

New Hypothesis

bosony

W^+	\equiv	$\frac{x^2 \cdot t^1}{x^2 \cdot t^1}$	návrh		H^+	\equiv	$\frac{x^2 \cdot t^1}{x^2 \cdot t^1}$?
W^-	\equiv	$\frac{x^2 \cdot t^2}{x^2 \cdot t^2}$	návrh		H^-	\equiv	$\frac{x^0 \cdot t^2}{x^0 \cdot t^2}$?
Z^0	\equiv	$\frac{x^1 \cdot t^0}{x^1 \cdot t^0}$	návrh		H^0	\equiv	$\frac{x^0 \cdot t^1}{x^0 \cdot t^1}$?

.... prozatím to není dobře.... (17.11.2001)



$e^- = x^2t^2/x^2t^1$; foton γ (spíše jako antifoton) = x^2t^3/x^2t^2 .

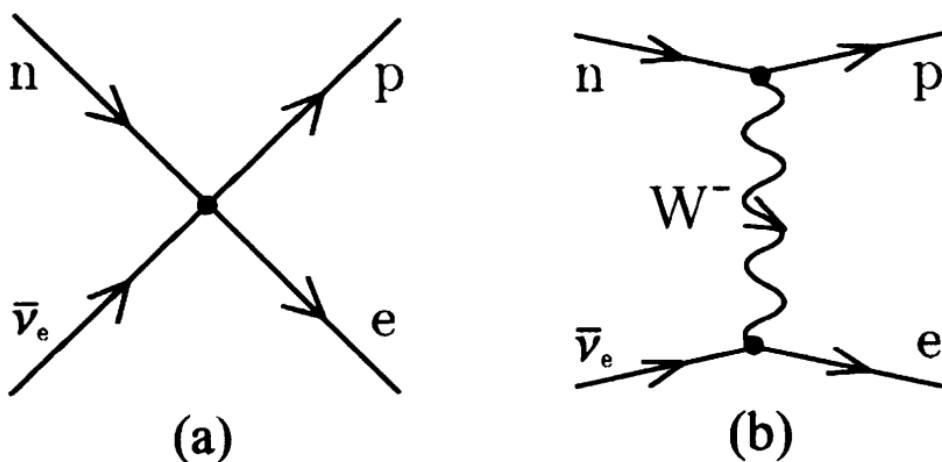
Bude-li elektron měnit v atomu polohu, tak asi tím mění i své $\Delta x_i/x_j$... a proto "se kus" elektronu změní na foton (antifoton) tím, že "si z časoprostoru odebere" $\Delta t_i / t_j$ tedy : "odtržený kus elektronu" si odebere z časoprostoru $\Delta t_i/t_j$ a stane se fotonem (antifotonem)....??????? Pravděpodobně by útvar $\Delta t_i / t_j$ mohl být i oním Higgsovým bosonem H,... útvar $\Delta x_i/x_j$ by mohl být bosonem Z^0 ???????

Dokonce mi připadá, že elektron je "v projekci" fotonem a naopak . Tedy spin (fotonu) v pohledu " an fas", lépe řečeno dvojice fotonů se svými opačnými spiny – levotočivým a pravotočivým – což je rozlišuje: " foton od antifotonu , tak jsou ony dva spiny >protisobějdoucí< při pootočení souřadných os "viděny" j a k o úsečka... { kruh se v projekci jeví jako úsečka}, jejíž krajní polohy jsou nabitě, tedy jeví "stav náboje", jeden konec úsečky kladný a druhý záporný.



W^+	\equiv	$\frac{x^2 \cdot t^1}{x^2 \cdot t^1}$	návrh		H^+	\equiv	$\frac{x^1 \cdot t^2}{x^1 \cdot t^2}$?
W^-	\equiv	$\frac{x^2 \cdot t^2}{x^2 \cdot t^2}$	návrh		H^-	\equiv	$\frac{x^0 \cdot t^2}{x^0 \cdot t^2}$?
Z^0	\equiv	$\frac{x^1 \cdot t^2}{x^1 \cdot t^2}$	návrh		H^0	\equiv	$\frac{x^0 \cdot t^1}{x^0 \cdot t^1}$?

nová možnost pro návrh ze dne 15.3.2002 ...není dořešeno



Kdo polapí Higgse?

aneb

hon na poslední chybějící částici standardního modelu

”Je tomu však stejně u každého vynálezu. Prvním krokem je nápad a ten přichází jako výbuch, ale potom se vynořují stále větší těžkosti.”

”Vynalézat je devadesát devět procent dřiny a jen jedno procento nápadu.”

T.A. Edison

Pro fyziku mikrosvěta je konec minulého tisíciletí a začátek prvního století tisíciletí nového ve znamení vypracování a dovršení standardního modelu hmoty a interakcí. Tato komplexní teorie je velmi úspěšná. Umožňuje popsat téměř všechny jevy, které ve světě jader a elementárních částic pozorujeme. Podařilo se jí sjednotit popis elektromagnetické a slabé interakce a umožnila popis interakce silné. Předpověděla existenci řady nových částic (kvarků **c**, **b** a **t** i bosonů **W** a **Z**), které byly úspěšně nalezeny. Na začátku tohoto století tak zůstává jediná částice, kterou standardní model předpovídá a která stále uniká všem snahám o její polapení. Jde o Higgsov boson (**H**).

Standardní model

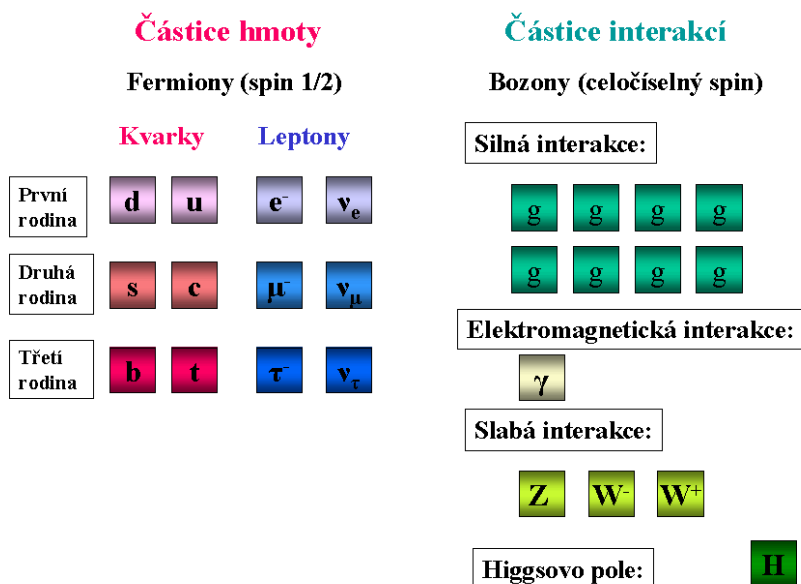
Než se zaměříme na Higgsov boson, připomeňme si krátce, co se skrývá pod pojmem standardní model. Jedná se o velmi komplexní teorii, která popisuje vlastnosti a chování částic, které tvoří hmotu, z níž je sestaven svět okolo nás. Popisuje také interakce mezi těmito částicemi, tedy proces, při kterém se předává mezi částicemi energie, hybnost či jiné fyzikální veličiny nebo dochází k přeměně částic. Částice a interakce mezi nimi tvoří veškerou tu pozoruhodnou rozmanitost, kterou okolo sebe pozorujeme.

V současnosti známe čtyři druhy interakcí. Nejslabší je *gravitační* interakce, která se do standardního modelu nezahrnuje. Je tak slabá, že za normálních podmínek můžeme její vliv ve světě elementárních částic zanedbat. Druhou nejslabší interakcí je interakce *slabá*. Třetí je interakce *elektromagnetická* a nejsilnější je interakce *silná*.

Částice hmoty můžeme rozdělit podle toho, které interakce na ně působí. Gravitační působí na všechny. Na částice, které nazýváme *leptony*, působí navíc pouze slabá interakce a v případě, že mají

Eb 60) Bosony. Moje vzorečky. Higgs-boson, Wagner r.2004, elektrický náboj, i elektromagnetická. Silná interakce na ně nepůsobí. Na *kvarky* působí všechny známé interakce, tedy i silná. Charakter silné interakce nedovoluje, aby se kvarky vyskytovaly v normálních podmínkách volné. Musí být vázány do složitějších útvarů (částic). Trojice kvarků tvoří dohromady částice, které nazýváme *baryony* (mezi ně patří například proton a neutron), a dvojice kvarku a antikvarku tvoří částice nazývané *mezony*. V nedávné době se podařilo objevit i struktury složené ze čtyř kvarků a jednoho antikvarku (*pentakvarky*). Také mezi těmito složenými částicemi působí silná interakce. Máme šest druhů leptonů a šest druhů kvarků (viz obr.1) a stejný počet příslušných antihmotných protějšků těchto částic.

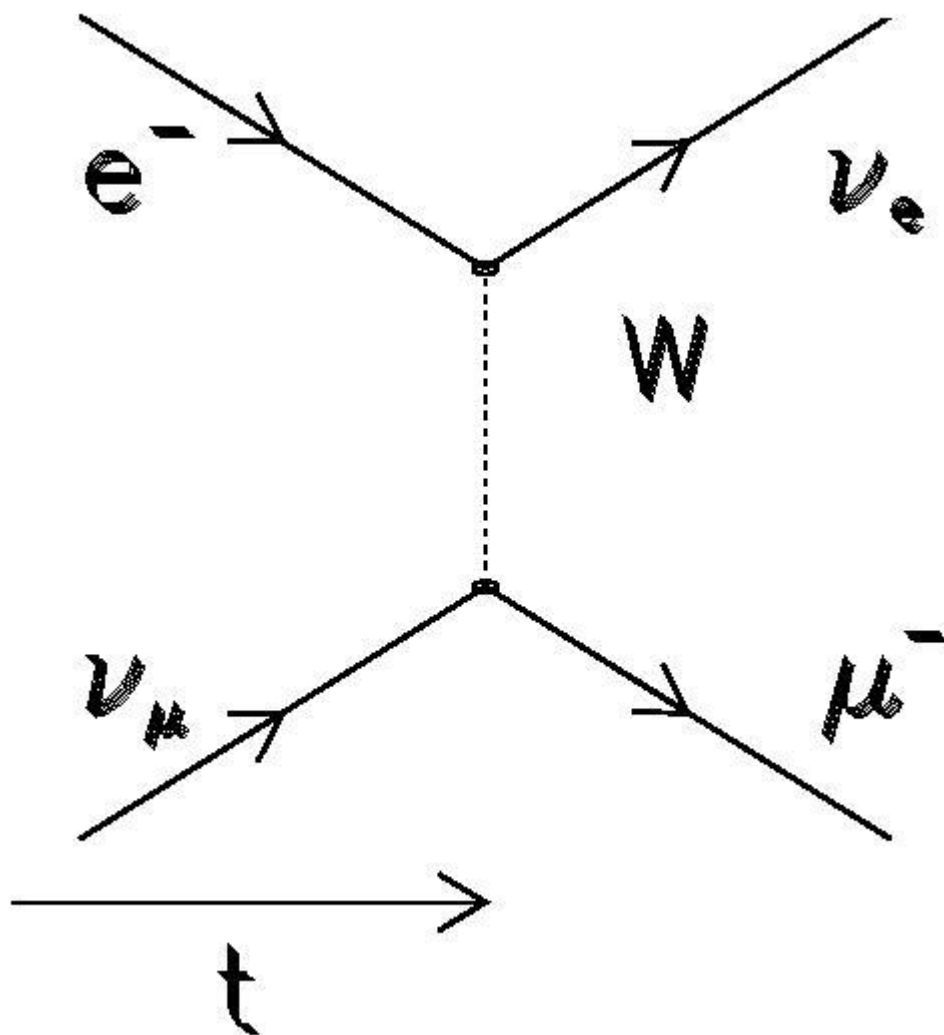
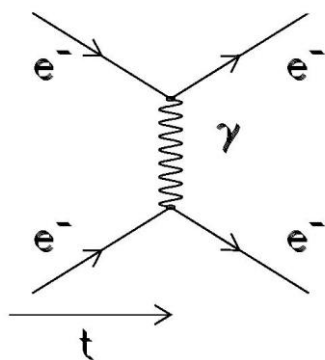
Částice můžeme rozdělit i podle jiného kritéria. Jednou z vlastností, kterou částice mají, je *spin*. V makroskopickém světě je její analogií moment hybnosti (točivost). Hodnoty, které tato fyzikální veličina může u elementárních částic nabývat, nejsou libovolné. Díky kvantovým vlastnostem jsou možné pouze poločíselné nebo celočíselné násobky *Planckovy konstanty*. Mluvíme pak o částicích s poločíselným a celočíselným spinem. Částice, které mají spin poločíselný, se nazývají fermiony a částice s celočíselným spinem bosony. Fermiony a bosony se díky svému spinu chovají velice rozdílně. Dva identické fermiony nemohou být v jednom stavu. Naopak počet identických bosonů v jednom stavu není omezen. Částice hmoty jsou fermiony, neboť kvarky i leptony mají spin 1/2. Částice z nich složené mohou mít spin jak celočíselný (z kvarku a antikvarku složené mezony) tak i poločíselný (ze tří kvarků složené baryony).

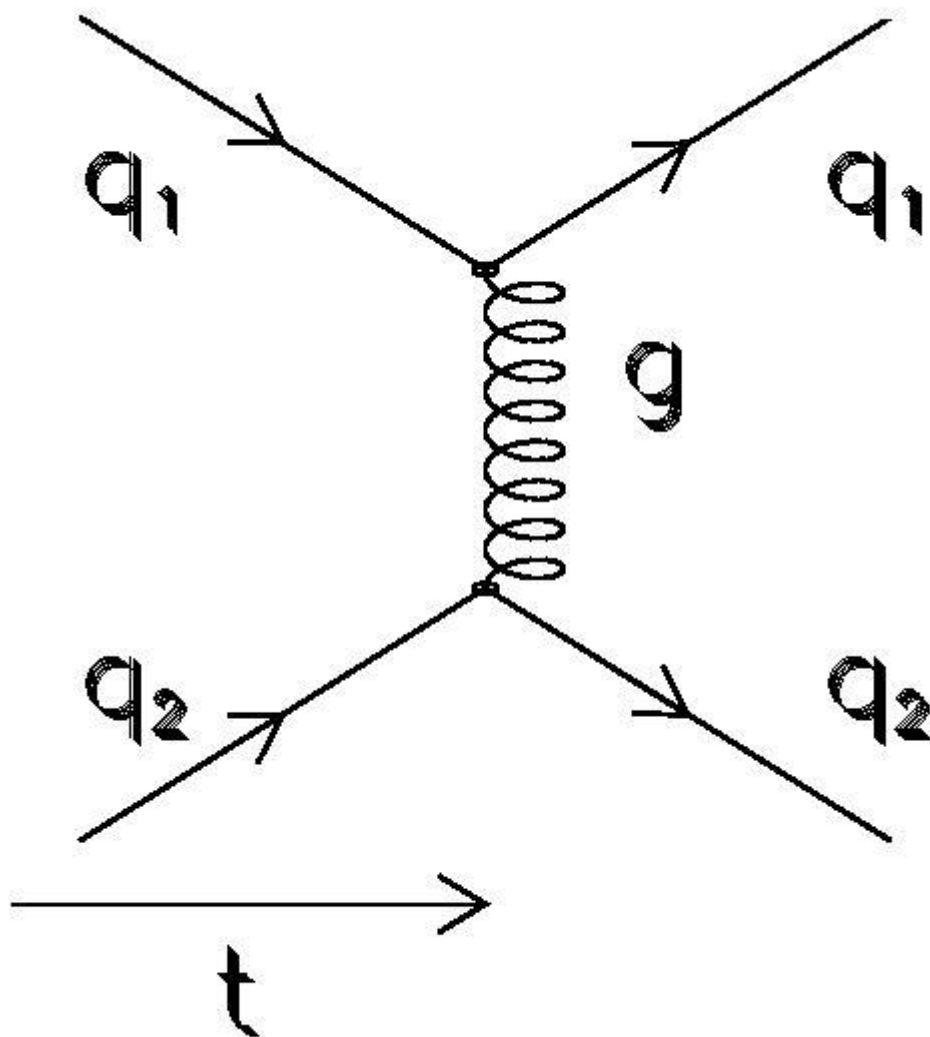


Obr.1) Standardní model - částice hmoty a interakcí.

Interakce mají výměnný charakter a jsou zprostředkovány částicemi. Kromě částic hmoty existuje tedy ještě řada částic interakcí. Interakce probíhá tak, že na přechodnou dobu vznikne částice interakce, pro kterou v dané chvíli neplatí zákon zachování energie ani relativistický vztah mezi energií, hybností a klidovou hmotností. Hovoříme pak o *virtuální částici*. Součin velikosti narušení zákona zachování energie a doby existence takového narušení nesmí být větší než Planckova konstanta. Tato zákonitost je důsledkem známého *Heisenbergova principu neurčitosti*. Virtuální částice nelze pozorovat, pozorujeme jenom důsledky jejich existence v podobě interakce. Pokud ovšem dodáme dostatečné množství energie, mohou se stát částice pole reálnými a můžeme je pozorovat stejně jako částice hmoty. Podobnost mezi částicemi hmoty a interakcí je ještě úplnější, neboť ve vakuu neustále vznikají páry virtuálních částic a antičástic hmoty i interakcí. Částice interakcí mají na rozdíl od částic hmoty celočíselný spin a říká se jim *intermediální bosony*. Silná interakce je zprostředkována osmi různými *gluony* a popisuje ji teorie, kterou označujeme jako kvantovou chromodynamiku. Elektromagnetická interakce je zprostředkována dobře

Eb 60) Bosony. Moje vzorečky. Higgs-boson, Wagner r.2004, známým *fotonem* a je popsána kvantovou elektrodynamikou. Slabá interakce je pak zprostředkována trojicí částic W^+ , W^- a Z a popisuje ji teorie elektroslabých interakcí.





Obr.2) Výměnný charakter jednotlivých interakcí zobrazený pomocí Feynmanových diagramů. Příklady pro jednotlivé interakce: vlevo je elektromagnetická interakce - rozptyl dvojice elektronů zprostředkovaný virtuálním fotonem, uprostřed slabá interakce - reakce elektronu a mionového neutrína za vzniku mionu a elektronového neutrína zprostředkovaná virtuálním W bosonem a vpravo silná interakce - rozptyl kvarku na kvarku zprostředkovaný gluonem.

Jak tedy vypadá skládanka našeho světa v popisu standardního modelu? Kvarky jsou drženy silnými interakcemi v baryonech a mezonech. Nejlehčími baryony jsou proton a neutron. Ty tvoří atomová jádra, ve kterých je pohromadě drží jaderná síla zprostředkovaná mezony. Jaderná síla ovšem není úplně novou interakcí, je jen dalším projevem silné interakce. Atomová jádra svým elektrickým nábojem daným počtem protonů drží pomocí elektromagnetické interakce nejlehčí nabitě leptony - elektrony. Dostáváme známé atomy a ty se díky molekulárním vazbám mohou vázat do molekul. Molekulární síly zprostředkované výměnou elektronů zase nejsou novým typem interakce, ale pouze projevem elektromagnetické interakce. To je oblast působnosti chemie, biologie a dalších věd ve vši jejich komplexnosti. Kde se projevuje slabá interakce? Ta umožňuje přeměnu jednoho kvarku na jiný nebo jednoho leptonu na jiný a je například zodpovědná za rozpad beta jader, tj. za radioaktivitu beta.

A kde je naše hledaná Higgsova částice? Zatím jsme ji nezmínili ani mezi částicemi hmoty a ani mezi částicemi zprostředkujícími interakce. Pro její vysvětlení se musíme ponořit hlouběji do struktury popisu interakcí ve standardním modelu.

Co je to Higgsův mechanismus a Higgsův boson?

Ve fyzikálním popisu světa a tedy i standardním modelu mají velmi důležitou úlohu *symetrie*. Tedy ty vlastnosti, kdy se při změně (transformaci) některých charakteristik daného systému jiné charakteristiky měnit nebudou. Máme-li například dvouhlavou kartu a otočíme ji o 180° , nezmění se její vzhled. Je symetrická vůči otočení o 180° . Ve fyzice pak symetrií myslíme to, že fyzikální zákonitosti se nemění při změně některého parametru. Symetrie jsou spojeny se *zákony zachování* některých fyzikálních veličin. Tak se fyzikální zákonitosti nemění, jestliže je budeme určovat nyní, před sto lety nebo naopak za sto let. Tato symetrie spojená s posunem na časové ose vede k zákonu zachování energie. Podobně se fyzikální zákonitosti nemění, jestliže se přesuneme z jednoho místa prostoru na druhé. Tato symetrie vůči posunutí (translaci) vede k zákonu zachování hybnosti.

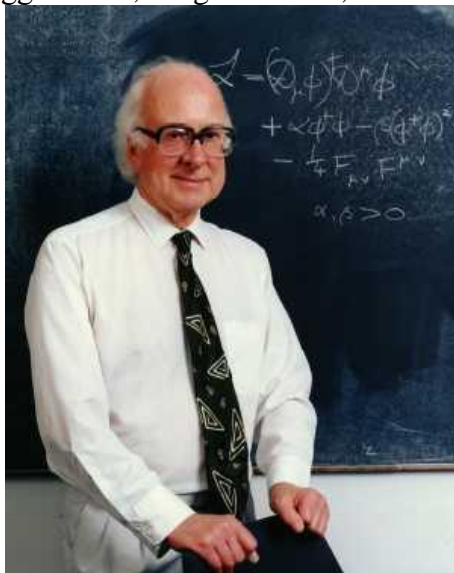


Obr.3) Vzhled dvojhavé karty se po otočení o 180° nezmění.

Kromě prostoročasových transformací a s nimi spojených symetrií a zákonů zachování se ve fyzice vyskytuje řada transformací jiných fyzikálních veličin a s nimi spojených symetrií. Řada z nich například popisuje necitlivost některých fyzikálních veličin a vlastností vůči změně náboje. Mluvíme pak o transformacích v nábojových prostorech a s nimi spojených symetriích.

Jednou z velmi důležitých symetrií, které se objevují při popisu interakcí mezi částicemi, je *kalibrační symetrie*. Popisuje takovou vlastnost, kdy se měřitelné veličiny nezmění při změně funkce, která je popisuje, o stejnou konstantu (případně násobek) ve všech bodech. Jestliže například přičteme ve všech bodech k potenciálu, který popisuje elektrické pole, konstantu, nezmění se napětí (rozdíl potenciálu) i další měřitelné elektrické veličiny.

Kalibrační symetrie platí i v kvantové teorii, která popisuje elektromagnetickou interakci - v kvantové elektrodynamice. V tomto případě se pozorovatelné veličiny nemění, když je vlnová funkce popisující fyzikální systém násobena speciální konstantou (komplexní jednotkou). Jestliže požadujeme, aby se tato konstanta mohla měnit v prostoročase (mluvíme pak o lokální kalibrační transformaci), musíme při požadavku neměnnosti pozorovatelných veličin při této transformaci zavádět tzv. kompenzující pole, která vedou k existenci částic s nulovou klidovou hmotností. Jedná se o dobře známé fotony, které elektromagnetickou interakci zprostředkují.



Obr.4) Objevitel Higgsova procesu a autor předpovědi existence Higgsova bosonu skotský fyzik Peter Higgs

Při hledání společného popisu elektromagnetické a slabé interakce bylo třeba vysvětlit obrovský rozdíl v dosahu elektromagnetické a slabé interakce. Elektromagnetická interakce má nekonečný dosah, což je v souladu s tím, že je zprostředkována fotonem s nulovou klidovou hmotností. Velmi krátký dosah slabé interakce lze vysvětlit tím, že je zprostředkována částicemi s velmi velkou klidovou hmotností. Jak už bylo zmíněno dříve, umožňuje kvantová fyzika porušení zákona zachování energie, ale jen na velmi krátkou dobu. A to tím kratší, čím je větší toto porušení. Jestliže má tedy zprostředkující částice velkou klidovou hmotnost, byla by potřeba k jejímu vzniku velká energie a může existovat ve virtuální podobě jen velmi krátce. Takto zprostředkovaná interakce může dosáhnout jen do krátkých vzdáleností dostupných nejvýše rychlostí světla v době povolené Heisenbergovým principem neurčitosti.

Steven Weinberg, Abdulus Salam a Sheldon Lee Glashow zjistili, že v případě popisu slabé interakce **se před chvílí zmíněná lokální kalibrační symetrie narušuje**. Jak už dříve zjistil Peter Higgs, tento jev nazývaný **spontánním narušením symetrie zákonitě vede ke vzniku nového pole** i nové neutrální částice se spinem 0, která byla podle něho nazvána *Higgsovým bosonem*. Důsledkem existence Higgsova pole je navíc to, že některé z částic zprostředkujících elektroslabé interakce, **kteřé měly původně nulové klidové hmotnosti, velmi výrazně ztěžknou** a jimi způsobovaná interakce má tak požadovaný velmi krátký dosah. Higgsův proces, který je za toto "ztěžknutí" některých částic zodpovědný, si můžeme představit v následující analogii s pohybem elektronů v krystalové mřížce. Tam dochází k tomu, že elektrické pole, které vytváří kladně nabitá krystalová mřížka, ztěžuje pohyb elektronů a jejich efektivní hmotnost je tak mnohem větší než v prostředí bez elektrického pole. Stejně tak ztěžuje Higgsovo pole pohyb některých částic tak, že jejich "efektivní" hmotnost velmi vzroste. Existence zmíněných částic způsobujících slabou interakci a nazvaných W^+ , W^- a Z , které Weinberg, Glashow a Salam ve své teorii spojující slabou a elektromagnetickou interakci předpověděli, byla potvrzena na urychlovači SPS v CERNu a jejich klidové hmotnosti určeny na 80,4 a 91,2 GeV/c². Higgsovo pole však není příčinou hmotnosti pouze intermediálních bosonů slabé interakce, ale stojí i za částí hmotnosti částic hmoty.

Bohužel nám teorie samotná není schopna předpovědět klidovou hmotnost Higgsova bosonu. Odhady, které dává, se velmi liší a závisí na její variantě. Nejjednodušší z nich dávají odhad hmotnosti v rozmezí jednonásobku a dvojnásobku klidové hmotnosti Z a W částic. Přesnější limity pro hmotnost lze určit z měřených hmotností a dob života těžkých částic (Z , W , kvarku t). Spodní hranici klidové hmotnosti lze například ocenit z doby života Z bosonu, k jehož rozpadu by měl Higgsův boson přispívat v míře nepřímo úměrné jeho hmotnosti. Doba života je velmi krátká a díky Heisenbergovu principu neurčitosti vede k rozmazání hodnoty klidové hmotnosti (energie). Experimenty na urychlovači LEP změřily velmi přesně šířku tohoto rozmazání klidové energie bosonu Z na 2,4952(23) GeV. Odtud můžeme dostat dolní limitu na hmotnosti Higgsovy částice. Podobně lze získat limity na hmotnosti Higgsova bosonu z porovnání hmotností W částice a t kvarku. Obecně je určení horní limity daleko komplikovanější a

Eb 60) Bosony. Moje vzorečky. Higgs-boson, Wagner r.2004, zároveň je více závislé na použitém modelu. Máme vytýčenou oblast hmotností, kde lze hledanou částici očekávat, můžeme se vypravit na lov.

Souboj evropských a amerických hochů

”Ptáte se, zdali mi šlo především o zisk? Myslím, že ne. Šlo mi o to porazit ostatní hochy.”

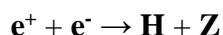
T. A. Edison

Jak je vidět, byl by objev Higgsova bosonu opravdu velice cenná trofej, která by pravděpodobně šťastnému lovcovi přinesla i Nobelovu cenu. Není tedy divu, že si na něj brousí zuby řada částicových fyziků, celých týmů i laboratoří. Také při lovu Higgse je možno pozorovat rivalitu mezi Amerikou a Evropou. Situaci lze docela dobře vystihnout uvedeným citátem T. A. Edisona.

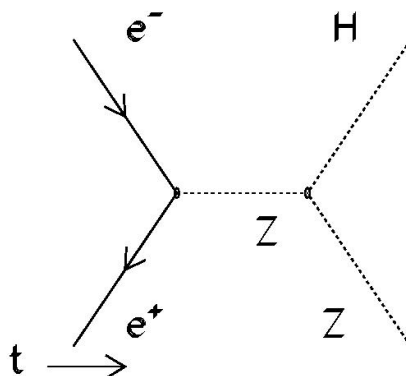
Higgsův boson na LEP v evropské laboratoři CERN

Jen krůček od polapení Higgsova bosonu byl pravděpodobně urychlovač LEP v evropské mezinárodní laboratoři CERN nedaleko Ženevy. Tento urychlovač srážející vstříčné svazky elektronů a pozitronů umožňoval dosáhnout v těžišťové soustavě a v daném případě i v laboratoři energii od 189 GeV až do hodnoty 209 GeV. Postupně se totiž vylepšovaly parametry urychlovače, přidávaly se nové výkonnější magnety a energie srážejících se elektronů a pozitronů se zvyšovala.

Při srážce elektronu a pozitronu na LEP by se měl Higgsův boson **H** produkovat hlavně ve dvojici se **Z** bosonem v procesu, který lze napsat ve tvaru:



Další malý příspěvek by měl pocházet od sloučení dvojice **Z** bosonů nebo **W⁺**, **W⁻** bosonu, které při takové srážce elektronu a pozitronu mohou také vzniknout. V dalším vysvětlování se omezíme na hlavní příspěvek do produkce Higgsových bosonů. Při vzniku dvojice **H** a **Z** bosonů máme na produkci Higgsova bosonu maximálně 118 GeV. Dojde k tomu ve chvíli, kdy se veškerá kinetická energie 209 GeV přemění na klidovou energii (hmotnost) dvojice částic.



Obr.5) Feynmanův diagram zobrazující nejčastější způsob produkce Higgsova bosonu v rozptylu elektronu a pozitronu. Při rozptylu vznikne virtuální boson **Z** a ten vytvoří dvojici reálných **Z** a **H** bosonů

Jaké částice budeme v konečném důsledku pozorovat a jak komplikovaná bude identifikace vzniku Higgsova bosonu, závisí na tom, jak se rozpadá Higgsův boson a **Z** boson.

Z boson se rozpadá na dvojici leptonů (**e⁺e⁻**, **mi⁺mi⁻**, **τ⁺τ⁻**). Na každou z této trojice dvojic připadá téměř 3,4 % případů. Ve 20 % případů se rozpadá na nepozorovatelné částice (dvojice neutrino a antineutrino) a mluvíme pak o neviditelném kanálu rozpadu. Zbývajících 70 % případů připadá na rozpady ve formě kvarků a v konečném důsledku hadronů.

Pro rozpad Higgsova bosonu předpovídá standardní model v případě jeho klidové energie dosažitelné v experimentech na urychlovači LEP hlavně možnost rozpadu na dvojici kvarku a antikvarku **b** (74 %). Zbytek pak tvoří rozpady na dvojici leptonů **τ⁺τ⁻**, bosonů **W⁺W⁻**, gluonů **gg** (každý z těchto rozpadů přispívá sedmi procenty) a rozpad na dvojici kvarku a antikvarku **c**, který by měl tvořit 4 % případů.

Eb 60) Bosony. Moje vzorečky. Higgs-boson, Wagner r.2004,

Při hledání vzniku a rozpadu Higgsova bosonu na urychlovači LEP se tak analyzovaly příslušné kombinace částic pocházejících z rozpadu. Kandidáty můžeme rozdělit do několika skupin:

1. Konečný stav se čtyřmi výtrysky - rozpad ($H \rightarrow b \text{ anti-}b$) ($Z \rightarrow q \text{ anti-}q$)
2. Příklad s "chybějící energií" ($H \rightarrow b \text{ anti-}b$) ($Z \rightarrow \nu \text{ anti-}\nu$)
3. Leptonový rozpad ($H \rightarrow b \text{ anti-}b$) ($Z \rightarrow l^+l^-$), kde l označuje elektron nebo mion
4. Tauonový rozpad ($H \rightarrow b \text{ anti-}b$) ($Z \rightarrow \tau^+\tau^-$) nebo ($H \rightarrow \tau^+\tau^-$) ($Z \rightarrow q \text{ anti-}q$)

Každý vzniklý vysokoenergetický kvark se přeměnil na výtrysk částic interagujících silnou interakcí - hadronů, které můžeme zachytit. Také nabitě leptony můžeme díky elektromagnetické interakci zachytit. Pouze neutrální leptony (neutrino) nedokážeme zaregistrovat a dozvíme se o nich jen podle nezachycené - "chybějící" - energie.

Jestliže změříme energii a hybnost původních částic vzniklých v rozpadu, můžeme určit klidovou hmotnost rozpadající se částice. I když však zachytíme předpokládané částice a spočtené hmotnosti budou odpovídat hmotnosti Z bosonu a předpokládané hmotnosti Higgse, nemusí se pořád ještě jednat o důkaz existence Higgsovy částice. Podobná kombinace se může náhodně objevit i při vzniku a rozpadu dvojice Z bosonů nebo i v jiném případě. Tak vzniká nežádoucí pozadí. Nemůžeme zjistit, zda konkrétní případ patří do pozadí, nebo je to reálný případ vzniku Higgsovy částice. Pozadí však vzniká při vzniku a rozpadech známých částic a jeho velikost dokážeme předpovědět a spočítat. Zjišťujeme pak, zda počet případů s charakteristikami vzniku Higgsova bosonu přesahuje předpokládané pozadí.

Potřebujeme zachytit co nejvíce částic vznikajících při srážce, proto se staví velmi složitý a velký systém detektorů obklopujících místo srážky. Hlavním úkolem je zachytit vznikající částice s velmi vysokou energií. Jak plyne z předchozího, jsou tyto částice dvou typů. Jednak se jedná o leptony a potom o hadrony ve výtryscích. Každý z těchto typů částic interaguje při průchodu hmotou detektoru jiným způsobem. V dalším popisu předpokládáme primární částice s velmi vysokou (relativistickou) energií.

Leptony interagují pouze pomocí elektromagnetické interakce. Při pohybu hmotou jsou bržděny v elektrickém poli atomových jader a produkují fotony takzvaného brzdného záření. Jestliže tyto fotony mají vysokou energii, mohou v elektromagnetickém poli atomového jádra produkovat páry elektronu a pozitronu, případně i mionu a antimionu. Ty pak zase produkují brzdné záření. Vzniká tak směs velkého množství leptonů a fotonů, které se pohybují ve směru původní částice - *elektromagnetická sprška*. Elektromagnetická sprška je užší a proniká mnohem dále než hadrony.

Hadrony interagují hlavně silnou interakcí. Při průchodu hmotou tříští jádra a v průběhu těchto hadron-jaderných reakcí vzniká velké množství dalších hadronů, které se pohybují ve směru původní částice ale ve stále více se rozšiřujícím kuželu. Vzniká *hadronová sprška*, ta je široká a neproniká tak daleko jako elektromagnetická sprška.

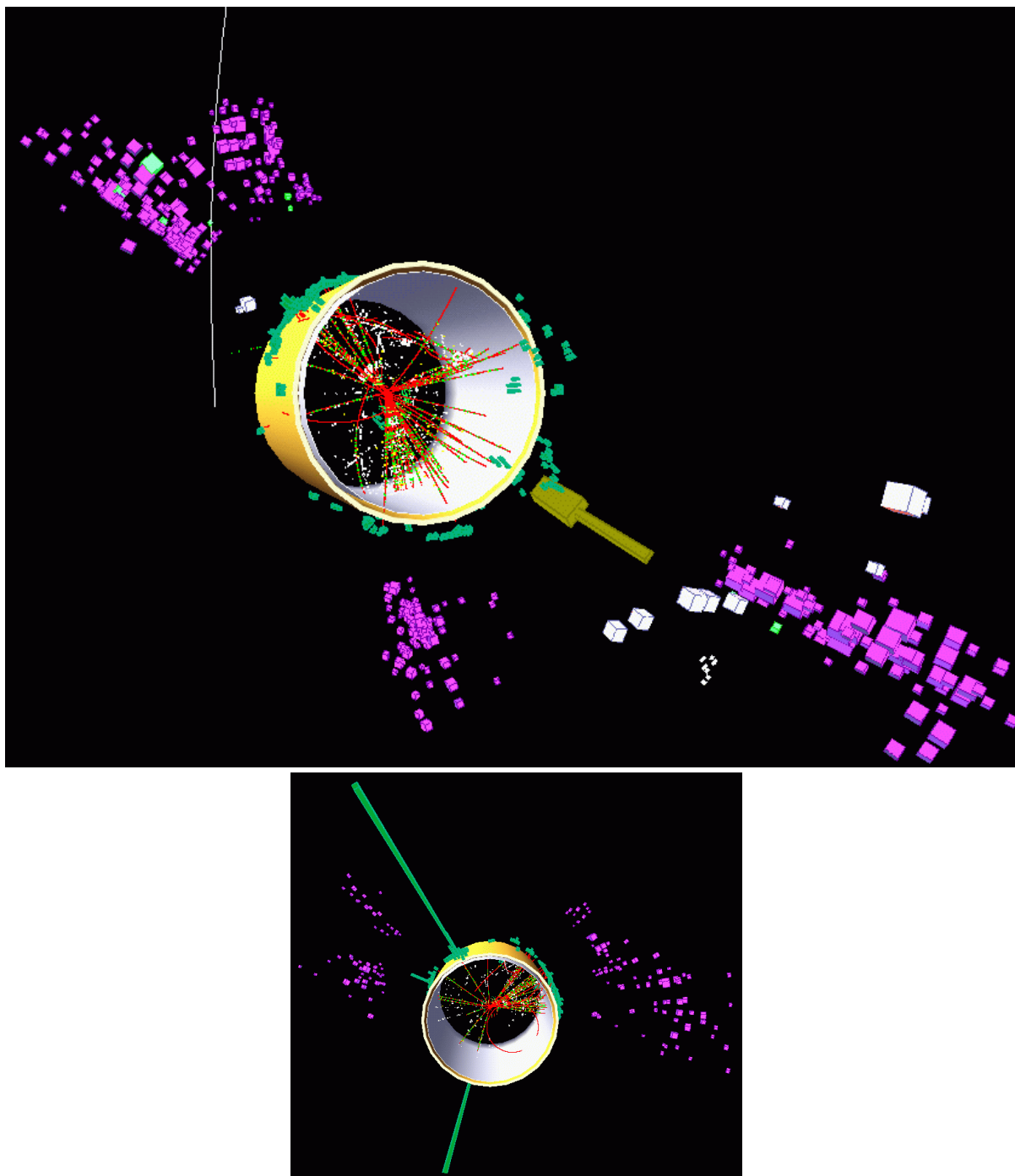
Obr.6) Příklady kalorimetrů: vlevo je hadronový kalorimetr experimentu L3, vpravo pak elektromagnetický kalorimetr experimentu OPAL. (Zdroje laboratoře CERN)

Je velmi důležité zjistit celkovou energii původní částice a tedy zachytit celou spršku. Zařízení, které zachycuje veškerou energii produkovanou daným jevem, se nazývá kalorimetr. Protože charakter elektromagnetických a hadronových spršek je velmi odlišný, musí se pro zachycování každé z nich stavět jiný typ kalorimetru. V hadronové spršce jsou těžké částice interagující silnou interakcí. Přesto je při velmi vysoké energii původních částic potřeba velké množství materiálu pro její úplné zastavení. V elektromagnetické spršce jsou lehké částice interagující pouze elektromagneticky. Proto jsou pro její zastavení potřeba atomy s velmi vysokým protonovým číslem a velkou hustotou (třeba olovo). Jedněmi z nejdůležitějších a nejmohutnějších součástí sestavy pro lov Higgsova bosonu jsou tedy obrovský vnitřní elektromagnetický kalorimetr a ještě větší vnější hadronový kalorimetr, jejichž hmotnost bývá mnoho tun.

Obr.7) Základy konstrukce experimentu L3 a tým tohoto experimentu. (Zdroje laboratoře CERN)

Eb 60) Bosony. Moje vzorečky. Higgs-boson, Wagner r.2004,

Kromě složitého systému detektorů jsou nejdůležitější parametry urychlovače. Jestliže je energie potřebná k produkci hledané částice velmi blízká hranici, kterou lze na příslušném urychlovači dosáhnout, je velmi malá pravděpodobnost její produkce. V takovém případě je nutné mít co největší množství srážek (co největší intenzitu svazku částic urychlovače) a experiment provádět co nejdelší dobu. V CERNu se data, ve kterých se hledala Higgsova částice kumulovala téměř čtyři roky, i když samotný LEP pracoval téměř jedenáct let. V první etapě měl urychlovač nižší energii, která nestačila pro produkci této částice.



Obr.8) Případy, které by mohly být způsobeny rozpadem H a Z částic, pozorované experimentem OPAL. Vlevo rozpad ($H \rightarrow bb$) ($Z \rightarrow qq$) končící vytvořením čtyř výtrysků (čtyři široké hadronové spršky vyznačené fialovou barvou), vpravo případ ($H \rightarrow bb$) ($Z \rightarrow l^+l^-$) končící dvěma hadronovými sprškami a dvěma úzkými elektromagnetickými sprškami (vyznačeny zelenou barvou). (Zdroje experimentu OPAL v CERNu)

Eb 60) Bosony. Moje vzorečky. Higgs-boson, Wagner r.2004,

V CERNU se na urychlovači LEP věnovaly hledání Higgsovy částice všechny čtyři experimenty: ALEPH, DELPHI, L3 a OPAL. Každý z nich zaznamenal několik případů, které by mohly dokazovat vznik Higgsovy částice. Ovšem počet takových případů byl u všech experimentů blízký počtu předpokládaném pro pozadí. Dva experimenty byly slabě nad pozadím a jeden pod. Navíc byly kandidáti zaznamenáni hlavně v posledních měsících běhu experimentu, kdy dosahoval urychlovač LEP po vylepšeních nejvyšších energií. Při počtu několika málo kandidátů, kteří byly v průběhu měření zachyceni, je pak těžké rozhodnout, zda přebytek jednoho nebo dvou případů nad pozadím je způsoben opravdu existencí Higgsovy částice, nebo jde jen o hru statistiky. Ke slovu přichází složité statistické a pravděpodobnostní analýzy. Komplexní rozbor společné analýzy všech čtyř experimentů na urychlovači LEP lze najít například v práci CERN-EP/2003-011 přístupné na WWW stránkách CERNu. Velmi zjednodušeně lze hlavní závěry shrnout do dvou vět. Hmotnost Higgsovy částice je větší než 114 GeV. Hypotéza, že data odpovídají existenci Higgsova bosonu s hmotností 115 GeV a pozadí je o chloupek pravděpodobnější než hypotéza odpovídající čistému pozadí. To pochopitelně nemůže být přijato jako důkaz existence Higgsova bosonu. Z velmi přesného měření hmotnosti, doby života a dalších vlastností těžkých částic **Z**, **W** a kvarku **t** se tak "pouze" podařilo velice přesně ohraničit možné vlastnosti Higgsova bosonu.

Pro získání statistiky dostatečné k rozřešení, zda je přebytek Higgsů nad pozadím reálný, by bylo třeba provozovat urychlovač LEP ještě nejméně rok. Po velmi bouřlivé a dlouhé diskusi se vedení laboratoře CERN rozhodlo, že přece jen urychlovač LEP v roce 2000 uzavře, aby se v jeho tunelu mohl co nejrychleji postavit nový výkonnější urychlovač LHC (Large Hadron Collider).

Tady se trochu opakuje situace při lovu top kvarku, nejtěžšího z kvarků standardního modelu. Také v tomto případě se podařilo v CERNu velice přesně vymežit možné hmotnosti a vlastnosti kvarku **t**. Ovšem "jeho přímého" polapení už evropští fyzikové nedosáhli. Jejich výsledky pak pomohly americkým vědcům, kteří na urychlovači TEVATRON ve Fermilabu kvark **t** vyprodukovali a mohli se těšit z Nobelovy ceny. Takže i u Higgsova bosonu je teď na řadě Fermilab ve Spojených státech.

Na řadě je Fermilab v Americe

V této laboratoři byl v roce 1987 postaven urychlovač TEVATRON, který sráží protony a antiprotony. V takovém případě může Higgsův boson vzniknout ve srážkách jednotlivých kvarků, které protony a antiprotony tvoří. Energie urychlených protonů a antiprotonů je 1000 GeV. Ovšem tuto energii nese celý proton. Na jednotlivý kvark, který by měl ve srážce produkovat Higgsovu částici, připadá jen menší část této energie. Kvarky tvořící proton jsou tři a navíc značná část energie připadá na virtuální gluony a páry kvarku a antikvarku. Navíc je díky komplikované struktuře protonu daleko větší pozadí a komplikovanější analýza jednotlivých případů. Takže i když je energie vyšší než u urychlovače LEP, není situace na TEVATRONu o tolik výhodnější. Hledání Higgsova bosonu se věnují dva z experimentů postavených na svazku TEVATRONu: CDF a DØ. Dopracovaly se k výsledkům srovnatelným s těmi, získanými na urychlovači LEP a předchozí hodnoty velice dobře potvrzují.

Obr.9) Experiment CDF ve Fermilabu (z archívu Fermilabu)

Doposud byly na TEVATRONu problémy se získáním potřebné vysoké intenzity svazku při co nejvyšší možné energii. Situace se však postupně zlepšuje. V poslední čtvrtině roku byly experimenty pozastaveny a urychlovač procházel intenzivní kontrolou a vylepšováním. Nyní už zase běží a je naděje, že se mu podaří Higgsu ulovit nebo alespoň upřesnit limity pro jeho hmotnost a další vlastnosti.

A zase Evropa - LHC v CERNu

Pokud TEVATRON ve Fermilabu neuspěje, budeme si muset na objev Higgsova bosonu počkat až někdy do roku 2007, kdy by se měl rozběhnout urychlovač LHC budovaný v laboratoři CERN a štafetového kolíku se opět chopí "evropští hoši". Urychlovač LHC bude srážet protony s energií 7000 GeV. To je sedmkrát více než u TEVATRONu. Urychlovač LHC by se měl stát přímo továrnou na výrobu Higgsů. Studovat je budou hlavně experimenty ATLAS, CMS a LHCb. Experiment ALICE bude primárně

Eb 60) Bosony. Moje vzorečky. Higgs-boson, Wagner r.2004, zaměřen na studium kvark-gluonového plazmatu, ale i tam se budou pochopitelně Higgsovy částice produkovat.

Také čeští vědci se účastní stavby experimentů na urychlovači LHC. Kolegové z Fyzikálního ústavu AVČR a MFF UK jsou zapojeni do budování experimentu ATLAS. Na stejném projektu pracují i naši spolupracovníci z ÚTEF ČVUT, se kterými máme společný projekt věnovaný výchově doktorandů a diplomantů. Jeden ze skupiny našich studentů provádí počítačové simulace stínění pro ATLAS a i díky němu získaly poměrně lukrativní zakázky na toto stínění české firmy. Naše skupina z ÚJF AVČR je zapojena do přípravy zařízení ALICE a i tam se možná o Higgsovy bosony zakopne. Pochopitelně, že se těchto projektů v CERNu účastní i kolegové ze Slovenska, takže dnešní i budoucí studenti českých i slovenských vysokých škol fyzikálního a technického směru se mohou plně do honby za Higgsovými částicemi v barvách Evropy zapojit.

Je vidět, že se lov Higgsovy částice stává přesně podle Edisonových slov citovaných v záhlaví článku dlouhodobější, náročnější a pracnější záležitostí, než se mohlo zpočátku zdát. A to jsme ještě nehovořili o tom, že některé teorie předpovídají větší počet různých Higgsových částic. Přesto lze očekávat, že nejpozději krátce po startu urychlovače LHC je budeme mít v hrsti. I když ještě daleko zajímavější by mohlo být, kdyby se ani na LHC Higgsovy bosony neobjevily. To by mohlo velice radikálně změnit naše představy o světě hmoty a interakcí.

V Řeži, únor 2004

Vladimír Wagner