

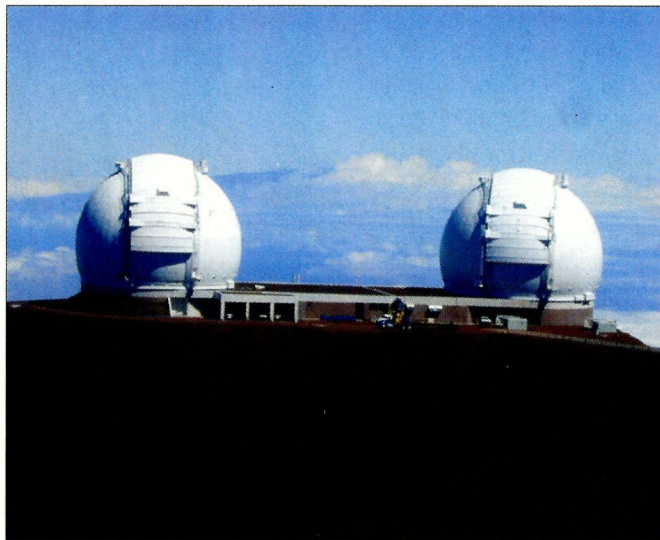
De l'inconstance des constantes fondamentales

De récentes observations astronomiques ont soulevé la possibilité que les constantes naturelles varient dans le temps. **Harald Fritzsch** se penche sur le cas de ces constantes inconstantes.

Les constantes naturelles sont dans une certaine mesure des anomalies des théories actuelles. D'un côté elles sont nécessaires pour décrire les théories en question, mais de l'autre personne ne comprend d'où viennent leurs valeurs plutôt étranges. En fait, nul ne sait si elles sont accidentelles ou calculables à partir de certains principes fondamentaux – une question qui figure au palmarès des 10 grands problèmes sans solution pour les théoriciens des cordes.

De récentes observations en astrophysique suggèrent que α , la constante de structure fine (voir page suivante, "Le nombre magique") qui revêt une importance fondamentale dans la description de l'interaction électromagnétique, était dans des époques antérieures un peu plus petite qu'aujourd'hui. Un groupe de recherche (Australie, GB et Etats-Unis) a analysé les spectres d'objets lointains, obtenus en particulier avec le télescope Keck I à Hawaï. Ils ont étudié quelque 150 quasars, certains d'entre eux éloignés de 11 milliards d'années-lumière (Webb *et al.* 2001). Les décalages spectraux de ces objets varient de 0,5 à 3,5, ce qui correspond à des âges allant de 23% à 87% de celui de l'univers. L'équipe a utilisé la méthode des "multiplets multiples" – avec en particulier les spectres du fer, nickel, magnésium, zinc et aluminium – et obtenu environ $1/137,037$ pour la valeur de α aux époques antérieures, contre $1/137,036$ que l'on mesure aujourd'hui. L'écart est faible – d'après les observations $\Delta\alpha/\alpha = (-0,72 \pm 0,18) \times 10^{-5}$ – mais cela pourrait entraîner des conséquences importantes pour la théorie.

L'idée que certaines constantes fondamentales ne soient pas du tout constantes mais présentent une certaine variation avec le temps cosmologique n'est pas nouvelle. Dans les années 30, Paul Dirac (1937) et Arthur Milne (1937) avaient discuté de cette idée, mais dans le cadre de la constante de la gravitation. Dirac avait écrit son article pendant sa lune de miel, de sorte que son collègue George Gamov avait remarqué: "c'est ce qui



Les spectres recueillis à l'observatoire W M Keck au sommet du Mauna Kea, Hawaï, ont fourni une preuve que la valeur de α était légèrement plus petite dans l'univers primordial.
(NASA/JPL.)

arrive quand les gens se marient".

Vers la même époque, Pascal Jordan avait envisagé la possibilité que d'autres constantes puissent varier dans le temps (Jordan 1937 et 1939). Cependant, il avait rejeté l'éventualité que la constante de l'interaction faible ou le rapport de masse de l'électron au proton puissent varier dans le temps. Plus tard, Lev Landau avait considéré la possibilité d'une variation de α dans le temps dans le cadre de la renormalisation de la charge électrique (Landau 1955).

On peut également apprendre quelque chose sur la variation de α dans le temps en étudiant les résidus du réacteur nucléaire naturel découvert près d'Oklo au Gabon, Afrique centrale, qui fonctionnait il y

a environ deux milliards d'années. Des isotopes de terres rares, par exemple du samarium, y ont été produits par la fission de l'uranium. Les distributions de nucléides observées aujourd'hui concordent avec les calculs si l'on suppose qu'ils étaient exposés à un flux de neutrons élevé. La valeur que l'on peut en déduire pour α est excessivement proche de celle que l'on mesure actuellement; sa variation doit en effet être inférieure à 10^{-17} par an, d'après les calculs de Thibault Damour et Freeman Dyson (Damour et Dyson 1996). Si l'on considère ensemble les valeurs astrophysiques et les données d'Oklo, on arrive à la curieuse possibilité que cette constante ait augmenté de quelque 10^{-5} dans l'univers primitif mais soit restée constante au cours des deux derniers milliards d'années.

Toutefois l'interprétation des données d'Oklo devient moins claire si, outre l'évolution de α , on considère également les variations d'autres paramètres, par exemple ceux de l'interaction forte. On déduit la limite sur la variation de α en observant que la section efficace de diffusion des neutrons thermiques par le samarium 149 est dominée par une résonance nucléaire. Or la position de cette résonance ne peut pas avoir bougé au cours des deux milliards d'années écoulés car sans cela le processus de fission n'aurait pu se produire à Oklo, ce qui limite donc la variation pos- ▷

Le nombre magique

La constante de structure fine α est donnée par $\alpha = e^2 2\pi / hc$, où $h/2\pi$ est le quantum d'action de Planck et c la vitesse de la lumière, tandis que e correspond à la constante de couplage de l'interaction électromagnétique. Aujourd'hui α a pour valeur $1/137,03599976$. En utilisant l'effet Hall quantique on peut la mesurer avec une précision de $3,7 \times 10^{-9}$. On peut utiliser cette valeur de la constante de structure fine pour déterminer l'intensité de l'interaction des particules au repos ou à faible vitesse.

Dans les collisions de haute énergie, α augmente du fait de la renormalisation. Elle atteint par exemple une valeur d'environ $1/128$ aux énergies de collision qui correspondent à un transfert d'impulsion de l'ordre de la masse du W (80,4 GeV).

Nombre sans dimension physique, α a été introduite en 1915 par Arnold Sommerfeld. Depuis lors les physiciens se sont interrogés sur le sens de sa proximité avec l'inverse de 137. Wolfgang Pauli était tellement intéressé par ce nombre qu'il devait finalement mourir dans la salle 137 de l'hôpital de Zurich. Werner Heisenberg était également fasciné par le nombre $1/137$ et dans sa théorie des interactions fondamentales il le construisit en utilisant des chiffres simples comme 2 et 3.

sible de α . Du fait de la répulsion coulombienne dans le noyau, une augmentation de α entraînerait une augmentation de l'énergie de la résonance. Cependant, une variation de la constante de couplage forte, α_s , pourrait aisément compenser cet effet.

L'observation d'une variation temporelle de α est certainement un résultat important, sinon spectaculaire, mais il est bon de garder une pointe de scepticisme. Si les constantes fondamentales varient réellement dans le temps, on peut en attendre des conséquences très marquées pour l'évolution cosmologique depuis le big-bang. Néanmoins, les données doivent être prises au sérieux car il n'existe pas d'argument théorique réellement solide permettant de garantir l'invariabilité absolue de ces constantes.

La grande unification

Dans le modèle standard des particules élémentaires, le groupe de jauge global est donné par $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ et on décrit les interactions électromagnétiques faibles dans un sous-groupe $SU(2) \times U(1)$. Le boson Z et le photon sont l'un et l'autre des superpositions de la composante neutre de $SU(2)$ et du boson de $U(1)$. De ce fait, la constante de couplage électromagnétique e , et donc la constante de structure fine, n'est pas une constante de couplage fondamentale. Elle est reliée à la constante de couplage fondamentale de la théorie $SU(2)$ par la relation $e = g/2 \sin \theta_w$. Les expériences mesurent la valeur de l'angle faible, renormalisé à la masse du boson Z , soit: $\sin^2 \theta_w (Q^2 = M_Z^2) = 0,2113 \pm 0,00015$.

Les trois constantes de couplage des interactions forte et électro-faible varient avec l'énergie, mais elles convergent si on les extrapole jusqu'à des énergies très élevées, environ 10^{16} GeV. C'est exactement ce à quoi on s'attend si les trois interactions sont unifiées. Une "grande unification" de ce genre est réalisée si les groupes de jauge des interactions fortes, c.-à-d. le groupe de couleur $SU(3)$, et les deux groupes de jauge des interactions électro-faibles, $SU(2)$ et $U(1)$, sont des sous-groupes d'un groupe simple qui unifie ces trois interactions.

Deux groupes présentent un intérêt particulier, $SU(5)$ (Georgi et Glashow



Dirac (à droite) – photographié ici en 1938 – avait discuté la possibilité que la constante de gravitation puisse varier dans le temps, tandis que Pauli (à gauche) était fasciné par la valeur de la constante de structure fine. (Archives Pauli, CERN.)

1974) et $SO(10)$ (Fritzsch et Minkowski 1975). Le groupe $SU(5)$ a la propriété que les fermions d'une génération sont décrits par deux représentations. Le groupe $SO(10)$ possède une propriété intéressante: une seule représentation permet de décrire tous les leptons et quarks de l'une des générations dans un multiplet comptant 16 membres. Ce dernier contient par exemple pour les fermions de la première génération six quarks (u et d en trois couleurs) et six antiquarks, aux côtés de l'électron, du positon, du neutrino de l'électron gauche et du neutrino de l'électron droit. On note qu'il introduit, outre le neutrino normal gauche, un neutrino droit qui n'apparaît pas dans l'interaction faible normale. Cependant, son existence est importante pour qu'apparaisse une masse du neutrino. En fait, dans la théorie $SO(10)$ on s'attend en général à ce que les neutrinos possèdent une masse, ce qui s'accorde avec les preuves expérimentales actuelles.

Les constantes de couplage du modèle standard semblent converger si on les extrapole à très haute énergie. Il s'avère que dans le modèle $SU(5)$ cela ne se produit pas, par contre dans les modèles basés sur le groupe $SO(10)$ on obtient cette convergence car une nouvelle échelle d'énergie, outre celle de l'unification, y joue un rôle à haute énergie. Cependant, on peut encore obtenir une convergence des constantes de couplage dans un modèle $SU(5)$ si la supersymétrie y entre en jeu au-dessus de 1 TeV. Les contributions des particules supersymétriques modifient les coefficients de renormalisation de sorte que la convergence se produise autour de 10^{16} GeV.

Si nous prenons au sérieux l'idée d'une grande unification, elle implique que la variation de α dans le temps pourrait aller de pair avec une variation dans le temps de la constante de couplage d'unification g_{un} , car en cas contraire la grande unification ne se produirait qu'à une époque particulière, ce qui n'a guère de sens. En conséquence nous pourrions donc nous

attendre à ce que les trois constantes de couplage g_1 , g_2 et g_3 soient dépendantes du temps. La dépendance temporelle du couplage de la chromodynamique quantique (CDQ), c.-à-d. α_s , est particulièrement intéressante car il détermine l'échelle des masses hadroniques et de nombreux autres paramètres de physique hadronique et nucléaire.

Si l'on considère l'évolution de α_s à l'ordre le plus bas seulement, il est donné par l'équation suivante du groupe de renormalisation:

Equation 1

$$\alpha_s(\mu) \cong \frac{4\pi}{\beta_0 \ln \left(\frac{\Lambda^2}{\mu^2} \right)}$$

μ est l'échelle de référence, $\beta_0 = -11 + 2/3 \times n_f$ (n_f est le nombre de saveurs) et Λ_s est le paramètre d'échelle de la CDQ.

Les expériences, en particulier les mesures effectuées au LEP, donnent $\alpha_s = 0,116 + 0,003/-0,005$ (exp.) $\pm 0,003$ (th.). Le paramètre d'échelle a typiquement une valeur $\Lambda_s = 213 + 38/-35$ MeV. Bien sûr, si α_s n'est pas seulement une fonction de l'échelle de référence, mais également du temps, le paramètre d'échelle Λ_s varie lui aussi dans le temps. Nous obtenons pour la dépendance temporelle:

Equation 2

$$\frac{\dot{\alpha}_s}{\alpha_s} = \frac{2}{\ln \left(\frac{\mu^2}{\Lambda^2} \right)} \frac{\dot{\Lambda}}{\Lambda}$$

$$R = \frac{\dot{\Lambda}}{\Lambda} / \frac{\dot{\alpha}_s}{\alpha_s}$$

Les variations temporelles relatives sont liées par: $\delta\Lambda/\Lambda = (\delta\alpha_s/\alpha_s) \ln(\mu/\Lambda)$. De ce fait, la variation relative de α_s ne peut être uniforme, c.-à-d. identique à toutes les échelles de référence, mais doit varier logarithmiquement quand les échelles de référence varient. Nous pourrions, par exemple, considérer la variation relative de α_s à très haute énergie. Ainsi, à proximité de l'énergie de grande unification, la variation correspondante pour Λ serait plus grande d'un facteur $\ln(\mu/\Lambda) \cong 38$.

Autres dépendances temporelles

En CDQ la masse du proton comme celle de tous les autres hadrons est proportionnelle à Λ , si l'on néglige les masses des quarks. En fait, les masses des quarks légers, m_u , m_d et m_s , diffèrent de zéro, mais les termes de masse ne contribuent que peu à la masse totale, généralement moins de 10%. Nous négligeons donc ces contributions à la masse du nucléon ainsi que la petite part d'origine électromagnétique.

Donc, si le couplage ou le paramètre d'échelle de la CDQ varient dans le temps, nous pouvons prévoir une évolution temporelle correspondante pour les masses du nucléon et des noyaux atomiques (Calmet et Fritzsche 2002). On pourrait observer ces variations en mesurant le rapport des masses m_e/m_p . Comme un changement dans les paramètres de la CDQ n'influencerait pas la masse de l'électron, le résultat attendu serait une variation du rapport des masses.

Quels que soient les détails du schéma d'unification, une variation dans le temps pour ces différents paramètres impliquerait en particulier une variation dans le temps pour la constante de couplage unifiée, définie par

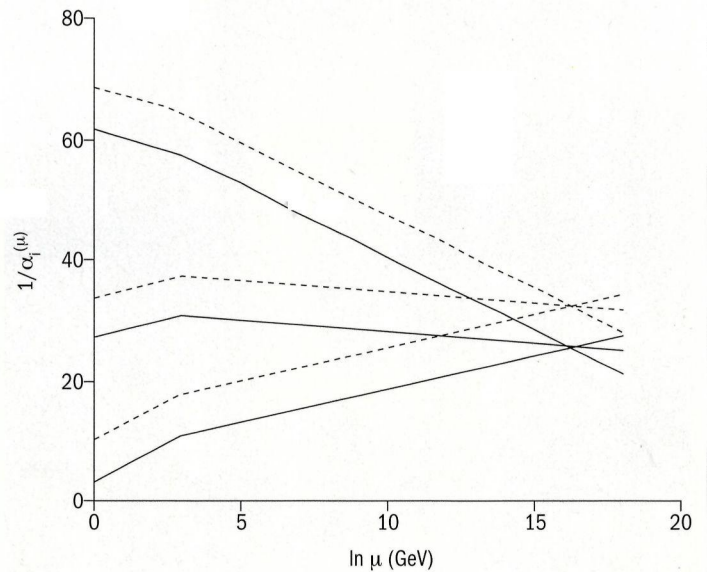


Fig. 1. Convergence des trois constantes de couplage dans la théorie SU(5) supersymétrique. Les lignes en pointillé montrent l'effet d'une variation temporelle.

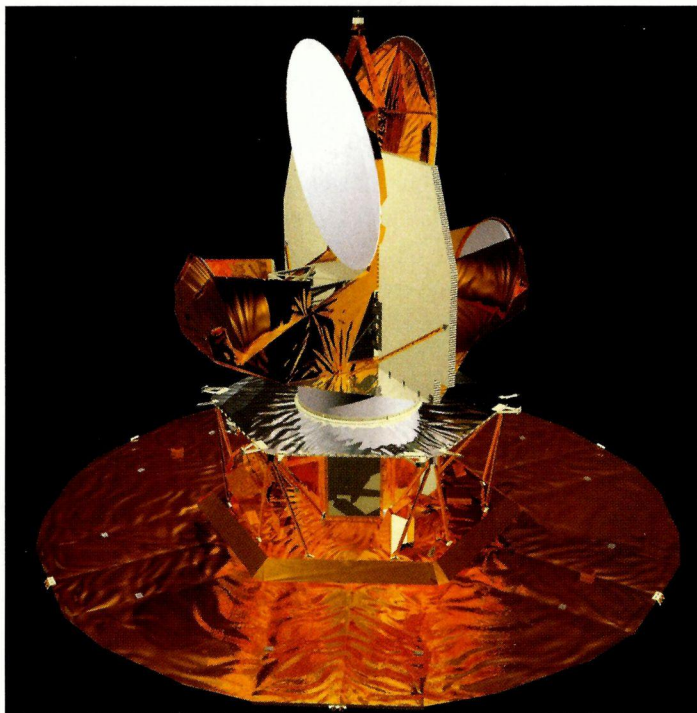
exemple à l'énergie d'unification. Pour prendre un cas spécifique, considérons l'exemple d'une théorie SU(5) avec supersymétrie, celle-ci étant brisée autour de 1 TeV pour donner le modèle standard. La figure 1 montre la variation temporelle des trois couplages de jauge. L'unification a lieu pour $\Lambda_{\text{GUT}} = 1,5 \times 10^{16}$ GeV, où la constante de couplage vaut $\alpha_{\text{un}} = 0,03853$.

Une variation temporelle peut provenir d'une dépendance temporelle de la constante de couplage unifiée, mais également d'une dépendance temporelle de l'énergie à laquelle se produit cette unification. Dans le cas où seule la constante de couplage varie dans le temps, il s'avère que les variations temporelles de α et α_s sont liées, en fait le rapport de leurs variations vaut $8/3 \times (\alpha/\alpha_s)$, soit environ 1/10. Autrement dit, la variation temporelle de la constante de couplage forte est supérieure à peu près d'un ordre de grandeur à celle de la constante de couplage électromagnétique.

Dans le cas où la constante de couplage reste invariante, tandis que l'énergie d'unification évolue dans le temps, on trouve que la variation temporelle de l'échelle Λ des interactions fortes est quelque 31 fois plus grande que la variation temporelle de α , mais de signe opposé. C'est une observation intéressante. Alors que α présente une croissance relative d'environ $10^{-15}/\text{an}$, Λ et la masse du nucléon décroissent tous deux au rythme d'environ $2 \times 10^{-14}/\text{an}$. Dans le même temps, les moments magnétiques du proton et du noyau devraient croître lentement au rythme d'environ $3 \times 10^{-14}/\text{an}$.

Les futures observations

On pourrait observer une variation temporelle de la masse du proton et de α grâce à des mesures précises de physique quantique. La longueur d'onde de la lumière émise dans des transitions hyperfines, par exemple celle que l'on mesure dans les horloges au césium, est proportionnelle $\alpha^4 m_e/\Lambda$, qui serait variable dans le temps à travers aussi bien α que Λ . D'un autre côté, la longueur d'onde de la lumière engendrée dans les transitions atomiques ne dépend que de α et varierait donc en conséquence. On s'attendrait donc à voir une variation temporelle de lumière émise



Les mesures du fond cosmologique diffus par le satellite MAP offriront de meilleures limites sur la variation temporelle de α . (NASA.)

dans les transitions hyperfines environ 17 fois plus marquées que pour la lumière émise dans les transitions atomiques normales, mais en sens inverse, c.-à-d. que la longueur d'onde atomique se réduit dans le temps et la longueur d'onde hyperfine augmente.

Actuellement on définit la seconde comme la durée de 6 192 631 770 périodes d'une lumière micro-onde émise dans les transitions hyperfines du césium 133. Si Λ devait varier dans le temps, il s'en suivrait que l'écoulement du temps, que l'on mesure dans les horloges atomiques, ne correspondrait pas exactement à l'écoulement du temps que l'on mesure dans les transitions atomiques. Des expériences pour rechercher un tel effet seront bientôt effectuées à l'institut Max Planck d'optique quantique à Munich sous la conduite de Theodor Haensch.

Si l'on découvre un tel effet, il sera important de déterminer le signe et la grandeur du quotient R des rapports de l'équation 2. Si l'on obtient $R \sim -20$, ce sera là un indice fort en faveur de l'unification des interactions forte et électrofaible. En outre, cette valeur serait très intéressante pour mieux comprendre toute variation éventuelle des constantes de la nature dans le temps.

Dans la constante de structure fine α entrent les quantités e , $h/2\pi$ et c . De ce fait, si α varie dans le temps, il en va de même pour l'un de ces nombres. Aujourd'hui on part habituellement de l'hypothèse que $h/2\pi$ et c sont des unités fondamentales auxquelles on peut attribuer la valeur 1 dans un système d'unités convenable. De ce fait une variation temporelle de α correspondrait à une variation de e .

Les théories des "supercordes" offrent effectivement une justification complémentaire pour adopter des constantes fondamentales qui ne soient pas réellement invariables. Dans ces théories les constantes de couplage sans dimension, telles que α , sont liées à des fonctions des valeurs moyennes dans le vide de champs scalaires, lesquelles pourraient aisément dépendre du temps. De plus, une dépendance temporelle pourrait aisément survenir si outre les trois dimensions spatiales il en existait d'autres, cachées.

Il serait particulièrement intéressant de découvrir des données sur les constantes de couplage telles que α ou α_s dans l'univers primordial. La détermination directe n'est pas possible, mais des mesures récentes du fond cosmologique diffus, dont l'origine se situe dans l'univers primordial, n'indiquent aucune variation temporelle de α avec une précision de l'ordre de 10%. Les données du satellite MAP, lancé en 2001, permettront d'améliorer cette limite ou de découvrir un effet. De nouveaux indices d'une variation temporelle de α ou α_s , ou des deux, auraient des conséquences importantes.

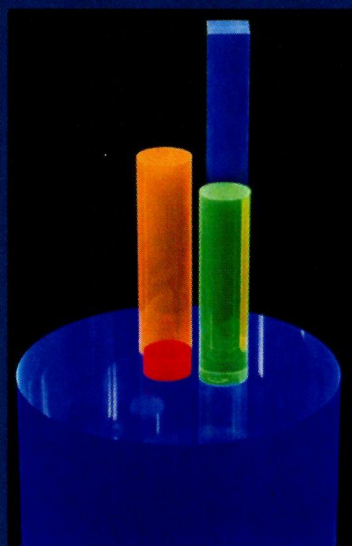
Pour en savoir plus

- X Calmet et H Fritzsch 2002 *Phys. Lett.* **540** 173.
- T Damour et F Dyson 1996 *Nucl. Phys. B* **480** 37.
- P M Dirac 1937 *Nature* **192** (325) 8.
- H Fritzsch et P Minkowski 1975 *Annals Phys.* **93** 193.
- H Georgi et S L Glashow 1974 *Phys. Rev. Lett.* **32** 438.
- P Jordan 1937 *Naturwiss.* **25** 513.
- P Jordan 1939 *U. Physik* **1113** 660.
- L D Landau 1955 in W Pauli (ed.) *Niels Bohr and the Development of Physics* (McGraw-Hill, New York) p52.
- E A Milne 1937 *Proc. Roy. Soc. A* **3** 242.
- J K Webb et al. 2001 *Phys. Rev. Lett.* **67** 091301.

Harald Fritzsch, université de Munich.

PLASTIC SCINTILLATOR

*Organic Scintillators
for Tomorrow's Technology*



■ Plastic Scintillators

Thin Films
Large Sheets

■ Liquid Scintillators

■ Reflective Paints

■ Optical Cement

■ Wavelength Shifting Plastics

■ ZnS-Ag Coating

Discs / Sheets

■ Custom Design and Manufacturing



ELJEN TECHNOLOGY

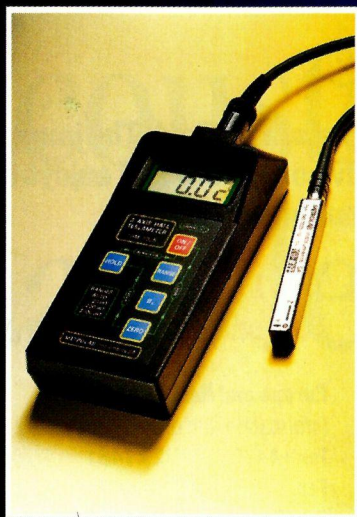
PO Box 870 / 300 Crane Street
Sweetwater, Texas 79556 (USA)
Ph: 915-235-4276 or 888-800-8771
Fax: 915-235-2872
e-mail: eljen@eljentechnology.com

www.eljentechnology.com

Visit our website or contact us for a brochure

Instrumentation for Measurement & Control

► Magnetic Field

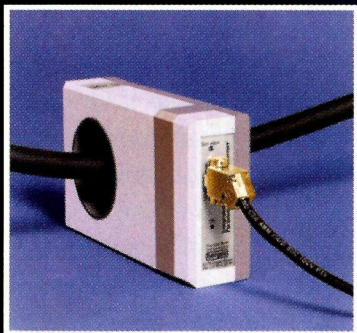


THM-7025

Application ▼	Product ▼	Specifications		
		Range ▼	Resolution ▼	Bandwidth ▼
Linear sensing. Non-contact measurement of position, angle, vibration. Small size, low power.	CYH-22 1-axis Hall element	± 20mT	± 4μT	DC to 10kHz
	2D-VD-11 2-axis Hall element	User option	± 30μT	DC to 10kHz
	3D-H-30 3-axis Hall element	User option	± 100μT	DC to 10kHz
High sensitivity and accuracy for low fields. Site surveys and monitoring. Active field cancellation.	MAG-01 1-axis Fluxgate Teslameter	± 2mT	± 0.1nT	DC to 10Hz
	MAG-03 3-axis Fluxgate Transducer	± 1mT	± 0.1nT	DC to 3kHz
Linear measurement. Feedback control. Mapping, quality control.	YR100-3-2 Hall Transducer, 1-axis	± 2T	± 12μT	DC to 10kHz
	3R100-2-2 Hall Transducer, 3-axis	± 2T	± 12μT	DC to 10kHz
Hand-held, low-cost, 3-axis for magnet and fringe fields.	THM 7025 Hall Teslameter, 3-axis	± 2T	± 10μT	DC
Precision measurement and control. Laboratory and process systems.	DTM-133 Hall Teslameter, 1-axis	± 3T	± 5μT	DC to 10Hz
	DTM-151 Hall Teslameter, 1-axis	± 3T	± 0.1μT	DC to 3Hz
Calibration of magnetic standards. Very high resolution and stability (total field).	2025 NMR Teslameter (total field)	± 13.7T	± 0.1μT	DC
	FW101 NMR Teslameter (total field)	± 2.1T	± 0.5nT	DC
Precision flux change measurement.	PDI 5025 Digital Voltage Integrator	40 V.s	±2E-8V.s	1ms to 2 ²³ ms

Field units: 0.1nT = 1μG, 100nT = 1mG, 100μT = 1G, 1mT = 10G, 1T = 10,000G

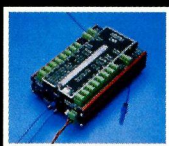
► Electric Current (isolated measurement)



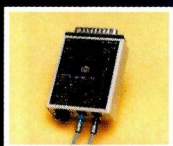
IPCT

Application ▼	Product ▼	Specifications		
		Range ▼	Resolution ▼	Bandwidth ▼
High sensitivity for low currents, currents at high voltage, differential currents.	IPCT Current Transducer	± 2A	± 10μA	DC to 4kHz
	MPCT Current Transducer	± 5A	± 10μA	DC to 4kHz
Linear sensor for low-noise, precision current regulated amplifiers and power supplies.	864I-2000 Current Transducer	± 2000A	<4ppm	DC to 300kHz
	866-600 Current Transducer	± 600A	<4ppm	DC to 100kHz
Instruments for calibration, development, quality control.	860R-600 Current Transducer	± 600A	<5ppm	DC to 300kHz
	860R-2000 Current Transducer	± 2000A	<8ppm	DC to 150kHz
	862 Current Transducer	± 16kA	<5ppm	DC to 30kHz
Passive sensor for rf and pulse current.	FCT Fast Current Transformer	1:5 to 1:500	limited by following amplifier	150Hz to 2GHz
Passive sensor for pulse charge.	ICT Integrating Current Transformer	± 400nC	± 0.5pC	1μs to <1ps

► Distributed I/O



CNA



FTR

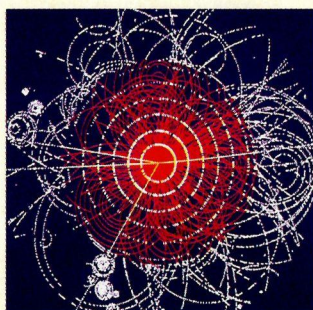
Application ▼	Product ▼	Specifications		
		Range ▼	Resolution ▼	Bandwidth ▼
High resolution Input/Output modules that can be placed locally at the transducer or controlled unit. High Voltage and/or high noise environments. PC, PCI, VME, .CAMAC host computer options.	DNA for DeviceNet	± 100mV to ± 10V	16 bit	DC to 150Hz
	CNA with fiber optic communication	± 100mV to ± 10V	16 bit	DC to 150Hz
	FTR fiber optic to RS-232-C			50 to 200kB



A SISSA journal published
electronically by Institute of
Physics Publishing

Journal of High Energy Physics

2003 subscriptions - available NOW!



©CERN Geneva
Image shows a simulation by the ATLAS experiment of the
decay of a Higgs boson into four muons (yellow tracks).



jhep.sissa.it

JHEP is one of the largest and most highly-cited journals in its field. The journal benefits from a highly distinguished Editorial and Advisory Board and enjoys the widespread support of the high energy physics community.

Some key points about JHEP:

- Run by the scientific community, for the scientific community
- **Key research** articles from across all areas of high energy physics from **renowned authors**
- **Rigorous Peer review**
- Integrated into IOP's award-winning Electronic Journals service
- **Powerful search** facilities and inter-publisher reference linking

JHEP is available for an affordable annual subscription fee in 2003, users will benefit from improved electronic publishing technology and enhanced user services. The archive 1997-2001 will remain free to all.

Register your 2003 subscription NOW!

www.iop.org/journals/jhep

**2001 Impact
Factor 8.664**

Europe and Rest of World

Information and orders

Tel: +44 (0) 117 929 7481

Fax: +44 (0) 117 929 4318

E-mail: custserv@iop.org

USA, Canada & Mexico

Orders only

Tel: (800) 344 6901

Fax: (516) 349 9704

E-mail: subs@aip.org

(Or contact your subscription agent)

SISSA International School for Advanced Studies

Institute of **Physics** PUBLISHING

PhysicsWorld

Media information 2003

Expressing the
international
voice of physics

For your copy of the *Physics
World* 2003 media pack,
please contact our sales
team:

Physics World,
Institute of Physics Publishing,
Dirac House, Temple Back,
Bristol BS1 6BE, UK.
Tel: +44 (0)117 930 1031.
Fax: +44 (0)117 930 1178.
Email: sales.physicsworld@iop.org.
Web: physicsweb.org/toc/world.

Independent • International • Influential • Institute of Physics Publishing