

# Nobelpriset i fysik 2008

*Varför finns det någonting istället för ingenting? Varför finns det så många olika elementarpartiklar? Årets Nobelpristagare har kommit med teoretiska insikter som har gett en djupare förståelse för vad som händer djupt inne i materiens minsta vrår.*

## Symmetribrott i stort och smått

I händelsernas centrum står naturens symmetrilagar. Eller rättare sagt brutna symmetrier – både sådana som verkar ha funnits i vår värld från början och sådana som uppstod när symmetrin spontant har gett upp sin ursprungliga ordning någonstans på vägen.

I själva verket är vi alla barn av ett symmetribrott. Det måste ha uppstått strax efter big bang för 14 miljarder år sedan då lika mycket materia och antimateria skapades. Mötet mellan de två är lika ödesdigert för dem båda – de utplånar varandra och bara strålningen blir kvar. Uppenbarligen har dock materien vunnit över antimaterien, annars skulle vi inte finnas här. Men det gör vi, och det tycks ha räckt med bara ett minimalt avsteg från den perfekta symmetrin – en materiepartikel extra på tio miljarder partiklar av antimateria fick vår värld att överleva. Denna lilla överskottsmateria blev frön till hela vårt universum, som fylldes med galaxer, stjärnor och planeter, och till slut även oss människor. Men vad som ligger bakom naturens sätt att lösa symmetribrottet i världsalltet är fortfarande en stor gåta och ett aktivt forskningsområde.

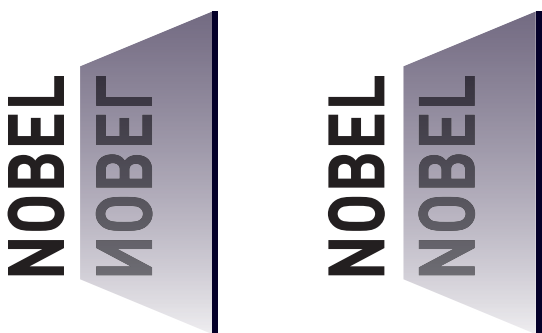


*Ett ännu ouppklarat symmetribrott vid universums födelse. I big bang skapades lika mycket materia som antimateria och i mötet borde de ha utplånat varandra. Men det räckte med en materiepartikel extra på tio miljarder partiklar antimateria för att materia skulle vinna över antimateria, och universum fylldes med galaxer, stjärnor och oss själva.*

## Såsom i en spegel

Fysiken har länge sett som sin uppgift att finna de naturlagar som döljer sig innerst inne bakom mångfalden av företeelser vi ser runtom oss. Naturlagarna skulle vara perfekt symmetriska och absoluta, gälla allt och överallt i hela universum. Den uppfattningen har visat sig hålla för det mesta, dock inte alltid. Så symmetribrotten blev i lika hög grad fysikens forskningsobjekt som symmetrierna själva – inte så märkligt i vår skeva värld där perfekt symmetri är ett sällsynt ideal.

Ändå hör olika symmetrier och symmetribrott till vår vardag: bokstaven A förändras inte när man ser den i en spegel, medan bokstaven Z bryter denna symmetri. Å andra sidan ser Z likadan ut om man vänder den upp och ner, prövar man samma konst med A blir det symmetribrott.



*Spegelsymmetri. Den är bruten på den vänstra bilden och behållen på bilden till höger, där det inte går att avgöra om man är i sin egen värld eller i spegelvärlden.*

I fysikens grundmodell för elementarpartiklarna talas det om tre olika symmetriprinciper: spegel-, laddnings- och tidssymmetrin (på fysikerspråket kallas spegelsymmetrin P – från paritet, laddningssymmetrin C – från charge, och T står för tidssymmetrin).

Med spegelsymmetrin ska alla händelser förlöpa exakt lika oberoende om man ser dem direkt eller i spegeln, det ska inte vara någon skillnad på höger och vänster och ingen människa ska kunna avgöra om hon är hos sig eller i spegelvärlden. Laddnings-

symmetrin säger att partiklar ska uppföra sig precis som deras alter egon, antipartiklarna, som har exakt samma egenskaper men motsatt laddning. Och enligt tidssymmetrin ska fysikaliska förlopp på mikronivån vara lika oberoende om de sker framåt eller bakåt i tiden.

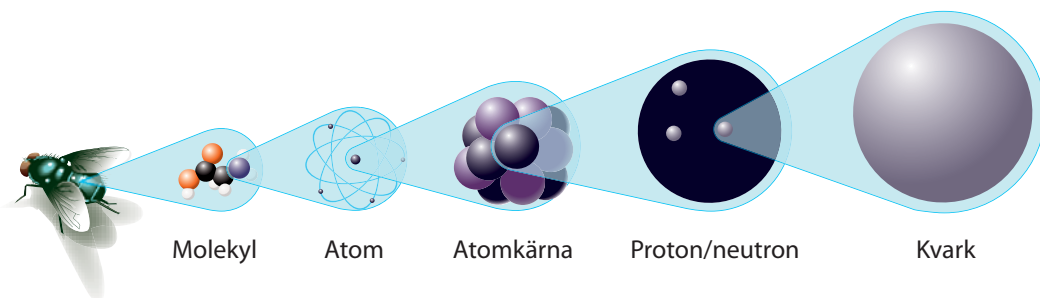
Symmetrierna har inte bara ett estetiskt värde i fysiken. De förenklar många snärjiga beräkningar och spelar därför en avgörande roll för den matematiska beskrivningen av mikrovärlden. Än viktigare är att symmetrierna leder fram till en mängd bevarandelagar på partikelnivå, som lagen om att energi i kollisioner mellan elementarpartiklar måste vara lika stor före som efter krocken. Det framgår av symmetrin i ekvationer som beskriver partikelkollisionerna. Eller lagen om bevarande av elektrisk laddning som hör ihop med symmetrin inom den elektromagnetiska teorin.

## Mönstret klarnar betydligt

Det var kring mitten på 1900-talet som en bruten symmetri först uppenbarade sig vid studier av materiens grundvalar. Då var fysikerna i full gång med att förverkliga sin stora dröm ända sedan antiken – att förena alla naturens minsta byggstenar och alla krafter i en enda sammanhållen teori.

Men till att börja med blev partikelfysiken bara allt krångligare – nya acceleratorer efter andra världskriget öppnade för en strid ström av aldrig tidigare skådade partiklar. De flesta passade

inte in i den bild fysikerna då hade av materien som bestående av atomer med neutroner och protoner i kärnan och elektroner runt om. En djupare dykning ner i materiens innersta avslöjade att protoner och neutroner i sitt inre gömde var sin kvarktrio. Även de tidigare nyfunna partiklarna visade sig bestå av kvarkar.



*In i materiens innersta. Kvarkar och elektroner är de minsta kända byggstenarna.*

Elementarpartiklar			Higgs?	Krafter		Förmedlarpartiklar	
	Första familjen	Andra familjen		Tredje familjen			
Leptoner	elektron neutrino	myon neutrino	tau neutrino	Higgs?	elektromagnetiska kraften	foton	
	elektron	myon	tau		svaga kraften	W, Z	
Kvarkar	upp	charm	topp		starka kraften	gluoner	
	ner	sär	botten				

*Standardmodellen idag. Den omfattar materiens allra minsta byggstenar och tre av naturens fyra grundläggande krafter. All känd materia är uppbyggd av partiklar i den första familjen, de andra är extremt kortlivade. För att fullborda modellen behövs en pusselbit till – Higgspartikeln – som fysikerna hoppas finna i världens största accelerator, LHC, vid Cern i Genève.*

Idag har nästan alla pusselbitarna fallit på plats, och en standardmodell för materiens odelbara grundvalar består av tre familjer partiklar (se ovan). Familjerna liknar varandra, dock är bara partiklarna i den första och lättaste familjen tillräckligt långlivade för att bygga upp världsalltet. I de två tyngre familjerna lever partiklarna under mycket instabila förhållanden och sönderfaller ögonblickligen till lättare sorters partiklar.

Och allting styrs av naturkrafterna. I standardmodellen ingår än så länge tre av naturens fyra grundläggande krafter tillsammans med sina budbärare, partiklar som förmedlar växelverkan mellan elementarpartiklarna (se höger ovan). Den *elektromagnetiska kraftens* förmedlare är den masslösa *fotonen*; den *svaga kraften*, som står för radioaktivt sönderfall och får solen och stjärnorna att lysa, förmedlas av de tunga så kallade *W-* och *Z-bosonerna*; medan den *starka kraften* bärs av *gluonen* som ser till att atomkärnorna håller ihop. Att gravitationen, den fjärde kraften som får oss att hålla fötterna på jorden ännu inte inlemmats i modellen är en kolossal utmaning för fysikerna idag.

## Spegeln bryts sönder

Standardmodellen utgör en syntes av fysikens allt djupare insikter om materiens innersta under hela förra seklet. Den står stadigt på ett teoretiskt fundament av kvantfysikens och relativitetsteorins symmetriprinciper och har visat sig hålla för otaliga prövningar. Men innan man fick mönstret helt klart för sig inträffade ett antal kriser som hotade den välav-

vägda konstruktionen. De hade att göra med att fysikerna tog naturens symmetrilagar för givna även i elementarpartiklarnas lilleputtvärld. Så var det inte riktigt skulle det visa sig.

Den första överraskningen kom redan 1956 då ett par kinesisk-amerikanska teoretiker, Tsung Dao Lee och Chen Ning Yang (Nobelpriset redan året därpå, 1957) utmanade spegelsymmetrin (P-symmetrin) hos den svaga kraften. Att naturen respekterade spegelsymmetrin, alltså symmetrin med avsikt på höger och vänster, sågs i likhet med andra symmetriprinciper som ett väletablerat faktum.

Men i kvantvärlden, där elementarpartiklarna vistas, behöver vi omvärdera gamla principer, uppmanade Lee och Yang, och föreslog en rad experiment för att testa spegelsymmetrin. Och mycket riktigt, bara några månader senare avslöjade sönderfallet av atomkärnan hos det radioaktiva grundämnet kobolt-60 att det inte följde spegelsymmetriens principer. Symmetrin blev bruten när elektronerna som lämnade koboltkärnan valde en av riktningarna framför en annan. Som om man stod länge framför centralstationen i Stockholm och såg de allra flesta passagerarna lämna stationen till vänster.

## Inneboende asymmetri avgör vårt öde

Måhända bryts laddnings- och spegelsymmetrierna var för sig, men båda två bryts väl inte samtidigt, den så kallade CP-symmetrin består, tröstade sig fysikersamhället med. Naturlagarna, trodde man, kommer inte att ändra sig om man kliver över till spegelvärlden där också all materia bytts ut mot antimateria.

Det i sin tur medför att om man träffar på en utomjording ska det inte finnas något sätt att avgöra om hon kommer från vår värld eller från antivärlden. En välkomstkram kan då få ödesdigra konsekvenser – som bekant blir bara en energipuff kvar när materia och antimateria förintar varandra i mötet.



*En kram? Vänta först tills symmetrin är upplärd, är utomjordingen gjord av antimateria leder kramen till att ni båda bara försvinner i en energipuff.*

Så det kanske bara är tur att den svaga kraften återigen hamnade i strålkastarljuset 1964. Ett nytt brott mot symmetrilagarna dök upp i det radioaktiva sönderfallet av en säregen partikel, en kaon (Nobelpris till James Cronin och Val Fitch 1980). En liten bråkdel av kaonerna följde inte de samtidiga spegel- och laddningssymmetrierna, de bröt mot den dubbla CP-symmetrin och därmed utmanade de hela teoribygget.

Inför mötet med utomjordingarna är upptäckten en räddning. Det borde räcka att före välkomstkramen be utomjordingen att titta noga på kaonens sönderfall hemma hos sig för att kolla om hon är gjord av samma stoff som vi eller av antistoffet.

Först med att påpeka symmetribrottets avgörande betydelse för hela världsalltets uppkomst var den ryske fysikern, fredskämpen och Nobelpristagaren Andrei Sacharov. År 1967 ställde han upp tre villkor för att få ihop en värld lik vår, tömd på antimateria: att fysiklagarna skiljer mellan materia och antimateria vilket faktiskt upptäcktes just i och med CP-symmetribrottet;

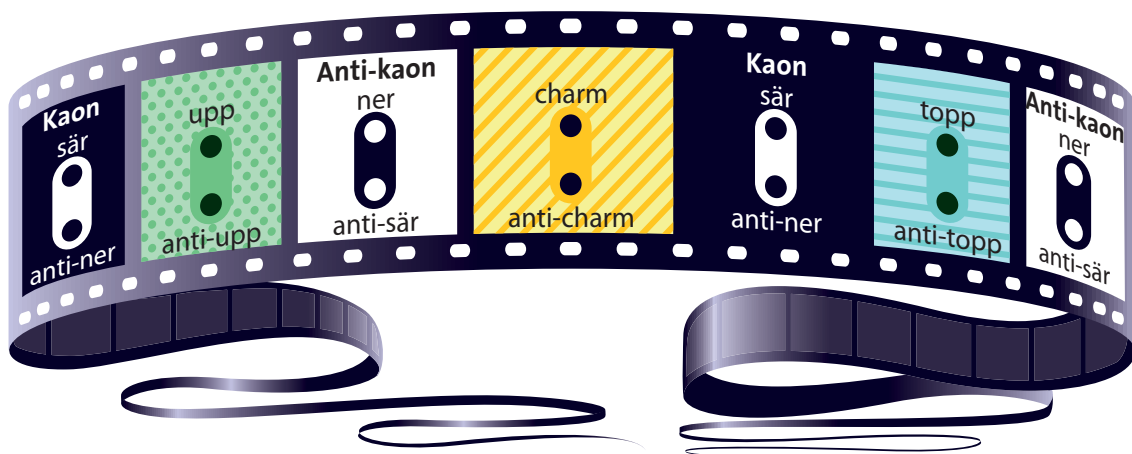
att världsalltet uppstod i big bangs hetta, samt att protonen som finns inuti varje atomkärna sönderfaller. Det sista villkoret skulle kunna leda till världens undergång, eftersom det innebär att all materia så småningom kan försvinna. Men än har det inte hänt och experimenten har visat att protonen håller sig stabil i minst  $10^{33}$  år, vilket är betryggande tio biljoner gånger längre tid än universums ålder på drygt  $10^{10}$  år. Och fortfarande är det ingen som vet hur Sacharovs kedja av händelser uppfylldes i det tidiga universum.

## Löste symmetribrottets gåta

Det kan hända att Sacharovs villkor så småningom kommer att inlemmas i fysikens standardmodell och materieöverskottet vid universums födelse får sin förklaring. Till det krävs det dock en mycket större effekt än den dubbelt brutna symmetrin, CP-brottet, som Fitch och Cronin hittade i sitt experiment.

Men även ett betydligt mindre symmetribrott som kaonerna gjorde sig skyldiga till fordrade en tolkning, annars hotades hela standardmodellen. Frågan om varför symmetrierna bryts förblev en gåta fram till 1972 då två unga forskare från universitetet i Kyoto, **Makoto Kobayashi** och **Toshihide Maskawa**, välbekanta med kvantfysikens räkneapparat, kom på lösningen i form av en  $3 \times 3$ -matris.

Hur går då det här dubbla symmetribrottet till? Varje kaon är en förening av en kvark och en antikvark. Den svaga kraften får dem att gång på gång flippa identitet – kvarken blir en antikvark medan antikvarken blir en kvark och på så sätt omvandlas kaonen till sin antikaon. Så pendlar kaonen mellan sitt själv och sitt antisjälv. Men om rätt villkor uppfylls blir det en obalans mellan materia och antimateria vilket är ett brott mot symmetrin. Kobayashis och Maskawas beräkningsmatris innehåller sannolikheter för att kvarkarnas förvandlingskonst ska äga rum.



*Kvantfysiken ligger bakom den bisarra förvandlingskonsten. En kaon kan då flippa mellan att vara sig själv och sitt antisjälv genom att kvarkarna byter identitet. Alla idag kända kvarkfamiljer måste delta i denna pendrörelse mellan kaonen och anti-kaonen. I några enstaka fall bryts dock symmetrin mellan materia och antimateria. Förklaringen bakom det symmetribrottet ger Kobayashi och Maskawa årets Nobelpris.*

Det visade sig att kvarkarna och antikvarkarna bytte identitet med varandra helst inom sin egen familj. Men för att kunna fullfölja identitetsbytet med det dubbla symmetribrottet mellan

materia och antimateria krävdes ytterligare en kvarkfamilj utöver de två redan kända (se sid. 3). Det var ett djärvt grepp, men standardmodellen fylldes så småningom på med de spekulativa nya kvarkarna som mycket riktigt dök upp i experimenten: charmkvarken upptäcktes redan 1974, bottenkvarken 1977 och den sista, toppkvarken så sent som 1994.

## Mesonfabriker ger svar

Måhända ger symmetribrottets förklaring också existensberättigande för de två partikelfamiljerna som i många avseenden liknar den första familjen men är så kortlivade att de inte kan stå för något beständigt i vår värld. En möjlighet är att dessa nyckfulla världsmedborgare fyllde sin viktigaste funktion i tidernas begynnelse – deras närvaro garanterade symmetribrottet som fick materien att vinna över antimaterien. Hur naturen löste detta vet som sagt ingen i detalj ännu, experimentets överskott skulle behöva mångfaldigas många gånger för att åstadkomma all den materia som ger oss vår stjärnbeströdda himmel.

Ur Kobayashis och Maskawas teori framgick också att ett större symmetribrott ska kunna studeras hos B-mesonerna, kaonernas tio gånger tyngre kusiner. Men även hos B-mesonerna förekommer brottet mot symmetrin ytterst sällan, det krävs ofantliga mängder av dessa partiklar för att hitta de få som bryter symmetrin. Två jättebyggen med partikeldetektorerna BaBar vid SLAC-acceleratorn i Stanford i Kalifornien och Belle vid acceleratoren KEK i Tsukuba i Japan, spottade ut över en miljon B-mesoner dagligen för att i detalj följa sönderfallet. Redan 2001 bekräftade båda experimenten oberoende av varandra B-mesonernas symmetribrott exakt såsom Kobayashis och Maskawas modell förutspådde nästan tre decennier tidigare.

Därmed fullbordades också Standardmodellen. Den har fungerat utmärkt i många år nu, nästan alla saknade pusselbitar har fallit på plats enligt de djärvaste förutsägelseerna. Ändå är inte fysikerna riktigt nöjda än.

## Symmetrin döljer sig inunder spontana brott

Modellen omfattar som sagt alla de kända elementarpartiklarna och tre av de fyra naturkrafterna. Men varför är krafterna så olika? Och varför har partiklarna så olika massor? Den tyngsta, toppkvarken är över tre hundra tusen gånger tyngre än elektronen. Varför har de någon massa alls? Den svaga kraften sticker här ut igen – dess budpartiklar, W och Z, är mycket tunga, medan bundsförvanten fotonen som förmedlar den elektromagnetiska kraften, helt saknar massa.

Idag tror de flesta fysiker att ett annat spontant symmetribrott, den så kallade Higgsmekanismen, raserade den ursprungliga symmetrin mellan krafterna och tilldelade partiklar deras massa i universums allra tidigaste stunder.

Vägen dit stakade **Yoichiro Nambu** ut, som 1960 var först med att föra in spontana symmetribrott i elementarpartikelfysiken vilket han nu får Nobelpriset för. Till att börja med jobbade Nambu med teoretiska beräkningar av ett annat märkligt fenomen inom fysiken – supraledning, då elektrisk ström plötsligt förmår flyta helt utan motstånd. Spontant symmetribrott som förklarade supraledningen översatte Nambu sedan till elementarpartiklarnas värld, och hans matematiska verktyg genomsyrar numera all teori kring standardmodellen.

Mer banala spontana symmetribrott bevittnar vi dagligen. En penna som står på sin spets lever en helt symmetrisk tillvaro där alla riktningar är exakt likvärdiga. Men symmetrin går förlorad när den faller – nu är det bara en riktning som gäller. Läget har däremot blivit mer stabilt, pennan kan inte falla mer, den har nått sin lägsta energinivå.



***Spontan symmetribrott.** Pennans värld är fullständigt symmetrisk – alla riktningar är exakt likvärdiga. Symmetrin går dock förlorad när den faller – nu är det bara en riktning som gäller. Symmetrin som funnits förr skyms bakom den liggande pennan.*

Lägsta möjliga energi i hela världsalltet har tomrummet. I själva verket är fysikens tomrum just ett tillstånd med minsta möjliga energi. För tomt är det inte. Sedan kvantfysiken kom till är tomrummet fyllt med en sjudande soppa av partiklar som poppar upp för att omedelbart försvinna i allestädes närvarande men osynliga kvantfält. Vi är omgivna av många olika kvantfält som genomkorsar rymden, de fyra naturkrafterna beskrivs också som fält. Ett av dem, gravitationsfältet, känner vi alla igen – det är det som håller oss kvar på jorden och bestämmer vad som är upp eller ner.

Nambu insåg tidigt att tomrummets egenskaper är intressanta för studier av spontana symmetribrott. Tomrummet, alltså det lägsta energitillståndet, motsvarar inte det mest symmetriska – som hos pennan har symmetrin hos kvantfältet brutits och bara en av möjliga fältriktningar har valts. Under de senaste decennierna har Nambus metoder att teoretiskt bearbeta spontana symmetribrott inom standardmodellen förfinats och används idag flitigt främst för beräkningar av den starka kraftens verkan.

## Higgs ger massa

Även frågan om elementarpartiklarnas massa får sitt svar genom spontant symmetribrott hos det hittills hypotetiska Higgsfältet. Man tänker sig att vid big bang var fältet helt symmetriskt, och då hade partiklarna ingen massa. Men Higgsfältet, liksom den stående pennan, var inte stabilt och när universum kyldes av trillade fältet ner till sin lägsta energinivå, sitt eget tomrum enligt kvantdefinitionen. Symmetrin försvann och Higgsfältet blev som sirap för elementarpartiklarna – de sög åt sig olika mycket av fältet och blev olika tunga. Några, som fotonen, lät sig inte lockas och förblev utan massa. Men varifrån elektronerna fick sin massa är en helt annan fråga som ingen vet svaret på än.

Liksom andra kvantfält håller sig även Higgsfältet med en egen företrädare – Higgspartikeln. Den hoppas fysikerna ivrigt på att snart finna i världens kraftfullaste partikelaccelerator, den nya Large Hadron Collider (LHC) vid Cern i Genève. Kanske får man syn på flera olika Higgspartiklar. Eller ingen alls. Fysikerna står redan beredda: en så kallad supersymmetrisk teori är för många favoriten bland andra mer eller mindre exotiska sätt att utvidga standardmodellen. Symmetriskt lär det bli, även om symmetrin inte syns vid första anblicken. Den finns där ändå, den håller sig bara undan våra blickar, dold under den till synes röriga ytan.

## LÄNKAR OCH LÄSTIPS

Mer information om årets priser, bland annat en vetenskaplig bakgrundsartikel på engelska, finns på Kungl. Vetenskapsakademiens webbplats, [www.kva.se](http://www.kva.se), och på <http://nobelprize.org>. Där kan man också se presskonferensen som webb-TV. Mer information om utställningar och aktiviteter kring Nobelprisen finns på [www.nobelmuseet.se](http://www.nobelmuseet.se).

### Populärvetenskapliga artiklar på svenska

**Joanna Rose:** "Vart tog all antimateria vägen?", *Forskning & Framsteg*, 6/08.

**Lars Bergström:** "Tomrum (Ett inte så tomt rum)", *Forskning & Framsteg* 1/97.

**Erik Johansson & Lars Bergström:** "Hur fick materien sin massa?", *Forskning & Framsteg* 3/93.

### Populärvetenskapliga artiklar på engelska

**Sarah Graham:** "In Search of Antimatter", *Scientific American*, August 2001.

**Helen Quinn & Michael Witherell:** "The Asymmetry between Matter and Antimatter", *Scientific American*, October 1998.

**Madhusree Mukerjee:** "Profile: Yoichiro Nambu", *Scientific American*, February 1995.

### Vetenskapliga originalartiklar

**M. Kobayashi & T. Maskawa:** "CP Violation in the Renormalizable Theory of Weak Interaction". *Progress of Theoretical Physics* 49 (1973) sid. 652–657.

**Y. Nambu & G. Jona-Lasinio:** "A Dynamical Model of Elementary Particles based on an Analogy with Superconductivity II", *Physics Review* 124 (1961) sid. 246.

**Y. Nambu & G. Jona-Lasinio:** "A Dynamical Model of Elementary Particles based on an Analogy with Superconductivity I", *Physics Review* 122 (1961) sid. 345.

### Tidigare Nobelpris inom området

**Nobelpriset i fysik 1999:** [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1999/index.html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1999/index.html)

**Nobelpriset i fysik 1980:** [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1980/index.html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1980/index.html)

**Nobelpriset i fysik 1969:** [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1969/index.html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1969/index.html)

**Nobelpriset i fysik 1957:** [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1957/index.html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1957/index.html)

## PRISTAGARNA

### **YOICHIRO NAMBU**

University of Chicago  
Department of Physics  
 Enrico Fermi Institute  
5720 South Ellis Avenue  
Chicago, IL 60637  
USA  
[http://physics.uchicago.edu/research/areas/particle\\_t.html#Nambu](http://physics.uchicago.edu/research/areas/particle_t.html#Nambu)

Amerikansk medborgare. Född 1921 (87 år) i Tokyo, Japan. D.Sc. 1952 vid University of Tokyo, Japan. Harry Pratt Judson Distinguished Service Professor Emeritus vid Enrico Fermi Institute, University of Chicago, IL, USA.

### **MAKOTO KOBAYASHI**

Japan Society for the Promotion of Science (JSPS)  
Ichibancho Office 1  
Sumitomo-Ichibancho Bldg., 6  
Ichibancho  
Chiyoda-ku  
Tokyo 102-8471  
JAPAN  
[www.kek.jp/intra-e/press/2007/EPSprize2\\_e.html](http://www.kek.jp/intra-e/press/2007/EPSprize2_e.html)

Japansk medborgare. Född 1944 (64 år) i Nagoya, Japan. F.D. 1972 vid Nagoya University, Japan. Professor emeritus vid High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Tsukuba, Japan.

### **TOSHIHIDE MASKAWA**

Kyoto Sangyo University  
Department of Physics  
Motoyama  
Kamigamo  
Kita-ku  
Kyoto-City 603-8555  
JAPAN  
[www.yukawa.kyoto-u.ac.jp/english](http://www.yukawa.kyoto-u.ac.jp/english)

Japansk medborgare. Född 1940 (68 år). F.D. 1967 vid Nagoya University, Japan. Professor emeritus vid Yukawa Institute for Theoretical Physics (YITP), Kyoto University, och professor vid Kyoto Sangyo University, Japan.