici, může prasknout a z uvolněného napětí vzniknou dva

proudy kvarků ve směru původní napnuté struny, spojené opět „kousky“ struny (vpravo). Někdy se kousek gluonové struny „utrhne“ a vznikne další sprška částic (vlevo). Tyto spršky z kvarků a gluonů dostaly jméno „jety“ a brzy se staly významným nástrojem ke zkoumání jinak neviditelných kvarků uvnitř srážejících se částic. Specifické kombinace jetů a dalších částic jsou poznávacími znaky interakcí nových částic.

Kvarky uvnitř částic Kvarky se spojují po třech, čímž vznikají baryony - proton, neutron a jejich těžší příbuzní. Proton s kladným nábojem je například tvořen dvěma kvarky up (každý s nábojem  $+2/3$ ) a kvarkem down (náboj  $-1/3$ ). Kvarky se také mohou spojovat se svými partnery z antihmoty, antikvarky; tak vznikají mezony jako pion.

## BARYONY



Proton

## Neutron



## MEZONY



Kladný pion

## Záporný pion





# Standardní model

## RODINY ELEMENTÁRNÍCH ČÁSTIC

Fyziku částic dnes úhledně popisuje „standardní model“, elegantní způsob, jak porozumět fundamentálním dějům ve vesmíru. Silné a elektroslabé interakce však v tomto obrázku vystupují zcela odděleně a teorie má mnoho neznámých parametrů, takže si lze představit, že by situace mohla být ještě lepší.

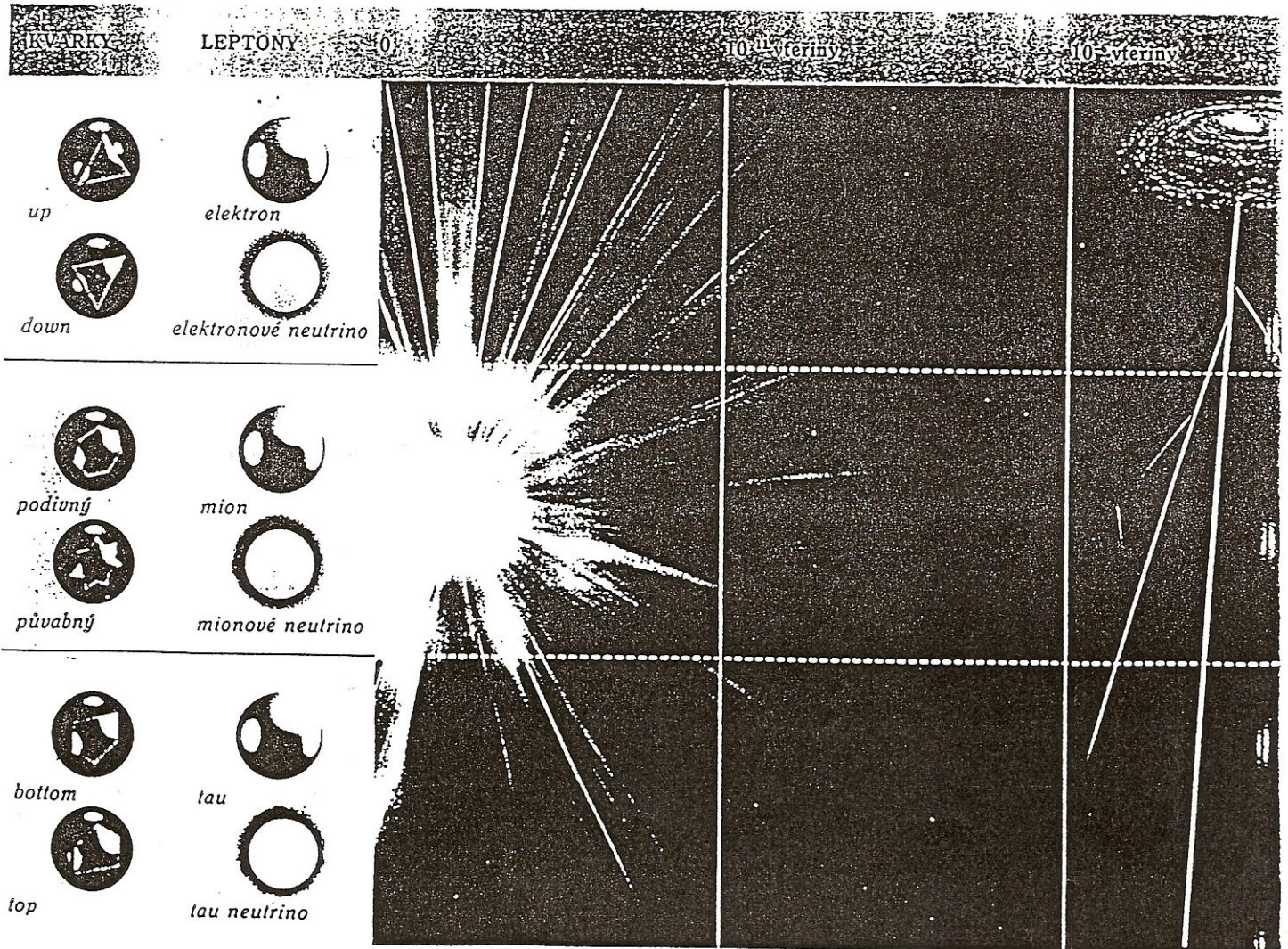
Veškrá hmota se skládá z dvanácti druhů elementárních (či základních) částic. Šest z nich jsou kvarky, jež cítí silnou jadernou interakci, a šest leptonů, které ji necítí. Těchto dvanáct částic můžeme také rozdělit do tří „rodin“ či generací po čtyřech – do každé patří dva druhy kvarků

a dvojice vzájemně si blízkých leptonů.

Z částic první generace (kvarky *u* a *d*, elektron a elektronové neutrino) se skládá všechna hmota okolo nás a tyto částice stačí na popis všech běžných procesů. Kvarky *u* a *d* vytvářejí protony a neutrony, které jsou stavebními kameny atomových jader. Jádra k sobě

poutají elektrony, tak vznikají atomy, atomy se seskupují do molekul. Tímto způsobem je uspořádáno všech 92 přírodních prvků a více než půl milionu chemických sloučenin, které tvoří pestrou paletu látek, z nichž se skládá okolní svět.

Další dvě rodiny, jež mají podobnou

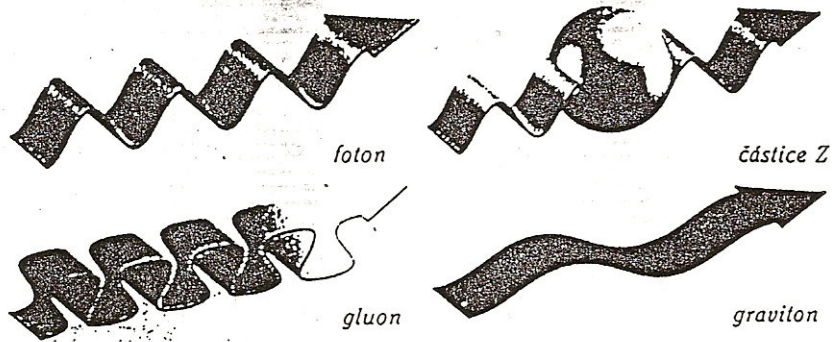




Rodinná podoba *Veškerou hmotu* můžeme popsat pomocí šesti kvarků a šesti leptonů seskupených do tří rodin či generací; do každé patří dva kvarky a dva leptony. První generace vytváří veškerou běžnou hmotu, zatímco druhá a třetí přichází ke slovu pouze při vysokých energiích - v kosmickém záření nebo při laboratorních experimentech, ale také při extrémních teplotách v prvních několika uleřinách existence vesmíru (viz str. 104).

Na kvarky působí všechny tři druhy sil - silná, elektromagnetická i slabá. Všechny leptony „cili“ slabou interakci; pokud jsou elektricky nabitě, působí na ně i elektromagnetická síla. Neutrína jsou však elektricky neutrální, a interagují proto pouze slabě.

### ZPROSTŘEDKUJÍCÍ ČÁSTICE



Každou sílu přenáší určitá částice-nosič. Pro elektromagnetickou sílu je to foton, pro slabou interakci částice W a Z, pro silnou interakci gluon a pro gravitační sílu graviton.

strukturu jako prvá generace, vytvářejí nestabilní částice, s nimiž se setkáváme jen v kosmickém záření nebo při vysokoenergetických experimentech. Do druhé generace patří kvarky s a c spolu s mionem a jeho neutrinem, zatímco do třetí kvarky t a b, lepton tau a tau neutrino.

Taková je základní statická „kostra“ standardního modelu. Zdrojem jeho dynamické síly jsou dva nezávislé „motory“ - síly, jimž odpovídají další částice, které tyto síly přenášejí. Jednou „pohonnou jednotkou“ je sjednocená elektroslabá interakce, na níž se podílí elektromagnetická síla (přenášena fotony) a slabá síla (přenášena částicemi W a Z). Druhou je kvantová chromodynamika, silná interakce mezi kvarky, kterou zprostředkují gluony.

Předpovědi, které tato teorie dává, souhlasí se vším, co se naměřilo v experimentech, a nepřímá měření poskytují meze přesnosti veličinám, jejichž velikost dosud neumíme stanovit přímo. Je však jasné, že standardní model nemůže být konečnou odpovědí - na to má příliš mnoho nedostatků. Nezahrnuje gravitaci, která je převládající silou ve vesmíru na velkých vzdálenostech, a kromě toho je v něm 20 volných parametrů - veličin, jejichž hodnota nijak neplyne ze samotné teorie a musí se stanovit měřením. Patří mezi ně zejména počet a hmotnosti částic a síla jejich interakcí. V principu by standardní model mohl zahrnout i více než tři generace, jenže experimenty

na urychlovači elektron-pozitronových vstřicných svazků LEP v CERN vedly v roce 1979 k závěru, že rodiny kvarků a leptonů jsou přesně tři (viz str. 78). Elektroslabá a silné interakce existují ve standardním modelu vedle sebe, ale nemají žádný vzájemný vztah. O sjednocení těchto dvou součástí standardního modelu se snaží teorie velkého sjednocení (viz str. 64), zatímco zahrnutí gravitace je cílem konečné „teorie všeho“.

### CHYBĚJÍCÍ HIGGS

Částice získávají hmotnost prostřednictvím Higgsova mechanismu, který ovlivňuje všechno - dokonce i vakuum - a specifickým způsobem narušuje odpovídající elektroslabou symetrii (viz str. 66). Příslušné Higgsovy částice jsou pohlceny elektroslabými částicemi, které tak „ztěžknou“.

Paradoxem standardního modelu je skutečnost, že zatímco všechno ostatní vychází dobře, Higgsov mechanismus zatím zůstává zahalen tajemstvím. Je to „chybějící článek“ současné fyziky a hlavní cíl několika nových vysokoenergetických projektů. Názory na Higgsovy částice se různí. Někteří fyzikové soudí, že se skládají ze známých elektroslabých částic, jiní věří, že jde o nové elementární objekty. Higgsov mechanismus se může lišit od všeho, co jsme dosud ve fyzice poznali. Pozorování Higgsových částic je velkou výzvou pro nové „superurychlovače“ 21. století (viz str. 86).

