

Repousser les frontières de la physique et de l'informatique à grand débit

L'apparente absence d'antimatière dans l'Univers est l'un des problèmes les plus déconcertants de la physique moderne. Comme le sait tout lecteur d'ouvrages de science fiction, la matière et l'antimatière s'annihilent au contact l'une de l'autre; mieux vaut donc qu'on ne trouve pas trace de cette dernière alentour. Si les théories actuelles admettent l'existence d'un déséquilibre matière-antimatière dans l'Univers, elles ne l'expliquent pas pour autant. Dans les années 80, des expériences au CERN et au Laboratoire Fermi, aux Etats-Unis, ont essayé de mettre en évidence ce déséquilibre en mesurant un effet minuscule appelé violation de la symétrie CP, mais celle-ci s'est révélée plus difficile à saisir qu'on ne l'imaginait. C'est pourquoi les collaborations qui succèdent à celles des années 80 utilisent aujourd'hui des détecteurs conçus pour mesurer cet effet avec une précision trois fois meilleure qu'à l'époque.

La violation de CP est directement liée au déséquilibre matière-antimatière. Sans lui, l'Univers serait très différent et nous ne serions pas ici pour en parler. L'explication remonte au big-bang: on pense que matière et antimatière ont été créées en quantités égales; pourtant, aujourd'hui, toute l'antimatière s'est apparemment évaporée. Il semblerait que pour chaque milliard d'annihilations proton-antiproton dans l'Univers primordial, un seul proton ait survécu pour construire l'Univers dans lequel nous vivons. Pourquoi ces protons ne se sont-ils pas eux aussi annihilés? En 1964, le physicien russe Andreï Sakharov a énoncé trois conditions nécessaires à la survie de la matière, l'une d'elles étant la violation de CP. Celle-ci implique l'existence d'une différence fondamentale entre les lois de la nature pour la matière et l'antimatière.

La nature a laissé des indices de la violation de CP, dont deux sont désormais connus. Le premier tient au simple fait que l'Univers existe, le second, au comportement d'un groupe de particules appelées kaons neutres. C'est en 1964, au laboratoire américain de Brookhaven, que la violation

Pushing the limits of physics and high speed computing

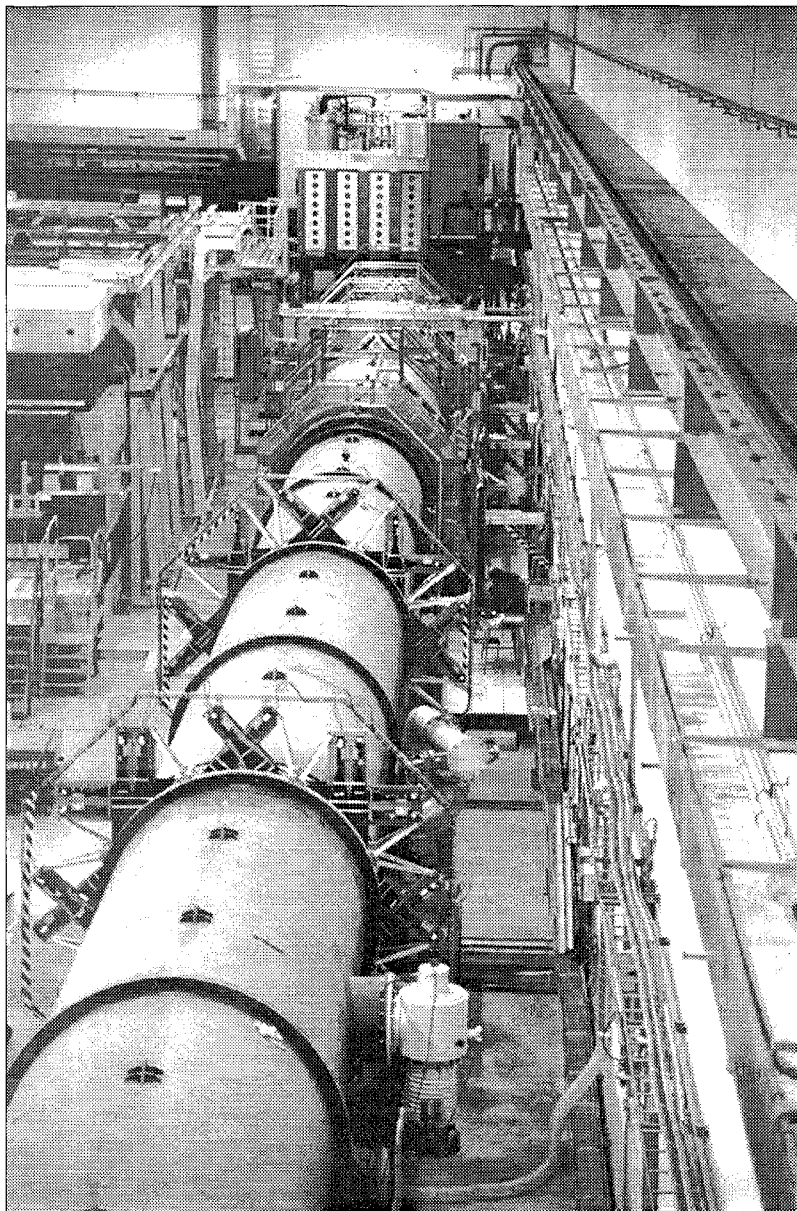
The apparent absence of antimatter in the Universe is one of the most baffling problems in modern physics. As any reader of science fiction knows matter and antimatter annihilate on contact, so it is as well that there is none of it around. But although today's theories allow a cosmic

matter-antimatter imbalance, they don't explain it. Experiments in the 1980s at CERN and Fermilab in the US tried to pin down the imbalance by measuring a subtle effect called CP violation. But CP violation proved more elusive than anyone imagined. So now the successors of the 1980s collaborations are back with detectors designed to measure the effect with three times better precision than their predecessors.

CP violation is intimately linked to the matter-antimatter imbalance. Without it, the Universe would be very different and we would not be here. The reason lies back at the Big Bang. Matter and antimatter are believed to have been created in equal amounts yet today all the antimatter appears to have gone. What seems to have happened is that for every billion proton-antiproton annihilations in the early Universe, a single proton survived to build the Universe we live in. Why didn't these protons annihilate as well? In 1964, the Russian physicist Andrei Sakharov outlined three conditions necessary for matter survival, one of which is CP violation.

It states that there is a fundamental difference between the way nature treats matter and antimatter.

There are so far two ways in which nature has revealed the results of CP-violation, the first is the simple fact that the Universe exists, and the second is the behaviour of a group of particles called neutral kaons. CP violation was first observed in neutral kaons in 1964 at the US Brookhaven laboratory. An experiment by Christenson, Cronin, Fitch and Turlay showed that long-lived kaons occasionally decay into two pions, a CP-violating process. Ever since then, physicists have been striving to quantify this effect and search for its origin. The method they use is to look at

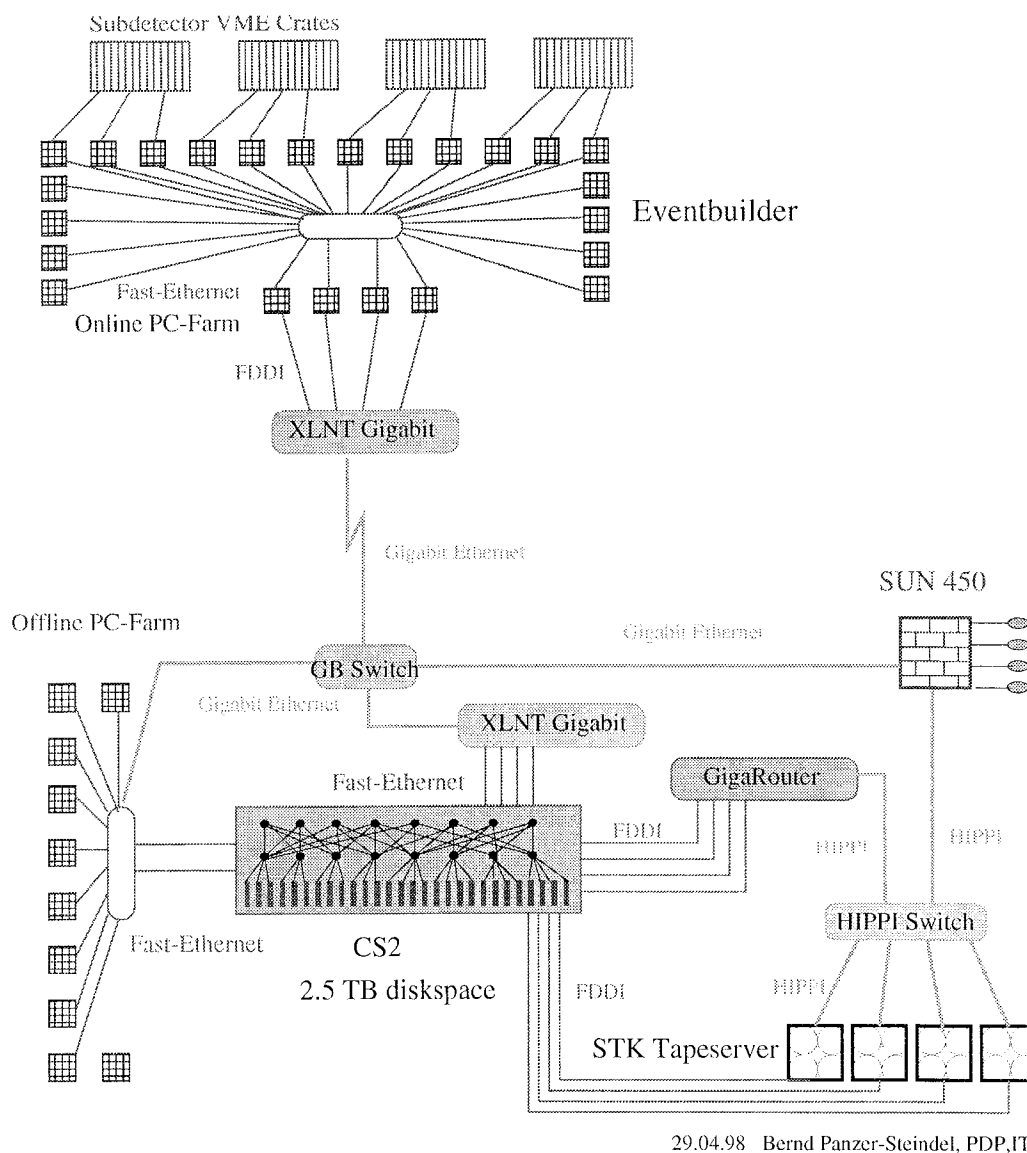


Vue plongeante sur l'expérience NA48 montrant le tube de désintégration équipé de divers détecteurs.

A top view of the NA48 experiment showing the decay tube instrumented with various detectors.

de CP a été observée pour la première fois dans des kaons neutres. Une expérience réalisée par Christenson, Cronin, Fitch et Turlay a montré que les kaons à vie longue se désintègrent parfois en deux pions, un processus violant la symétrie CP. Depuis lors, les physiciens n'ont eu de cesse de quantifier cet effet et de découvrir son origine. Leur méthode consiste à observer les désintégrations des deux

the decays of the two kinds of neutral kaons, long-lived and short-lived. If there is a difference in the way these two kinds of kaons decay into pairs of charged and neutral pions, that would be clear evidence for CP violation. The 1980s experiments showed that there may be a difference, but they were inconclusive. That's why new collaborations are back to make a better measurement.



L'agencement des ordinateurs et réseaux à grand débit qui composent le système d'enregistrement central des données pour NA 48.

The layout of computers and high-speed networks which make up central data recording for NA48.

types de kaons neutres, à vie longue et à vie brève. L'existence d'une différence dans la manière dont ces deux types de kaons se désintègrent en paires de pions chargés et neutres serait la preuve manifeste d'une violation de CP. Si les expériences des années 80 ont montré qu'il existait peut-être une différence, leurs résultats n'ont pas été concluants. C'est pourquoi de nouvelles collaborations se sont formées pour effectuer des mesures plus précises.

La nouvelle expérience du CERN sur la violation de CP (NA48) a conduit sa première période d'exploitation complète en 1997. Pour obtenir une précision trois fois meilleure, l'expérience NA48 doit recueillir au moins 10 fois plus de données que celle qui l'a précédée, NA31, ce qui fait ainsi de NA48 la plus grande source de données du CERN. Avec 600 gigaoctets de données produits par jour

CERN's new CP violation experiment, NA48, had its first full run in 1997. The experiment's goal of three times greater precision means that NA48 must collect at least ten times as much data as its predecessor, NA31. That in turn makes NA48 CERN's biggest data source. With 600 Gigabytes per day coming from the experiment during last year's six-week run, NA48 is pushing data acquisition, storage, and off-line handling to new limits. The total amount of data produced by the experiment last year amounted to 25 Terabytes, or two and a half times the data contained in the entire printed collection of the US Library of Congress.

The approach taken by the experiment is to record data directly on the CS-2 computer in the computer centre. The CS-2 partially analyses and processes the data before storing them, cutting down significantly on the amount of data

l'an dernier au cours des six semaines d'exploitation, l'expérience NA48 repousse les frontières de l'acquisition, du stockage et du traitement en différé des données. Le volume total de données engendré l'année dernière par l'expérience a atteint 25 téraoctets, soit deux fois et demie de plus que l'intégralité de la collection d'imprimés de la bibliothèque du Congrès américain.

La méthode suivie par les expérimentateurs consiste à enregistrer les données directement sur l'ordinateur CS-2 du Centre de calcul. Le CS-2 analyse et traite partiellement les données, ce qui réduit sensiblement le volume à stocker. En 1997 toutefois, la totalité des données a été stockée et traitée ultérieurement. Au bout de deux mois, le volume de données avait été ramené à 2 téraoctets, soit à peu près le contenu de la bibliothèque du CERN. Un nouveau traitement permettra de réduire encore ce chiffre à 20 gigaoctets à peine, l'équivalent de dix rayonnages de livres de 20 mètres de longueur.

Cette année, la période d'exploitation prévue sera plus longue et le faisceau de protons du SPS qui alimente NA48 porté à sa pleine intensité de 1 500 milliards de protons par impulsion; l'expérience ne peut donc pas se permettre de stocker toutes les données. Un certain nombre de modifications sont effectuées pour que les 125 téraoctets de données escomptés puissent être traités. Une nouvelle "batterie" de 26 PC Pentium II a été installée dans les locaux de l'expérience pour accélérer le processus dit "d'intégration des événements" qui rassemble les données provenant des différents éléments du détecteur. Une nouvelle liaison ethernet d'un gigabit par seconde avec le Centre de calcul augmente le débit de transfert de données au CS-2, qui passe ainsi de 12 à plus de 20 mégaoctets par seconde. Ultime audace, il sera demandé au CS-2 de procéder à des réductions de données en temps réel (procédé appelé "filtrage actif"), afin que 40 téraoctets de données "seulement" doivent être stockés.

D'ici la fin de 1998, NA48 devrait avoir recueilli la moitié de l'échantillon de données nécessaire. En attendant, étant donné qu'en 1997 l'expérience a produit une quantité de données identique au volume total recueilli par NA31, l'analyse bat son plein, ce qui devrait permettre à NA48 d'obtenir un résultat préliminaire sur la violation de CP vers la fin de l'année.

Un système de traitement des données aussi pointu que celui qu'utilise NA48 est une condition préalable indispensable pour de nombreuses mesures de physique ambitieuses. Pour préparer l'avenir, des équipements de conception nouvelle et économiques sont en cours d'installation au Centre de calcul où le système central d'enregistrement des données fonctionne déjà. Des PC voraces et de puissants serveurs attendent, comme des araignées dans leur toile, d'autres expériences dans un réseau à grand débit.

which must be stored. In 1997, however, all of the data were stored and processed later. After two months, the data volume had been reduced to 2 Terabytes, about the contents of CERN's library. Further reprocessing currently under way will reduce the data again to just 20 Gigabytes, or about the same as ten 20 metre long shelves of books.

This year, with a longer run in store and the SPS proton beam which supplies NA48 being cranked up to its full intensity of 1.5 million million protons per pulse, the experiment can not afford the luxury of storing all data. A number of modifications are being put in place to handle the expected 125 Terabytes of data. A new 'farm' of 26 Pentium II PCs has been installed at the experiment. This speeds up the so-called event-building process in which data from all the different components of the detector are put together. A new Gigabit ethernet link to the computer centre increases the data transfer rate to the CS-2 from 12 Megabytes per second to over 20. Most audacious of all, the CS-2 will be asked to perform data cuts in real time, active filtering as the process is known, so that 'just' 40 Terabytes will need to be stored.

By the end of 1998, NA48 should be about half way to the required data sample. Meanwhile, since the 1997 run provided a similar amount of data to NA31's full data set, analysis is in full swing so that NA48 may have a preliminary result on CP violation later this year.

State-of-the-art data handling such as NA48's is an essential pre-requisite for many ambitious physics measurements. To prepare for the future, cost-effective novel designs are being set-up in the computer centre while Central Data Recording is already in use. Number crunching PCs and powerful data servers are ready and waiting in a high-speed network, like spiders in the web, for more experiments to sign up.