

LU TP 15-mn
June 2015



LUND
UNIVERSITY

**Improving off-shell calculations of charged Higgs to quarks
decays**

Rasmus Hansen

Department of Astronomy and Theoretical Physics, Lund University

Bachelor thesis supervised by Johan Rathsman

Populärvetenskaplig beskrivning

Länge har människor undrat hur världen fungerar och vad den består av. De gamla grekerna trodde att världen bestod av de fyra elementen och att de byggdes upp av polyedrarna. Under tidigt nittonhundratal kom man på atommodellen, men man insåg snabbt att atomen inte kunde vara fundamental utan att den måste bestå av mindre saker. Elektronen upptäcktes snart, och protonen och neutronen likaså. På 50- och 60-talet upptäcktes allt fler partiklar i accelerators och från kosmisk strålning och man började misstänka att protonen, neutronen och alla de andra nya partiklarna inte var fundamentala utan bestod av ännu mindre beståndsdelar. Kvarkelementen arbetades fram och bekräftades strax därefter, och än så länge finns det inga experiment som antyder att kvarkar består av ytterligare mindre partiklar.

Vår värld byggs upp av tolv partiklar, indelade i två typer kallade kvarkar och leptoner (elektronen, neutrino och dess tyngre varianter), som interagerar på fyra olika vis. Tre av dessa interaktioner sker via en tredje typ av partiklar, bosoner, och den fjärde interagerar på ett ännu okänt vis men beskrivs av relativitetsteorin. De tre som interagerar via bosoner är den elektromagnetiska kraften, vars kraftbärare är fotonen, den starka kraften, som överförs via åtta gluoner, och den svaga kraften som växelverkar via Z - och W^\pm -bosonerna, medan gravitationen verkar på ett ännu okänt vis. Endast Z - och W^\pm -bosonerna har massa, vilket i Standardmodellens tidiga stadie var ett problem då den teori som behandlar bosoner, gauge teorin, förutspådde att alla skulle vara masslösa. Lösningen på detta problem är Higgsmekanismen, som medför att W^\pm och Z blir massiva samtidigt som fotonen förblir masslös. Den förutspår även en helt ny partikel, Higgspartikel, som detekterades i experiment vid CERN år 2012.

Trots att Standardmodellen är bra förklarar den inte allt och det finns en del luckor i den, vilket motiverar fysiker att undersöka nya modeller bortom Standardmodellen. Den minsta naturliga expansionen av Higgsmekanismen kallas två Higgsdublettmodell, 2HDM, och gör att man får så mycket som fem olika typer av Higgspartiklar samtidigt som W^\pm och Z förblir massiva. Två av dessa interagerar snarlikt som den som hittats, men de resterande tre har andra intressanta egenskaper. Detta arbete ämnar förbättra metoden som beräknar hur ofta den elektriskt laddade Higgspartikel kommer sönderfalla till en toppkvark, som snabbt sönderfaller till en W^\pm -boson och en bottenkvark eftersom den är så tung, och en bottenkvark i datorprogrammet 2HDM Calculator. 2HDMC är, som namnet antyder, en kalkylator som beräknar hur snabbt och till vad de nya Higgspartiklarna kommer sönderfalla. Programmet kan användas till att analysera och tolka resultat från högenergiacceleratorer, som LHC, och jämföra teoretiska förutsägelser med experimentell data samt att, eftersom ingen av de nya higgpartiklarna funnits, sätta gränser och krav på de nya fria parametrarna i 2HDM.

Sökandet efter fler Higgspartiklar pågår just nu på CERN, och även om de inte hittat några har det satts statistiska gränser på hur stor sannolikheten är att en produceras eftersom om sannolikheterna hade varit större, hade de redan varit funna. På så sätt kan de sätta övre gränser på deras så kallade greningsförhållanden, vilka kan tolkas som sannolikheten att en viss reaktion sker. Under sökandet har man antagit att det enda

sönderfall av den laddade Higgspartikeln som bidrar märkbart när dess massa är mindre än bottenkvarkens massa plus toppkvarkens massa är till en taulepton, elektronens tyngsta kusin, och en neutrino. Trots att energin i en process måste vara bevarad är det möjligt att den laddade Higgspartikeln sönderfaller till en toppkvark och en bottenkvark även om dess massa egentligen är för liten, och detta 'omöjliga' sönderfall kan ha signifikant påverkan. Det kan låta konstigt att sönderfallet är möjligt även om Higgsmassan är mindre än den resulterande massan, men den resulterande toppkvarken kommer inte vara en verklig partikel och hade man kunnat frysa tiden och ser partiklarna som små kulor, hade man kunnat plocka upp bottenkvarken, Higgspartikeln och W^\pm -partikeln, men inte toppkvarken. Den existerar som ett inre mellantillstånd och är inte fysikalisk i den vardagliga meningen. Konsekvensen av detta arbete blir att greningsförhållandet att den elektriskt laddade Higgs sönderfaller till W och två bottenkvarkar inte längre blir helt försumbart, då för vissa val av parametervärden och laddad Higgsmassa nära $m_{top} + m_{botten}$ kommer det bidra mycket till sönderfall av den elektriskt laddade Higgspartikeln. Det innebär att man kan komma att behöva omvärdera de gränser som satts hittills på greningsförhållanden av experiment.