

## III Astropartikelfysik och subatomär fysik

### III.1. Sammanfattande bedömning

Under de senaste tjugo åren har vår förståelse för såväl naturens mest fundamentala beståndsdelar och processer som universums historia och struktur ökat markant och de forskningsfält som studerar dessa frågor, subatomär fysik, kosmologi och astronomi, har knutits samman alltmer. Exempel på detta är frågan om vad universums mörka materia består av och varför universum bara består av materia och inte av antimateria.

Gemensamt för dessa forskningsgrenar är också behovet av stora infrastrukturer. Sverige har tidigt gått med som medlem i gemensamma internationella anläggningar vilket har haft stor betydelse för svenska forskare inom dessa fält. Detta har medfört att Sverige är en framstående nation inom så väl astropartikelfysik som subatomär fysik.

För att bygga de stora infrastrukturer behövs också teknikvetenskaplig spetsforskning för att utveckla de instrument som är nödvändiga för fysikforskningen. Acceleratorer och detektorer för partikelfysik används även inom andra forskningsfält, inom industrin och inom sjukvården. Partikelfysiken har också bidragit till den explosion av datoranvändning vi har idag genom utvecklingen av World-Wide Web och GRID.

Ett antal nya internationella anläggningar och instrument har under de senaste åren färdigställts eller är under uppbyggnad. Under de kommande åren kan vi räkna med att många fundamentala frågor som rör universums utveckling kommer att kunna besvaras. Det är viktigt att Sverige som deltagit i byggandet av dessa instrument och också kommer att ges möjligheten att skörda de vetenskapliga frukterna av sina ansträngningar.

### III.2. Ämnesbeskrivning

#### III.2.1. Astropartikelfysik

Det är ett forskningsområde där man studerar partikelflöden från astrofysikaliska källor och dessa partiklars grundläggande egenskaper. Vidare brukar den väldigt högenergetiska gammastrålningen betecknas som astropartikelfysik, vars ursprung man nu hoppas kunna förklara med hjälp av studier av neutrinoartikeln.

Forskare vid Uppsala universitet och Stockholms universitet var med och initierade och deltar nu i IceCube, ett experiment med vars hjälp neutrinoflödet från universum studeras. Detta är världens största experiment i sitt slag med deltagare från hela världen. IceCube detektorn, som finns på sydpolen har nyligen färdigställts. Detektorn registrerar kosmiska neutriner som passerat igenom jorden. De svenska grupperna studerar i huvudsak neutriner med extremt hög energi och söker efter den mörka materians ursprung. De svenska grupperna är också ledande i den vidare utveckling av IceCube som kallas Deep Core.

En grupp vid KTH studerar laddade partiklar i den kosmiska strålningen med särskild tonvikt på antimateria. Experimentet kallas PAMELA och består av en satellitburen detektor som skickades upp under 2006. Beskaffenheten hos antipartiklarna kan indikera vilka egenskaper den mörka materien har. Resultat från detta experiment har väckt stort internationellt intresse.

En grupp vid Stockholms universitet är involverade i FERMI, ett satellitburet teleskop för högenergetisk gammastrålning. Med hjälp av detta teleskop upptäcktes bland annat gammastrålade pulsarer vilket i tidskriften Science utsågs till ett av 2009 års främsta

vetenskapliga genombrott. Stockholmsgruppen har också anslutit sig till den markbaserade anläggningen HESS och planerar i samarbete med grupper från Lund och Uppsala att bidra till den kommande stora infrastrukturen för detektion av högenergetisk gammastrålning CTA (Cherenkov Telescope Array).

Svenska grupper är också framgångrika inom den teoretiska astropartikelfysiken, särskilt betydande är gruppen vid Stockholms universitet och KTH men även mindre grupper från Lund, Uppsala och Luleå bidrar. Framför allt har teoretiker i Stockholm utvecklat många av de tidigaste idéerna kring indirekt detektion av mörk materia. Även när det gäller den mörka energin spelar svenska teoretiker en ledande roll. Kring denna frågeställning knyts strängteori och kosmologi samman och många idéer kommer från svenska teoretiker verksamma vid universiteten i Stockholm och Uppsala och vid Chalmers.

### III.2.2. Högenergifysik

Inom högenergifysiken studeras den innersta strukturen hos materia och de fundamentala växelverkingarna. Det finns en teori för materiens minsta beståndsdelar, den så kallade Standardmodellen. Trots teorins förmåga att ge förutsägelse finns där många obesvarade frågor inom partikelfysiken. Som tidigare nämnts gäller detta några frågor som är direkt kopplade till universum som frågan om den försvunna antimaterien och ursprunget till mörk materia. En annan fråga som ännu är obesvarad är ursprunget till partiklars massa.

Vidare studeras starkt växelverkande materia under extrema förhållanden med hög temperatur och energitäthet. I krockar mellan tunga atomkärnor vid höga energier förväntas en övergång från vanlig materia till ett nytt materietillstånd inträffa. Detta tillstånd, som kallas kvarkgluonplasma, antas ha varit rådande under de första mikrosekunderna efter Big Bang.

Den nya acceleratoren LHC vid CERN är byggd för att ge svar på några av de frågor partikelfysiker ställer sig idag. Denna accelerator kommer att accelerera både protoner och tungjoner och ge dessa partiklar världens hittills högsta energi. Med den höga kollisionensenergin och den stora mängden kollisioner öppnas ett helt nytt fönster in till partikelvärlden. Vid LHC finns fyra experiment. En forskargrupp från Lund deltar i ett av experimenten kallad ALICE. ALICE detektorn är byggd för att i huvudsak studera tungjonskollisioner och de små Big Bangs som bildas vid dessa kollisioner. Fyra svenska forskargrupper deltar i ATLAS experimentet som kan registrera och ge information om alla slags händelser som sker vid proton–proton-krockar. De fyra grupperna finns vid Uppsala universitet, Stockholms universitet, Lunds universitet respektive KTH. De svenska grupperna har bidragit till att bygga dessa experiment och de deltar nu i datatagningen och analysarbetet. Stockholmsgrupperna söker efter nya exotiska partiklar och de studerar egenskaperna hos den tyngsta kvarken toppkvarken. Uppsala gruppen söker specifikt efter laddade Higgs-partiklar och Lundgruppen studerar i huvudsak den starka kraften. LHC beräknas köra under minst tjugo år men under denna tid kommer det att behövas göras förbättringar av så väl acceleratoren som experimenten. De svenska grupperna är redan involverade i uppgraderingsarbetet av experimenten.

Det pågår också forsknings och utvecklingsarbete på CERN för att kunna bygga nästa generations accelerators. En verksamhet som Uppsala universitet är involverade i är forskning kring en linjär elektronaccelerator, CLIC, som är baserad på en helt ny teknik jämfört med dagens accelerators.

Inom teori finns det två grupper, en i Lund och en i Uppsala som bland annat utvecklat en modell som beskriver och datorsimulerar den växelverkan som sker vid de krockar mellan partiklar som skapas vid högenergilaboratorier. Denna modell går under namnet Lunda-

modellen och de används vid alla högenergi experiment världen över för detaljerad jämförelse av data med teoretiska modeller.

### III.2.3. Kärnfysik

Kärnfysik omfattar studier av strukturer, dynamik och allmänna egenskaper hos system som binds samman av den starka kraften men där även den svaga och elektromagnetiska växelverkan manifesteras. En grundläggande frågeställning handlar om att förstå dynamiken som gör att kvarkar och gluoner innesluts i partiklar som kallas hadroner. Denna dynamik är mycket speciell eftersom den också till stor del genererar massan hos hadronerna. Den starka växelverkan ger även upphov till exotiska konfigurationer i nukleonsystem med stora överskott av protoner eller neutroner. Kärnstrukturfysik, som är en annan inriktning inom kärnfysik, syftar till att förstå hur atomkärnornas egenskaper beror av antalet protoner och neutroner, excitationenergi och spinn. Av speciellt intresse är atomkärnor med stort överskott av protoner eller neutroner. Kunskapen om sådana kärnors egenskaper är viktig bland annat för förståelsen av grundämnenas uppkomst i universum.

Inom kärnfysikforskningen finns ett flertal anläggningar i Europa och svenska grupper bedriver forskning vid CERN:s kärnforskningsanläggning ISOLDE, vid GANIL i Frankrike, vid mindre anläggningar i Norden. Alla grupper deltar i förberedelserna inför den nya acceleratoranläggningen vid GSI i Tyskland som kommer att ha en kapacitet som vida överstiger de existerande anläggningarna. Den stora satsningen kallas FAIR och där kommer bland annat strålar med antiprotoner och radioaktiva isotoper att levereras.

Svenska forskargrupper med inriktning mot kärnfysik finns vid Lund, Uppsala och Stockholms universitet samt vid KTH och Chalmers. Vid Uppsala och Stockholm utvecklas delar av en detektor, PANDA, som skall användas vid FAIR för att studera hadronfysik. Vid Lunds universitet utnyttjas MAX-anläggningen för att studera reaktioner mellan fotoner och kärnor för att förstå den starka växelverkan vid låga energier. Studier av kärnor långt ifrån de stabila tillstånden studeras vid KTH, Uppsala och Chalmers och dessa studier utförs företrädesvis med radioaktiva strålar. Även Lundgruppen bedriver verksamhet inom detta fält.

Teoretiska grupper med inriktning mot kärnfysik finns vid Lunds universitet, vid KTH och vid Chalmers. Dessa grupper studerar stark växelverkan och kärnstrukturer.

### III.3. Styrkor, svagheter och ämnesmässiga trender

En styrka för svensk forskning inom astropartikelfysik och subatomär fysik är det stöd som gått till stora infrastrukturer som CERN, FAIR och IceCube vilket har gjort det möjligt för Sverige att bli starka inom dessa organisationer. Svenskar har eller har haft ledande positioner inom CERN-experimenten och ledaren för IceCube var under många år en svensk forskare. Att Sverige deltagit från början i FAIR:s verksamhet har gjort att Sverige har ett stort inflytande på den verksamheten, svenska forskare innehar/har innehavt ordförandeskapet i två av FAIR:s ”scientific pillars”.

Den särskilda satsning som gjorts via stora anslag från Vetenskapsrådet har medfört att forskargrupper på Stockholms universitet och KTH har kunnat befästa sin position som ledande i världen inom partikelfysik inom så väl teoretisk som experimentell astropartikelfysik. Linnébidraget från Vetenskapsrådet har gått till att skapa Oskar Klein Centre (OKC) där astrofysik, kosmologi, astropartikelfysik och partikelfysik samverkar. Vid centret har ett omfattande samarbete mellan teoretiker och experimentalister/observatörer utvecklats på ett mycket gynnsamt sätt. OKC använder synergien mellan partikel- och astropartikelfysiken vid SU och KTH för att bedriva forskning i den internationella frontlinjen

och OKC är utan tvekan en av de bästa forskningsmiljöerna i Europa för studiet av den mörka materian.

Sverige har under decennier varit ledande inom QCD-fenomenologin genom utvecklandet av den så kallade Lundamodellen med vilken teorigrupper i Lund och Uppsala arbetar. Dessa grupper är fortsatt mycket inflytelserika inom sitt fält men har under senare år tappat stöd eftersom rekryteringen inte hållit jämna steg med avgångarna inom dessa båda grupper.

En svaghet inom teoretisk forskning gäller sådan forskning som rör vidareutveckling av standardmodellen för partikelfysik. Där finns det mycket lite forskning i Sverige till skillnad från de internationellt starkaste universiteten. En sådan forskning vid svenska universitet skulle vara ett viktigt stöd till forskare inom experiment partikelfysik.

Instrumentutveckling för de stora infrastrukturerna har varit och är en framgångsrik verksamhet i Sverige. Dock innebär den minskning av antalet anställda ingenjörer vid våra universitet att forskningsverksamhet tappar mark. Det saknas också på flera universitet doktorander som utbildas i detektorutveckling.

### III.4 Hot och möjligheter

Forskningen inom astropartikelfysik och subatomär fysik ger ökad kunskap om det universum vi lever i och forskningen försöker besvara frågor om vårt ursprung, frågor som människan alltid ställt sig. Detta är en forskning inom vilken Sverige av tradition har en ledande ställning. Därmed har vi ett ypperligt utgångsläge vad gäller deltagande i de viktiga experimenten och inflytande över den fortsatta utvecklingen inom ämnet.

Den kunskap som uppnås med hjälp av forskning ökar mänsklighetens förståelse av den värld vi lever i. Den ökade förståelsen av fysiken leder också på lång sikt fram emot nya innovationer däremot syftar den inte till kortsiktig industriell nytta. De stora frågor som reses inom denna typ av forskning väcker ungas nyfikenhet, något som är nog så betydelsefullt i en tid när ett av samhällets stora problem är ungas bristande intresse för naturvetenskapliga utbildningar.

Under de senaste åren har det skett nya satsningar på mot strategisk och tillämpad forskning. Givetvis är detta lovvärda satsningar men det betyder att den mest grundläggande forskningen har fått stå tillbaka vilket på sikt är ett hot mot hela forskningssamhället. Eftersom universiteten har blivit mer beroende av externa anslag så minskar satsningarna på den fundamentala forskningen även på universiteten. Bilden ser olika ut vid olika högskolor men flertalet universitet lider av minskade fakultetsanslag. I förlängningen medför detta att nyrekryteringen drabbas. När rekryteringsanställningarna försvinner från vetenskapsrådet förvärras situationen ytterligare.

### III.5. Forskningsinfrastruktur

Som framgått av beskrivningen ovan så är de experimentella verksamheterna inom astropartikelfysik och subatomär fysik helt beroende av avancerad infrastruktur och svenska forskare har länge varit ledande i samarbete nationellt och internationellt för att skapa de resurser som behövs för att göra nya framsteg. Utvecklingen som går mot ännu mer storskaliga infrastrukturer ställer stora krav på långsiktighet och planering bland såväl forskare som forskningsfinansiärer.

Forskningens storskalighet med de dyra anläggningarna gör denna forskning dyrbar. Viktigt är att när man bestämmer sig för att göra en satsning på någon av de stora anläggningarna i

världen så måste man också se till att det finns resurser i Sverige att utnyttja anläggningarna på ett sätt som motsvarar de resurser som man bidrar med till anläggningen.

Arbetsmaterial