

SPG MITTEILUNGEN

COMMUNICATIONS DE LA SSP

Joint Annual Meeting of the
Austrian Physical Society
and **Swiss Physical Society**

with
Austrian and Swiss Societies for
Astronomy and Astrophysics

September 3 - 6, 2013, JKU Linz

Image Credit: Herta Hurnaus

Image © Stadt Linz

Call for Abstracts: Submission Deadline May 13, 2013

More information on page 3



The 2012 Nobel prize laureates in Physics (p. 17) David Wineland and Serge Haroche. Professor Haroche will give a public lecture at our joint annual meeting in Linz (p. 3).

Gerald S. Guralnik is one of the pioneers of the theoretical framework for particle physics which was recently verified by the discovery of the long-sought "Higgs"-boson. Read more on p. 14.



Inhalt - Contenu - Contents

Joint Annual Meeting in Linz	3
Progress in Physics (31): Past and Present Challenges in Nuclear Astrophysics	5
Progress in Physics (32): New probes for condensed matter research at the Paul Scherrer Institute	9
Kurzmitteilungen	12
Heretical Ideas that Provided the Cornerstone for the Standard Model of Particle Physics	14
Controlling the quantum - the Nobel Prize in Physics 2012	17
Physik und Gesellschaft: Physiker als Innovatoren in der Industrie	18
Buchbesprechung: Ingenieure bauen die Schweiz	20
History of Physics (6): Fritz Zwicky: An Extraordinary Astrophysicist	22
Histoire de la Physique (7): Des décisions politiques aux conséquences scientifiques	
La stratégie des augmentations d'énergie dans les dernières années du LEP	25
Die Schweizerische Gesellschaft für Logik und Philosophie der Wissenschaften und die Turing-Tagung 2012	29
Allgemeine Relativitätstheorie und ihre Anwendungen zum 125. Geburtstag der Physikalischen Gesellschaft Zürich (PGZ)	31

Vorstandsmitglieder der SPG / Membres du Comité de la SSP

Präsident / Président

Dr. Andreas Schopper, CERN, Andreas.Schopper@cern.ch

Vize-Präsident / Vice-Président

Dr. Christophe Rossel, IBM Rueschlikon, rsl@zurich.ibm.com

Sekretär / Secrétaire

Dr. MER Antoine Pochelon, EPFL-CRPP, antoine.pochelon@epfl.ch

Kassier / Trésorier

Dr. Pascal Ruffieux, EMPA, pascal.ruffieux@empa.ch

Kondensierte Materie / Matière Condensée (KOND)

Prof. Christian Rüegg, PSI & Uni Genève, christian.rueegg@psi.ch, christian.rueegg@unige.ch

Angewandte Physik / Physique Appliquée (ANDO)

Dr. Ivo Furno, EPFL-CRPP, ivo.furno@epfl.ch

Astrophysik, Kern- und Teilchenphysik /

Astrophysique, physique nucléaire et corp. (TASK)

Prof. Martin Pohl, Uni Genève, martin.pohl@cern.ch

Theoretische Physik / Physique Théorique (THEO)

Prof. Gian Michele Graf, ETH Zürich, gmggraf@phys.ethz.ch

Physik in der Industrie / Physique dans l'industrie

Dr. Kai Hencken, ABB Dättwil, kai.hencken@ch.abb.com

Atomphysik und Quantenoptik /

Physique Atomique et Optique Quantique

Prof. Antoine Weis, Uni Fribourg, antoine.weis@unifr.ch

Physikausbildung und -förderung /

Education et encouragement à la physique

Dr. Tibor Gyalog, Uni Basel, tibor.gyalog@unibas.ch

Geschichte der Physik / Histoire de la Physique

Prof. Jan Lacki, Uni Genève, jan.lacki@unige.ch

Physik der Erde, Atmosphäre und Umwelt /

Physique du globe et de l'environnement

Dr. Stéphane Goyette, Uni Genève, stephane.goyette@unige.ch

SPG Administration / Administration de la SSP

Allgemeines Sekretariat (Mitgliederverwaltung, Webseite, Druck, Versand, Redaktion Bulletin & SPG Mitteilungen) /

Secrétariat générale (Service des membres, internet, impression, envoi, rédaction Bulletin & Communications de la SSP)

S. Albietz, SPG Sekretariat, Département Physik,

Klingelbergstrasse 82, CH-4056 Basel

Tel. 061 / 267 36 86, Fax 061 / 267 37 84, sps@unibas.ch

Buchhaltung / Service de la comptabilité

F. Erkadoo, SPG Sekretariat, Département Physik,

Klingelbergstrasse 82, CH-4056 Basel

Tel. 061 / 267 37 50, Fax 061 / 267 13 49, francois.erkadoo@unibas.ch

Protokollführerin / Greffière

Susanne Johner, SJO@zurich.ibm.com

Wissenschaftlicher Redakteur/ Rédacteur scientifique

Dr. Bernhard Braunecker, Braunecker Engineering GmbH,

braunecker@bluewin.ch

Impressum:

Die SPG Mitteilungen erscheinen ca. 2-4 mal jährlich und werden an alle Mitglieder abgegeben.

Abonnement für Nichtmitglieder:

CHF 20.- pro Jahrgang (Inland; Ausland auf Anfrage), incl. Lieferung der Hefte sofort nach Erscheinen frei Haus. Bestellungen bzw. Kündigungen jeweils zum Jahresende senden Sie bitte formlos an folgende Adresse:

Verlag und Redaktion:

Schweizerische Physikalische Gesellschaft, Klingelbergstr. 82, CH-4056 Basel, sps@unibas.ch, www.sps.ch

Redaktionelle Beiträge und Inserate sind willkommen, bitte wenden Sie sich an die obige Adresse. Namentlich gekennzeichnete Beiträge geben grundsätzlich die Meinungen der betreffenden Autoren wieder. Die SPG übernimmt hierfür keine Verantwortung.

Druck:

Werner Druck AG, Kanonengasse 32, 4001 Basel

sc | nat 

Member of
the Swiss Academy of Sciences



SATW

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften
Académie suisse des sciences techniques
Accademia svizzera delle scienze tecniche
Swiss Academy of Engineering Sciences

Joint Annual Meeting in Linz, September 03 - 06, 2013

For the third time our annual meeting is organised together with our Swiss and Austrian colleagues from ÖPG, SSAA and ÖGAA. Both previous events in Innsbruck (2009) and Lausanne (2011) indicated clearly that physicists from both countries appreciated the broader range of topics as well as the opportunity to meet colleagues from the other societies.

The Johannes Kepler University (JKU) Linz will host this year's conference and is also involved in the organisation of the "Energy Day" (see below).

Scientific Program

Plenary Session

Nine plenary talks, addressing latest advancements in different research fields will be presented in the morning sessions from Wednesday to Friday.

- **Richard Berndt**, Uni Kiel: *Plasmons, forces and currents in atomic and molecular contacts*
- **Rainer Blatt**, Uni Innsbruck: *The Quantum Way of Doing Computations*
- **Silke Bühler-Paschen**, TU Wien: *Quantum phase transitions in condensed matter*
- **Douglas Cripe**, GEO, Genève: *GEO: Using Earth observation for Integrated Water Resources Management*
- **Lisa Kaltenegger**, MPI für Astronomie, Heidelberg and Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, Cambridge, USA: *Characterizing Exoplanets - Super-Earths*
- **Jan Lacki**, Uni Genève: *100 years Bohr's atomic model: its birth and its importance in the rise of quantum mechanics*
- **Rainer Wallny**, ETH Zürich: *LHC - The First Three Years*
- **Primoz Zihlerl**, Uni Ljubljana: *Shape and structure of simple epithelial tissues*
- **Peter Zoller**, Uni Innsbruck: *Quantum Simulation with Atoms, Ions and Molecules*

Furthermore two public lectures are scheduled: On Tuesday evening the former director of the US Department of Energy, **Mildred Dresselhaus**, MIT, will speak about *Using nanostructures to enhance energy conversion efficiency*.

Nobel Laureate **Serge Haroche**, Collège de France (see also p. 17 in this issue), will give a talk on Wednesday evening on *Manipulation of single quantum systems*.

Topical Sessions

The following parallel sessions will be held in the afternoons:

- Applied Physics, Acoustics & Polymer Physics
- Astronomy and Astrophysics (with the special topic: *Habitable Worlds: From Detection to Characterisation*)
- Atomic Physics and Quantum Photonics
- Biophysics and Medical Physics
- Careers for Physicists
- Condensed Matter Physics (incl. NESY)
- Geophysics, Atmosphere and Environmental Physics
- History of Physics

- Nuclear, Particle- & Astrophysics
- Plasmaphysics
- Surfaces, Interfaces and Thin Films
- Theoretical Physics
- Didactics in Physics

Dependent on the number and contents of the contributed papers, each topical session will be split into special thematic subsessions.

A special "Energy day" will take place on September 3, which covers in parallel sessions current topics of energy generation, -transport and -storage. This part of the conference will be open to the public without charge.

Poster Session

The poster session will be scheduled on 3 days, starting in the evening of September 4, in the frame of an apéro.

All posters are expected to be presented on all 3 days.

The three most outstanding posters will be awarded with a "Best poster prize", sponsored by EPL journal. Additionally to the above requirement, the first author of the poster must be personally present at the conference in order to qualify for the selection.

The maximum poster size is A0 (portrait).

Vendors Exhibition

A vendors exhibition will be organized in parallel to the sessions. An invitation letter will be mailed within the next weeks to interested companies. If your company would like to join the exhibition, but did not receive the letter, please contact: sps@unibas.ch

Award Ceremony

As every year three outstanding scientific works will be honoured with the SPS awards, in the respective fields of General Physics (sponsored by ABB Research Center), Condensed Matter Physics (sponsored by IBM Zürich Research Laboratory), and Applied Physics (sponsored by OC Oerlikon), each granted with CHF 5000.- .

The ÖPG will honor candidates with the Boltzmann award, the Viktor-Franz-Hess award, the Anton-Paar award and the Roman-Ulrich-Sexl award.

The ceremony will be held on September 4.

Conference Dinner

A conference dinner is scheduled for the evening of September 5. Information on the location, price and more details will be available on the conference web sites soon.

General Assembly

The general assembly is scheduled for September 5, 2013. The agenda will be published in the next issue of the SPS Communications. We encourage all members to actively participate and contact the committee if special points of interest should be discussed at the assembly.

Abstract Submission: **Deadline May 13, 2013**

You can submit abstracts to all topical sessions. The choice between an oral or a poster presentation of your contribution is possible. Due to the limited number of time slots the session organizers might however be forced to change oral presentations into posters. If possible, please mark both options in your submission. Abstracts shall not be longer than ca. 100 words, pictures are not allowed.

The submission of abstracts must be done online. Visit our webpage www.sps.ch and follow the link to the submission form. Further explanations are available there.

The full conference program will be available in July 2013 on www.sps.ch and www.oepg.at.

Conference Fees, Registration and Payment

The conference fees cover the participation to all sessions, including coffee breaks (all days) and poster-apéro (Wednesday and Thursday). One-day tickets are not available.

The conference dinner on Thursday evening will be charged separately.

Pay your conference fee in time and save money !

The regular fees, as shown in the table below, hold for payments reaching us before August 1, 2013.

<i>Category (all prices in EURO):</i>	<i>Regular</i>
Members of SPS, ÖPG, SSAA, ÖGAA	90.-
Ph.D. Students who are members (*)	70.-
Ph.D. Students who are not members (*)	90.-
Students before Master/Diploma degree (*)	30.-
Plenary / invited speakers, awardees	0.-
Other persons	120.-
Conference Dinner	TBC

(*) Students licence required

For payments made later than August 1 a surcharge of EUR 20.- will be added. This applies also for participants paying cash at the conference.

Attention: Fees are not refundable in case of cancellation.

Payment information is available directly on the registration webpage www.jku.at/hfp/oepgsps13. Please make sure that your name and the purpose of the payment are indicated.

Registration Deadline: August 1, 2013

Additional information for selected sessions

Biophysics and Medical Physics

The session will focus on the topic **From Soft Matter to Biological Physics** and intends to bring together researchers in the fields of soft matter physics and biological physics, bridging fundamental physics of liquids and colloidal systems with the complexity of events occurring on the cellular level, e.g. signal transduction, and the hierarchical architecture of biological materials.

Contact: Georg Pabst, Uni Graz (georg.pabst@uni-graz.at)

Habitable Worlds: From Detection to Characterization

Since 1995, extrasolar planets have been detected at an increasingly rapid pace thanks to advances in instrumentation, including sensitive devices on astronomical satellites. With the confirmation of about 1000 exoplanets and the detection of many thousand candidates, a large diversity of planetary system architectures is becoming apparent, and a broad distribution of planetary masses and sizes. The ob-

vious next challenge is the characterization of the interiors of planets, their surfaces and their atmospheres. Discrimination between gaseous and Earth-like planets has already been possible for some exoplanets, and for a few exceptional cases, rough spectral information has provided some information on their atmospheric composition. We are thus entering a new phase of exoplanetary research: full characterization of planetary surface conditions and therefore the search for habitable environments that may be conducive to the formation of life.

This session is devoted to recent progress in the detection of exoplanetary systems, the identification of planetary system architecture, the characterization of exoplanetary interiors and atmospheres, and interactions between atmospheres, the host star, and the circumstellar environment.

Contact: Daniel Schaerer Uni Genève (daniel.schaerer@unige.ch), Manuel Guedel, Uni Wien (manuel.guedel@univie.ac.at)

Progress in Physics (31)

Past and Present Challenges in Nuclear Astrophysics

Friedrich-Karl Thielemann, *Departement Physik, Universität Basel*

Nuclear Astrophysics has a long tradition, going back to the early days of nuclear physics, when it started to be considered as the source of energy generation in stars. Bethe and Weizsäcker proposed first the CNO-cycle(s) and later also the pp-cycle(s), responsible for transforming four hydrogen nuclei (protons) - via capture reactions and two beta-decays - into ${}^4\text{He}$ (1937-1939, leading also to Bethe's Nobel Prize in 1967). This stimulated further questions about the origin of the elements in the Universe and our Solar System. Alpher, Bethe, Gamow (1948) in fact suggested that essentially all (also heavy) elements were made in the Big Bang from an initial hot soup of neutrons and protons. This suggestion - although a possible scenario - was finally rejected by Wagoner, Fowler, Hoyle (1969), realizing that apparently the entropy in the Big Bang was too high - or the density at the relevant temperatures too small - in order to bridge the extremely short-lived nuclei with nuclear masses 5 and 8. Thus, the Big Bang explains only the ${}^1\text{H}$, ${}^2\text{H}$, ${}^3\text{He}$, ${}^4\text{He}$ and ${}^7\text{Li}$ abundances. Another question remained, whether there exist further burning stages in stars beyond hydrogen burning, which utilize the "ash" of hydrogen burning (${}^4\text{He}$) as "fuel".

It requires high densities in stellar interiors to provide a constant and considerable production of ${}^8\text{Be}$ (which decays in 2.6×10^{-16} s), in order to permit a further alpha-capture ${}^8\text{Be}(\alpha, \gamma){}^{12}\text{C}$ to produce stable ${}^{12}\text{C}$. Hoyle realized that this was only possible with a resonance (excited state) in ${}^{12}\text{C}$ with the right energy, spin, and parity, a hypothesis worked out further by Salpeter (1952). The state was experimentally determined in 1957 and its structure is still a matter of most modern theoretical analysis (Epelbaum et al. 2012).

The 1950s were the time when a first picture emerged how to put all pieces together. Suess and Urey (1956) published a comprehensive abundance table of the element abun-

dances in the solar system, based on the composition of primitive meteorites (carbonaceous chondrites, agreeing essentially with the analysis of the solar spectrum, with the exception of volatile elements - like noble gases - which evaporated from meteorites). In 1957, independent of each other, two teams (1) the astronomers J. and M. Burbidge, the nuclear experimentalist W. Fowler, and the theoretical astrophysicist F. Hoyle, as well as (2) the (in those days) nuclear theorist A. Cameron, worked on a comprehensive theory to understand the origin of the full abundance pattern as we find it today (B²FH 1957, Cameron 1957). They postulated further fusion processes up to the elements around Fe, possessing the highest binding energies, as well as sequences of neutron captures and beta-decays which can form the elements up to Pb and Bi or even Th, U, Pu and beyond (leading to the Noble Prize for Fowler in 1983).

It followed a long period of experimental activities, measuring the major reactions of nuclear burning stages in stellar evolution (also causing neutrino emission from beta-decays - first detected with underground detectors in the Homestake Goldmine, Nobel Prize for R. Davis in 2002) and neutron captures for the s-process (slow neutron capture) which is responsible for the formation of about half of the heavy elements up to Pb and Bi (see Käppeler et al. 2011 for a recent review). In parallel first theoretical efforts were undertaken to predict cross sections for reactions involving intermediate and heavy nuclei, based on the compound nucleus or Hauser-Feshbach model (see Rauscher, Thielemann 2000, Rauscher 2012 for the present status). Step by step a transition occurred from pure nucleosynthesis studies with assumed/approximated conditions to real astrophysical models, i.e. detailed stellar evolution models including all relevant nuclear physics as well as dynamics, radiation transport, mixing via convective instabilities or induced by rotation, and mass loss via stellar winds (for present models

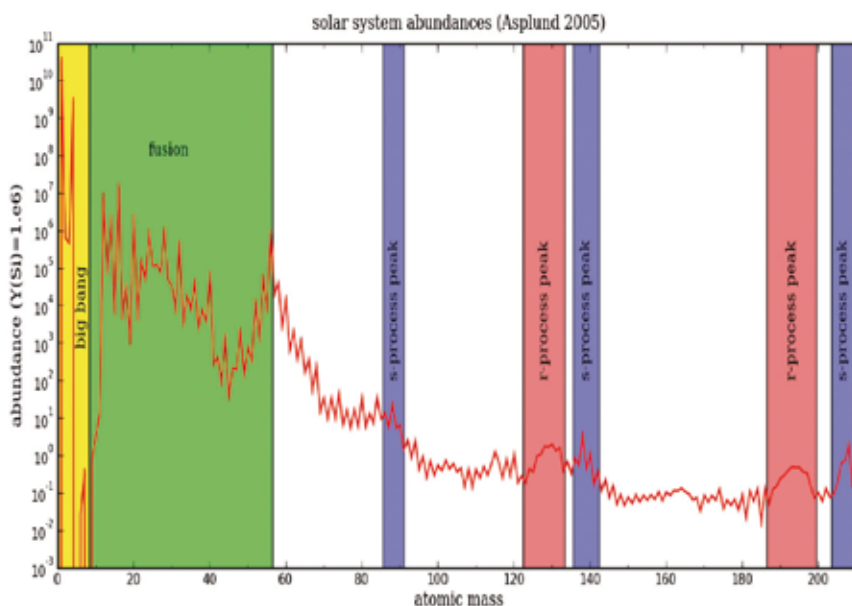


Fig. 1: Abundances from H to Bi isotopes as a function of mass number A , spanning over 12 orders of magnitude. For historical reasons Si is normalized to 10^{12} . Only H, He, and Li were formed in the Big Bang, all heavier elements are due to stellar evolution and stellar explosions. Up to the Fe-peak these are fusion reactions. The heavier elements are formed by neutron captures with peaks (red/blue shades) related to the closed neutron shells 50, 82, and 126. The separation is caused by experiencing these shell closures among stable nuclei or short-lived neutron-rich unstable nuclei.

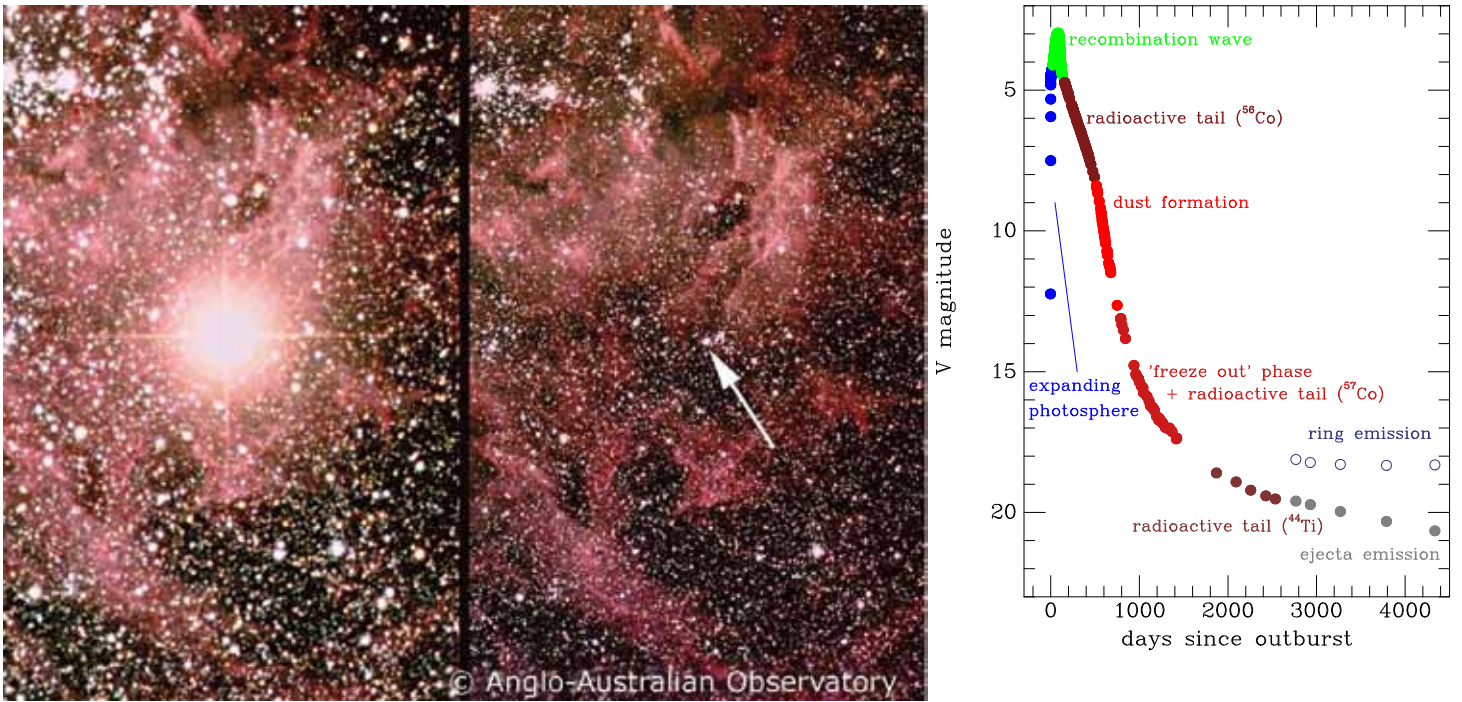


Fig.2: Left, Supernova 1987A; middle, the identified progenitor star (Sanduleak $-69^{\circ}202$) in the Large Magellanic Cloud, a $20M_{\odot}$ star (for more details see Arnett et al. 1989); right, the observed

light curve, exhibiting the decay-heat of unstable ^{56}Co , ^{57}Co , and ^{44}Ti (Fransson et al. 2007).

see e.g. Heger et al. 2003). Similarly, the collapse to nuclear densities at the end of the evolution of massive stars was investigated, leading to central neutron stars and the explosive ejection of the outer layers (for recent reviews see Burrows 2013, Janka 2012). The latter is powered by neutrinos which release the gravitational binding energy of 10^{46} J (measured for the first time for Supernova 1987A with the Kamiokande, IMB and Baksan detectors, Nobel Prize for M. Koshiya 2002, jointly with Davis).

Supernovae belong to the most powerful explosions in galaxies (only gamma-ray bursts GRB seem to be more energetic). They are also the dominant sources of intermediate and heavy elements in the Universe (Thielemann et al. 1986, 1996, 2004, 2012). Supernovae come in two different kinds, both similar in their output of kinetic energy close to 10^{44} J. One type (classified as type Ia) is related to the explosion and complete disruption of a white dwarf star in a binary system which due to mass transfer from the binary companion exceeds its maximum stable mass (the Chandrasekhar mass, $1.4M_{\odot}$), contracts and ignites nuclear burning of C and O in an explosive manner (combustion). The nuclear burning front which disrupts the whole star ejects about $0.6M_{\odot}$ of Ni/Fe, smaller amounts of intermediate mass elements from Si through Ca, and some unburned C and O into the interstellar medium (Nomoto et al. 1984, for recent studies see Röpke et al. 2012). As these objects start from very similar initial conditions (a $1.4M_{\odot}$ white dwarf), they lead to close to identical light outbursts and can be utilized as standard(izable) light candles, thus also serving as distance indicators in the Universe (leading e.g. to the 2011 Nobel prizes for S. Perlmutter, B. Schmidt, and A. Riess).

Stars with an original mass of less than $8M_{\odot}$ end their stellar evolution as white dwarfs (after having finished hydrogen and helium burning and losing significant amounts of mass in stellar winds, observable as planetary nebulae). The re-

maining central C/O-core, although lacking any energy source, is stabilized by the pressure of the low-temperature degenerate Fermi gas of electrons (Nobel Prize 1983 for S. Chandrasekhar, jointly with Fowler). More massive stars pass through all nuclear burning stages, also encountering C, Ne, O, and Si-burning and end with a central Fe-core. Consisting of matter with the highest binding energy per nucleon, no further nuclear burning stage can prevent collapse up to nuclear densities, which causes the formation of a neutron star, stabilized by the degenerate Fermi gas of nucleons. Of the released gravitational binding energy (about 10^{46} J) in form of neutrinos of all types, about 10^{44} J is converted into local thermal energy via neutrino and antineutrino captures on free neutrons and protons (elastic scattering would not deposit energy). The possibly combined effect with the winding of magnetic fields due to rotation, can cause the ejection of the outer layers with a total kinetic energy of about 10^{44} J, similar to type Ia supernovae (Burrows 2013, Janka 2012). These core collapse supernovae occur typically with a frequency larger by a factor of 2 to 3 than type Ia supernovae in spiral galaxies similar to our own.

This very brief and simplified description of the two responsible supernova explosion mechanisms is depending highly on the nuclear physics entering the understanding of such hot, high density plasmas. While nuclear burning through fusion is one important ingredient, weak interactions (beta-decays, electron captures, neutrino interactions) are essential (Langanke et al. 2003, 2004, 2008, 2011) and only the inclusion of neutrino oscillations solved the solar neutrino puzzle (via observations of different neutrino flavors in the Sudbury Neutrino Observatory -SNO- in Canada, Jelley et al. 2009). The nuclear equation of state at and beyond nuclear densities enters the simulation of core collapse supernovae, the maximum neutron star mass (Lattimer 2012), the possible transition to black holes combined with a transition from supernovae to hypernovae (Nomoto 2011)

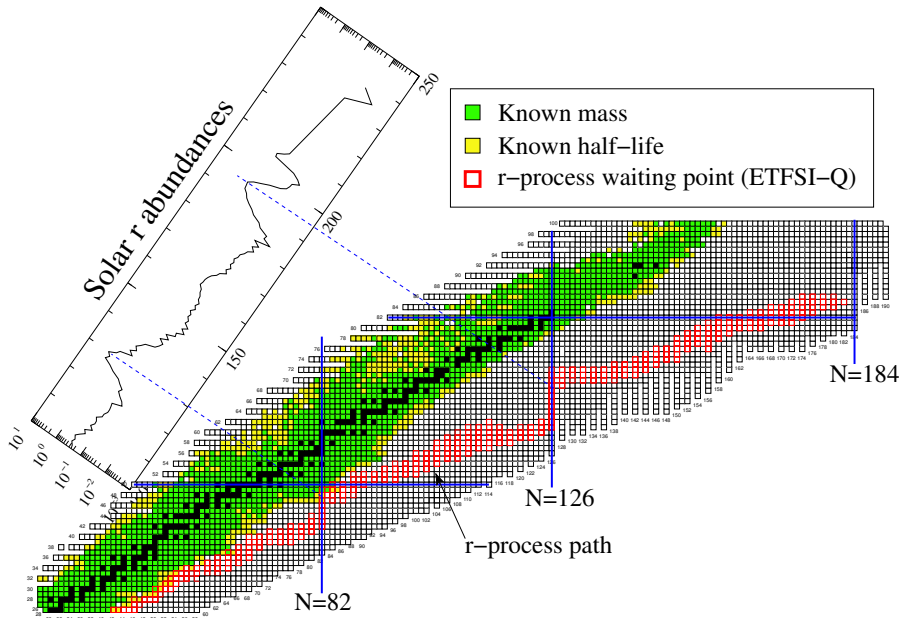


Fig.3: The nuclear chart (N,Z) with stable isotopes (black), unstable isotopes with known masses (green), or known half-lives (yellow). In order to produce the solar r -process component (rapid neutron capture) a very neutron-rich reaction path has to be encountered, which passes the relevant neutron shell closures at specific charge numbers Z (closest to stability with the longest beta-decay half-lives), in order to reproduce the peaks at $A=130$ and 195 (Grawe et al. 2010).

ing to the so-called rapid neutron capture process (r -process), responsible for the production of the heaviest elements up to Th, U and Pu, where the understanding of nuclear structure far from stability is essential (Lunney et al. 2003, Petermann 2012).

and gamma-ray bursts (Piran 2004). For the conditions in all these events, electrons behave close to degenerate fermions with sufficiently high Fermi energies to initiate electron capture on protons and nuclei. This is essential for the overall neutron/proton ratio in matter (affecting also the nuclear equation of state for core collapse supernovae) and thus for the composition of the ejecta. In core collapse supernovae the neutrinos play a major role. First, they are essential for the explosion mechanism, if a sufficient fraction of their energy is absorbed in the outer ejected layers. Second, neutrino and antineutrino absorption on neutrons and protons dominates the overall neutron/proton ratio in the innermost ejected layers (Martinez-Pinedo et al. 2012). This is important for the composition of the Fe-group (from Ti to Ge), but also whether proton or neutron-rich isotopes of elements heavier than Fe are produced in these events. Recent investigations showed that the early phases of this so-called neutrino wind can produce elements up to Sr on the proton-rich side of nuclear stability (Fröhlich et al. 2006). We are still searching for the exact conditions which permit to produce highly neutron-rich environments, lead-

Currently the ejecta from neutron star mergers in binary stellar systems or the ejection of polar jets of supernova from progenitor stars with fast rotation and strong magnetic fields are the primary candidates.

The discussion of the astrophysical conditions, the essential nuclear physics aspects entering for these conditions, plus the description how this leads to the abundances of ejected elements has been at the heart of quite a number of researchers over the past 30 years. The major frontiers are

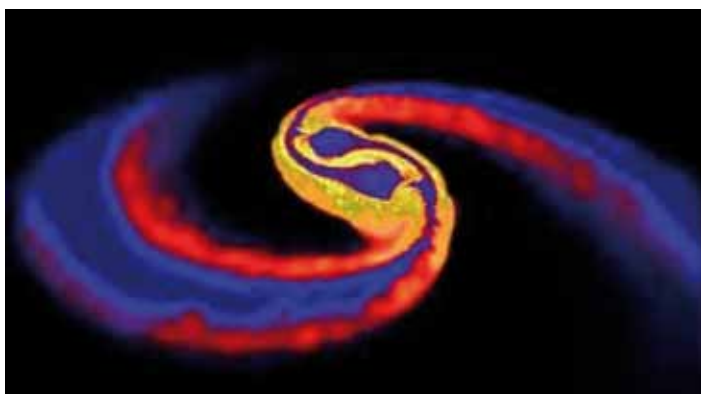
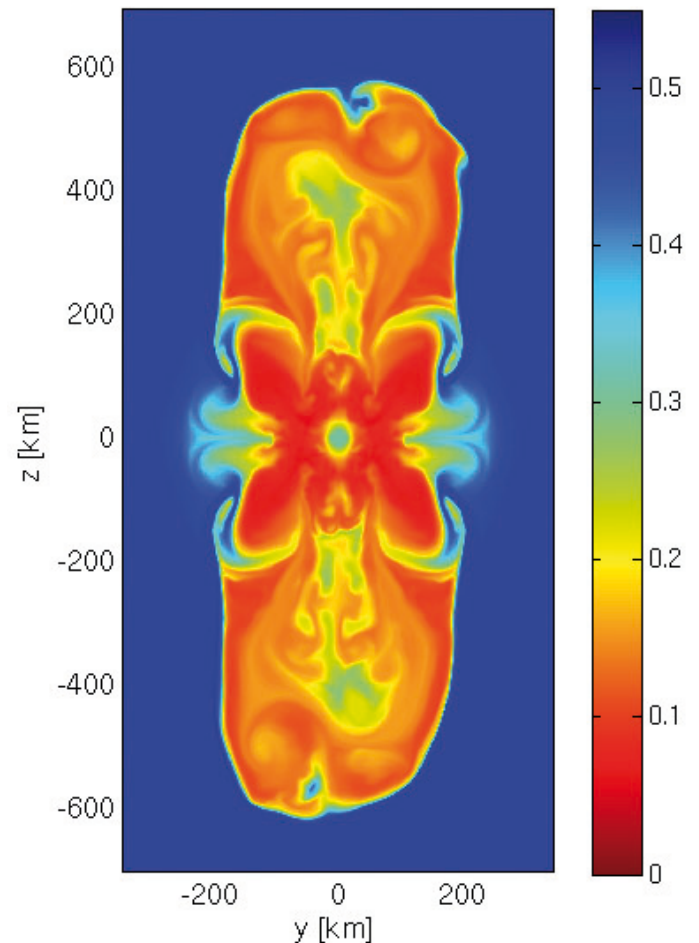


Fig.4: Left: a color contour plot of the magnetic field strength after the merger of two neutron stars in a binary stellar system (Price and Rosswog 2006), which merge due to energy loss via gravitational wave radiation (as discovered for the binary pulsar in 1974, Nobel Prize for Hulse and Taylor 1993). The ejecta of the spiral arms are highly neutron-rich and cause a strong r -process during the expansion (Freiburghaus et al. 1999, Korobkin et al. 2012). Right: color contour plot of the proton/nucleon ratio (indicating the neutron-richness of matter) from a fast rotating core collapse supernova with strong magnetic fields (magnetar) which leads to similar r -process conditions (Winteler et al. 2012).

electron abundance [-], $t = 0.031446s$



- cross section measurements at the lowest possible energies which correspond to the energies in stellar evolution. Such measurements of minute cross sections are only possible in cosmic ray shielded underground laboratories (e.g. LUNA)
- the understanding of nuclear structure far from stability, including masses, ground state properties, fission barriers, giant resonances, and especially the behavior of neutron and proton shell closures
- the understanding of weak interactions (beta-decay, electron capture, neutrino interactions with nuclei – in the vacuum and in high density media – as well as neutrino flavor oscillations at high densities when neutrinos form a thermalized Fermi gas)
- the nuclear equation of state beyond nuclear densities. Which particles contribute and when does a transition from hadrons to quarks take place? What is the maximum neutron star mass, when do black holes form?

Bibliography:

Alpher, R. A., Bethe, H. A., Gamow, G. 1948, *Physical Review*, **73**, 803

Arnett, W. D., Bahcall, J. N., Kirshner, R. P., Woosley, S. E. 1989, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* **27**, 629

Bethe, H. A. 1939, *Physical Review* **55**, 434

Bethe, H. A. 1968 (Stockholm Nobel Lecture); *Science* **161**, 541; *Naturwissenschaften* **55**, 405

Burbidge, E. M., Burbidge, G. R., Fowler, W. A., Hoyle, F. 1957, *Rev. Mod. Phys.* **29**, 547

Burrows, A. 2013, *Rev. Mod. Phys.*, in press

Cameron, A. G. W. 1957, *Publ. Astron. Soc. Pac.* **69**, 201; *Astron. J.* **62**, 9

Chandrasekhar, S. 1984, *Rev. Mod. Phys.* **56**, 137

Davis, R. 2003, *Rev. Mod. Phys.* **75**, 985

Epelbaum, E., Krebs, H., Lähde, T. A., Lee, D., Meissner, U.-G. 2012, *Phys. Rev. Lett.* **109**, 252501

Fowler, W. A. 1984, *Rev. Mod. Phys.* **56**, 149

Fransson, C. et al., 2007, *ESO Messenger* **127**, 44

Freiburghaus, C., Rosswog, S., Thielemann, F.-K. 1999, *Astrophys. J.* **525**, L121

Grawe, H., Langanke, K., Martinez-Pinedo, G. 2007, *Rep. Prog. Phys.* **70**, 1525

Heger, A., Fryer, C. L., Woosley, S. E., Langer, N., Hartmann, D. H. 2003, *Astrophys. J.* **591**, 288

Hulse, R. A. 1994, *Rev. Mod. Phys.* **66**, 699

Janka, H.-T. 2012, *Ann. Rev. Nucl. Part. Sci.* **62**, 407

Jelley, N., McDonald, A. B., Robertson, R. G. H. 2009, *Ann. Rev. Nucl. Part. Sci.* **59**, 431

Käppeler, F., Gallino, R., Bisterzo, S., Aoki, W. 2011, *Rev. Mod. Phys.* **83**, 157

Korobkin, O., Rosswog, S., Arcones, A., Winteler, C. 2012, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **426**, 1940

Koshiya, M. 2003, *Rev. Mod. Phys.* **75**, 1011

Langanke, K., Martinez-Pinedo, G. 2003, *Rev. Mod. Phys.* **75**, 81

Langanke, K., Martinez-Pinedo, G., von Neumann-Cosel, P., Richter, A. 2004, *Phys. Rev. Lett.* **93**, 202501

Langanke, K., Martinez-Pinedo, G., Müller, B., et al. 2008, *Phys. Rev. Lett.* **100**, 011101

Langanke, K., Martinez-Pinedo, G., Petermann, I., Thielemann, F.-K. 2011, *Prog. Part. Nucl. Phys.* **66**, 319

Lattimer, J. M. 2012, *Ann. Rev. Nucl. Part. Sci.* **62**, 485

Lunney, D., Pearson, J. M., Thibault, C. 2003, *Rev. Mod. Phys.* **75**, 1021

Martinez-Pinedo, G., Fischer, T., Lohs, A., Huther, L. 2012, *Phys. Rev. Lett.* **109**, 251104

Nomoto, K., Thielemann, F.-K., Yokoi, K. 1984, *Astrophys. J.* **286**, 644

Nomoto, K., Maeda, K., Tanaka, M., Suzuki, T. 2011, *Astrophys. Space. Sci.* **336**, 129

Perlmutter, S. 2012, *Rev. Mod. Phys.* **84**, 1127

Petermann, I., Langanke, K., Martinez-Pinedo, G., Panov, I. V., Reinhard, P.-G., Thielemann, F.-K. 2012, *Eur. Phys. J. A* **48**, 122

Piran, T. 2004, *Rev. Mod. Phys.* **76**, 1143

Price, D. J., Rosswog, S. 2006, *Science* **312**, 719

Rauscher, T., Thielemann, F.-K. 2000, *At. Data Nucl. Data Tables*, **75**, 1

Rauscher, T. 2011, *Int. J. of Mod. Phys. E* **20**, 1071

Riess, A. G. 2012, *Rev. Mod. Phys.* **84**, 1165

Röpke, F. K., Kromer, M., Seitenzahl, I. R., et al. 2012, *Astrophys. J.* **750**, L19

Salpeter, E. E. 1952, *Astrophys. J.* **115**, 326

Schmidt, B. P. 2012, *Rev. Mod. Phys.* **84**, 1151

Suess, H. E., Urey, H. C. 1956, *Rev. Mod. Phys.* **28**, 53

Taylor, J. H., 1994, *Rev. Mod. Phys.* **66**, 711

Thielemann, F.-K., Nomoto, K., Yokoi, K. 1986, *Astron. Astrophys.* **158**, 17

Thielemann, F.-K., Nomoto, K., Hashimoto, M.-A. 1996, *Astrophys. J.* **460**, 408

Thielemann, F.-K., Brachwitz, F., Höflich, P., Martinez-Pinedo, G., Nomoto, K. 2004, *New Astron. Rev.* **48**, 605

Thielemann, F.-K., Hirschi, R., Liebendörfer, M., Diehl, R. 2011, *Lecture Notes in Physics* **812**, 153

von Weizsäcker, C.-F. 1937 *Physikalische Zeitschrift* **38**, 176; **39**, 633

Wagoner, R. V., Fowler, W. A., Hoyle, F. 1967, *Astrophys. J.* **148**, 3

Winteler, C., Käppeli, R., Perego, A., et al. 2012, *Astrophys. J.* **750**, L22

The author (right) is professor for Theoretical Physics at the University of Basel since 1994. He received 2008 the Hans A. Bethe Prize of the American Physical Society, and jointly with Karlheinz Langanke (Helmholtz Center GSI Darmstadt) the 2012 Lise Meitner Prize of the European Physical Society at the European Nuclear Physics Conference in Bucharest (September 2012, see "SPG-Mitteilungen" No. 38, p.30).



Progress in Physics (32)

New probes for condensed matter research at the Paul Scherrer Institute

Uwe Stuhr ¹, Bertrand Roessli ¹, Elvezio Morenzoni ², Robert Scheuermann ², Thorsten Schmitt ³, Urs Staub ³, Steve Johnson ⁴, Rafael Abela ⁵, Christian Rüegg ^{1,6}

¹ Laboratory for Neutron Scattering, Paul Scherrer Institute, Villigen PSI

² Laboratory for Muon Spin Spectroscopy, Paul Scherrer Institute, Villigen PSI

³ Laboratory for Synchrotron Radiation, Paul Scherrer Institute, Villigen PSI

⁴ Institute for Quantum Electronics, ETH Zürich

⁵ SwissFEL, Paul Scherrer Institute, Villigen PSI

⁶ Department of Condensed Matter Physics, University of Geneva

Particles like neutrons, muons, and photons are excellent probes for studies of the complex structural, electronic and magnetic properties of matter. The Swiss Spallation Neutron Source (SINQ), the muon source and the Swiss Light Source (SLS) at the Paul Scherrer Institute provide intense beams of neutrons, muons and photons for condensed matter research. New instrumentation at these facilities and the free-electron laser SwissFEL, whose construction now started, offer unequalled opportunities for studies of the properties of materials at all length, energy and time scales.

New neutron spectrometer EIGER

Neutron spectroscopy with its cross section that is known exactly is an exceptional technique for studies of the elementary excitations of condensed matter systems. Up to now there were four spectrometers using cold neutrons from SINQ, but none for neutrons from its thermal moderator. The cold spectrometers are two triple-axis spectrometers (RITA-2 and TASP), one direct geometry time-of-flight spectrometer (FOCUS) and one inverse geometry time-of-flight backscattering instrument (MARS). Cold spectrometers are best suited to study excitations up to energies of about 5 meV. However, there is also a strong demand for experiments, which require larger energy transfers. In 2012 construction of the new thermal triple-axis spectrometer EIGER was completed. EIGER will extend the available energy range up to 50 meV.

The most important quality factors for a triple-axis-instrument are intensity and (low) background. Since the new instrument is the first thermal triple-axis instrument at a continuous spallation source it was a special challenge to design proper shielding for the monochromator in order to keep the fast neutron and gamma-ray background sufficiently low. Additionally, it is very desirable to be able to perform experiments with strong cryo-magnets, therefore, the shielding had to be built from non-magnetic materials. The final design is an optimized composite structure of different materials: boron for the absorption of thermal neutrons, tungsten for the absorption of fast neutrons and the attenuation of gamma-rays and additional special heavy (non-magnetic) concrete to absorb gamma radiation. The principle layout for the primary spectrometer controlling the incident neutron beam consists of a sapphire filter,

which reduces the contribution of fast neutrons at energies above 80 meV, an adjustable virtual source with a maximum width of 40 mm and a double focusing monochromator. The double focusing monochromator is made of 15×9 pieces of pyrolytic graphite (PG) with a mosaicity of about 30' and a size of 20×20 mm² each. The graphite is fixed on Al-lamellas, which can be rotated for horizontal focusing of the beam and bent for vertical focusing. As the secondary spectrometer, analyzing the energies of the scattered neutrons also by Bragg scattering from PG crystals, components of the former cold triple-axis spectrometer Drüchäl at SINQ are used. A picture of the instrument is presented in Figure 1, with a helium cryostat (orange) at the position of the sample.

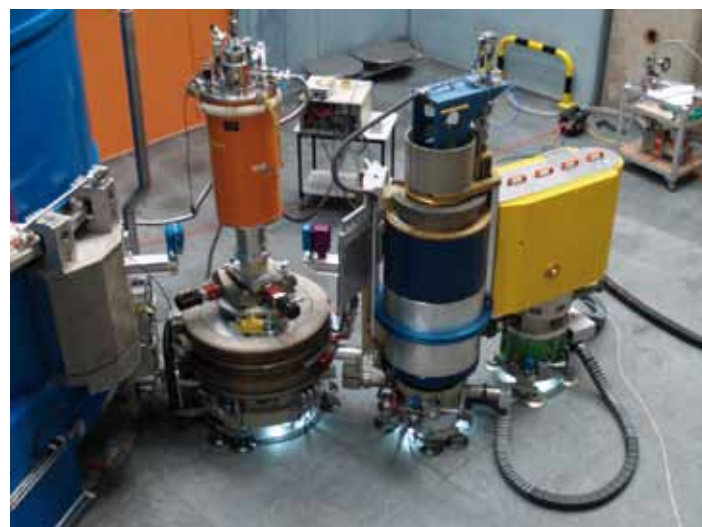


Figure 1: The new thermal triple-axis spectrometer EIGER at SINQ.

The resolution of the instrument at a final energy of 14.7 meV with double focusing monochromator and horizontal focusing analyzer was determined to 0.64 meV, in agreement with Monte-Carlo simulations of the instrument, and the total flux at the sample position was estimated with a calibrated monitor ($5.8 \cdot 10^6$ n·cm⁻²·sec⁻¹ at the same final energy).

During the commissioning phase in 2012 half a dozen experiments have already been performed on EIGER. When normalized by the source flux, its performance is among

those of the best spectrometers of this type in the world. Efficiency gains for experiments at SINQ in the energy range 2-10 meV will be significant and new science will be done on materials with excitations at energies above that range and up to 50 meV, which were previously inaccessible. Among the first experiments were studies of magnetic excitations and phonons in quantum and frustrated magnets, magnetic semiconductors and novel superconductors. The unique combination of neutron and photon spectroscopy (like RIXS described below) at PSI and their complementarity now enable studies of the dynamics in solids from 0 to several eV on samples that are as diverse as single atomic layers of model two-dimensional insulators and large single crystals of superconductors.

New high-field μ SR instrument

Spectroscopy with muons is another highly sensitive technique available at PSI. A worldwide unique, new instrument providing magnetic fields up to 9.5 T (with 0.1 mT homogeneity) and low temperatures (down to 20 mK) has been developed and installed at a dedicated beam line, as shown in Figure 2. This instrument makes use of a ~ 28 MeV/c muon beam. For most experiments, the spin of the originally fully longitudinally polarized beam is rotated by 90° with two "spin-rotators". Detecting the muon decay and measuring a spin frequency in ~ 10 T field represented a stringent requirement for the μ SR spectrometer. The small curvature radius of the decay positron (10-20 mm) and the high Larmor precession frequency (1.3 GHz) required the development of a very compact spectrometer using detectors with very high time resolution that work in a high-field environment. The spectrometer developed at PSI has a diameter as small as 32 mm and an overall time resolution of 80 ps, provided by avalanche photo diode detectors. This is about an order of magnitude better than what is achieved in conventional spectrometers. Another challenge is the wish to insert in the horizontal bore of the magnet a dilution refrigerator. In collaboration with a company a pioneering solution was found leading to the development of a purely horizontal dilution refrigerator. The new high-field μ SR instrument will begin user operation during 2013.



Figure 2: The new instrument for high-field μ SR at PSI. The 9.5 T magnet is on the right (blue). On the left the dilution refrigerator with gas handling system is visible (white), cooling samples to temperatures below 20 mT.

When implanted into matter, the positive muon acts as a microscopic local probe, which sensitively interacts with the characteristic electronic and magnetic environment.

This instrument is uniquely suitable for the study of unconventional and high- T_c superconductivity. An example is shown in Figure 3. It can map internal magnetic fields induced by super-currents, detect magnetic, superconducting and non-magnetic phases simultaneously, and follow their relevant dynamical fluctuations. For the high-temperature superconducting materials, this suitability is even more accentuated because the underlying mechanisms responsible for superconductivity are themselves believed to be magnetic. Also magnetic order (e.g. spin density waves) eventually present in modulated superconducting phases with mixed order and coupling to it may be studied. The world's sole necessary combination of very low temperatures (20 mK) and high magnetic field is particularly important for studies of quantum phase transitions (QPT) and of critical points in magnetic and superconducting materials. Systems of topical interest are those that have frustrated interactions or strong quantum fluctuations such as quantum magnets and that exhibit "spin liquid" or other complex ground states. A prominent QPT such as the one associated with Bose-Einstein Condensation should be detectable by a spin probe. Finally, the very good time resolution will allow extending the range of observable spin relaxation rates for instance in molecular magnets, where spectral information and tunneling rates between discrete levels can be extracted by measurements in high magnetic fields.

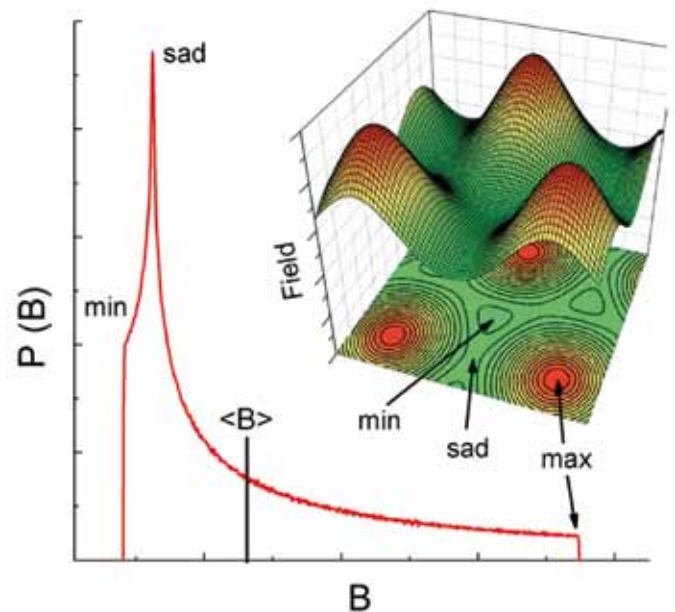


Figure 3: Field map of a hexagonal vortex lattice in an ideal extreme type-II superconductor. A high-field μ SR experiment measures the magnetic field distribution; fundamental length scales characterizing the superconductor are then extracted.

Resonant inelastic-X-ray scattering RIXS

Resonant inelastic X-ray scattering (RIXS) is a powerful spectroscopy technique, which is atomic site selective. This is due to the involvement of a core-hole in the intermediate state created by resonant excitation to the conduction band. With RIXS the electronic structure of condensed matter is probed by determining the energy and symmetry of charge neutral electronic excitations (e.g. crystal field, charge transfer, phonon or spin excitations) in strongly correlated materials such as transition metal oxides and rare

earth systems. Variation of the scattering angle can be used in RIXS to study the dispersion of these excitations as a function of momentum transfer, thereby enabling characterization of their localized vs. delocalized character.

The SAXES instrument at the ADRESS beamline of the SLS (see Figure 4) is a high-resolution X-ray emission spectrometer following an optical scheme based on two variable line spacing (VLS) spherical gratings with radius of 58.55 m and 60 m for an average groove density of 3200 lines/mm and 1500 lines/mm, respectively. With an input arm around 1 m and exit arm of up to 4 m, SAXES utilizes a total length of 5 m. The detector used is a liquid nitrogen cooled two-dimensional CCD camera with a pixel size of 13.5 μm and effective spatial resolution of about 24 μm . The long dispersion arm and advanced detector enable extremely high resolving power of better than 10'000 below 1100 eV, in particular 17'000 at the Ti L_3 edge (470 eV) and 12'000 at the Cu L_3 edge (930 eV). The total operative energy range of SAXES is 400 – 1600 eV with a typical spot size on the sample below 5 μm .



Figure 4: RIXS endstation at the ADRESS beamline of the SLS consisting of the analysis chamber (on the right), SAXES spectrometer and rotatable girder platform.

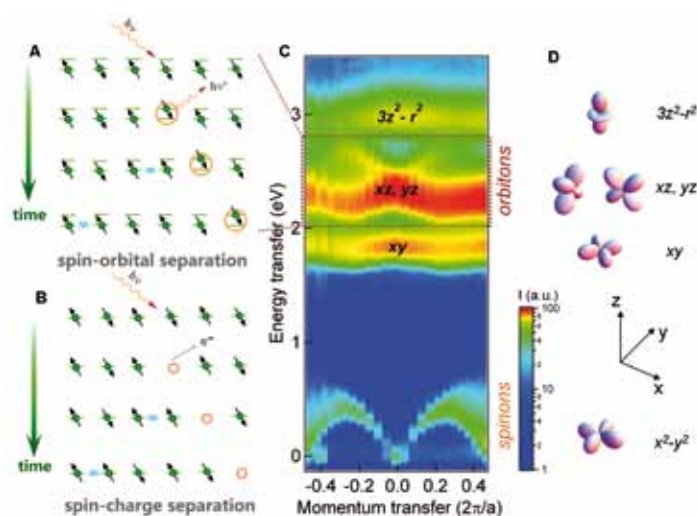


Figure 5: Schematic illustration of (A) spin-orbital and (B) spin-charge separation processes. (C) RIXS intensity map of the dispersing spinon and orbiton excitations vs. photon momentum transfer along the chains and photon energy transfer. (D) Symmetry of the involved Cu 3d orbitals [Reproduced from J. Schlappa et al., *Nature* **485**, 82 (2012)].

In a recent highlight the SAXES instrument was used to map momentum dispersive spectra from collective spin- as well as orbital- excitations in the spin-chain compound Sr_2CuO_3 with Cu L_3 edge RIXS (see Figure 5). From this study it was shown for the first time that in a one-dimensional spin system the electronic degree of freedom can split up in its spin and orbital parts. Another powerful demonstration of the high sensitivity and capabilities of the RIXS set-up at SLS is the detection of spin waves in isolated single atomic La_2CuO_4 layers.

Future experiments at the SwissFEL

The PSI has proposed the construction of a hard x-ray free-electron laser facility, the SwissFEL, which will produce intense, ultra-short pulses of coherent radiation in the energy range from 2 keV to 13 keV, with a future extension to the soft x-ray range (see Figure 6). The science case for the SwissFEL project emphasizes the dynamics of condensed matter systems, chemical systems and the damage-free imaging of nanostructures. The Swiss parliament has approved the proposal by the end of 2012. The preparation of the site has already started. The goal is to produce the first beam by fall 2016. Pilot experiments should start in spring 2017. The specifications of the experimental stations have been discussed with user groups in a series of workshops held at PSI. A Conceptual Design Report will be soon available (more information: <http://www.psi.ch/swissfel/>).

In order to prepare for SwissFEL and to start work in the exciting area of ultra-fast spectroscopy several teams from Swiss universities and PSI are using some of the few existing x-ray free electron lasers worldwide to do first experiments. Here, the ability to manipulate matter on ultra-short time scales offers potential breakthroughs in future device technologies as well as a better understanding of fundamental material properties. For this purpose, it is of immense importance to be able to selectively drive excitations of interest. A team of researchers from PSI, the ETH, Stanford (SLAC) and Berkley has recently demonstrated this with an experiment performed in July 2012 at the x-ray free electron laser LCLS (Linac Coherent Light Source at Stanford, US). They showed that a short THz-frequency pulse may be used to excite a coherent electromagnon in multiferroic TbMnO_3 . Electromagnons are hybrid excitations of a magnon and a phonon that couple polarization with magnetism in multiferroic materials. The material response was studied by time dependent resonant magnetic soft x-ray diffraction. This experiment demonstrates that newly available methods of creating short, intense THz-frequency pulses make it possible to coherently control magnetic moments. X-ray free electron lasers allow us to study these excitations in real time. With the upcoming SwissFEL, studies of the detailed mechanism of switching electric polarization through selective excitations will become possible.

Conclusions

The complexity of materials requires a combination of probes and studies over a variety of length, energy, and time scales to be able to investigate their structural, electronic and magnetic properties. While these studies are of fundamental interest and challenge our understanding of the complex correlations and interactions that are at work

in such systems, materials are essential for technological applications ranging from IT devices to energy harvesting and storage. With the investment in new neutron, μ SR, and resonant x-ray spectrometers and the construction of the

x-ray free electron laser SwissFEL the PSI enables new experimental approaches, which are available to the wide and diverse Swiss physics community.



Figure 6: Layout of the future SwissFEL at PSI. Its total length is 700 m.

Kurzmitteilungen - Short Announcements

Joint User Meeting JUM@P 2013 at PSI

September 18-20, 2013

The 3rd edition of the JUM@P user meeting is open for registration now. The aim of the PSI Joint User Meetings is to bring together the three user communities for SLS, SINQ and μ S and to generate new synergies among these scientists driven by common scientific, rather than technical, interests.

The meeting will consist, on the first day, of a plenary session with invited lectures and information about PSI and its user facilities. The second day is being reserved for three topical parallel workshops, namely "Opportunities for en-

ergy research", "Strongly correlated electron systems" and "Functional materials".

Poster sessions and the award of the third PSI thesis medal will complete the programme. The 2013 annual meeting of the "European Synchrotron User Organisation ESUO" will be organized as a JUM@P satellite event.

Further information: <http://indico.psi.ch/event/jump13>
contact: useroffice@psi.ch

Neuer Präsident der Plattform Mathematik - Astronomie - Physik (MAP)

Seit Jahresbeginn ist **Friedrich-Karl Thielemann** neuer Präsident der Plattform MAP der SCNAT. F.-K. Thielemann ist ordentlicher Professor für Theoretische Physik an der Universität Basel. Nach seiner Dissertation am Max Planck Institut für Astrophysik in Garching und der Technischen Universität Darmstadt sowie verschiedenen Postdocs in den USA und Deutschland war er 8 Jahre an der Harvard University tätig. Forschungsschwerpunkt von Friedel Thielemann ist die theoretische und nukleare Astrophysik. Da-

bei erforscht er beispielsweise die Prozesse im Endstadium von massenreichen Sternen, bei denen Schwarze Löcher entstehen können. Für seine Arbeiten erhielt er mehrere Auszeichnungen, darunter den Lise-Meitner-Preis 2012 der European Physical Society. Friedrich-Karl Thielemann übernimmt die Leitung der Plattform MAP von Hans Rudolf Ott, der als Mitglied im Präsidium verbleibt.

Quelle: SCNAT Newsletter Jan 2012

NFP 62 Technologie Event 2013

Intelligente Materialien – unsere neuen Helfer im Alltag

Montag, 17. Juni 2013, 13:30-19:00 h an der EMPA Akademie, Überlandstrasse 129, Dübendorf

Der Technologie Event 2013 des Nationalen Forschungsprogramms "Intelligente Materialien" (NFP 62) richtet sich an ein Publikum, das an neuen Technologien und deren Hintergründen interessiert ist. Intelligente Materialien werden in der Zukunft unser Leben einfacher und sicherer gestalten und vor allem das Gesundheitswesen revolutionieren: innovative Systeme zur spontanen Medikamentenabgabe direkt in den befallenen Stellen, gezielte Bekämpfung schädlicher Mikroorganismen, bio-inspirierte Materialien für den medizintechnischen Bereich und für nicht-invasive, selbstregulierende Analytik werden an dieser Veranstaltung in kurzweiligen Technologie-Sketches anschaulich dargestellt. Daneben fokussieren ein Hauptvortrag und eine Postershow auf bahnbrechende Grundlagen und Problemlösungen in der Mobilität, der Sensorik, bei interaktiven Materialien und in der Molekularen Elektronik.

Die Tagung wird gemeinsam mit der EMPA organisiert und an der EMPA Akademie in Dübendorf durchgeführt. Die Teilnahme ist kostenlos. Wir möchten Sie bitten, dieses Datum in Ihrer Agenda vorzumerken.



Modell multifunktionaler superparamagnetischer Systeme

Weitere Informationen über das Nationale Forschungsprogramm "Intelligente Materialien" finden Sie unter www.nfp62.ch

Annual congress of the Swiss Academy of Natural Sciences (SCNAT) 2013 Celebrating the discovery of Bohr's atomic model

21 - 22 November, Winterthur

This year the annual congress of SCNAT will be dedicated to the celebration of the hundredth anniversary of the discovery of the quantum atomic model by the Danish physicist Niels Bohr. In 1913, Bohr proposed to apply the quanta discovered in 1900 by Max Planck to elucidate the puzzling problem of the stability of the atom: in the classical description, to keep the atom mechanically stable, the electrostatic attraction exerted by the nucleus on the electron has to be compensated by an (accelerated) motion of the electron causing emission of electromagnetic radiation and hence leading to an eventual collapse of the atom. Pondering upon the simplest case of Hydrogen, Bohr boldly postulated the stability of a discrete set of circular electron orbits distinguished by their quantum number. The electron transitions between the allowed orbits were responsible for the spectral lines and Bohr was able to derive the value of the Rydberg constant in the Balmer series in terms of Planck constant, an "enormous achievement" as Einstein declared at the time. Bohr's brilliant albeit ad hoc idea opened a new era in atomic physics, enabling to explain a rapidly increasing range of phenomena, in particular the structure of the periodic table of elements, but perhaps more fundamentally, it paved the way to the formulation of quantum mechanics. Indeed, the years immediately after Bohr's proposal were devoted to understand how to extend his model to more complex cases of non-circular orbits and many electrons.

The solution (Planck, Sommerfeld, Schwarzschild, Epstein, Bohr, etc.) was to use the methods and formalism of celestial mechanics, Hamilton-Jacobi theory and in particular the use of action-angle conjugate variables. From roughly 1915 to 1925, the resulting theory, today dubbed as the "old quantum theory" enabled to explain a wide range of atomic physics but stumbled on such problems as the anomalous Zeeman effect (electron spin) or the problem of Parahelium and Orthohelium (Fermi-Dirac statistics). Heisenberg, then an accomplished expert of the old quantum theory, was able to propose in 1925 his matrix mechanics directly relying on the formal structure of the old theory: thanks to the next contributions of Born, Jordan, Dirac, Pauli, and of course Schrödinger, quantum mechanics reached its final form only a year later.

The congress will celebrate Bohr's glorious discovery following the multiple problems and advances of Hydrogen physics as its underlying thread. Aimed at a broad scientific audience, it will cover past and present results, from atomic clocks and Rydberg atoms to particle physics (Anti-Hydrogen) and astrophysics (Hydrogen in the Universe). The invited speakers, historians and physicists, are experts in their respective fields. The final program is on its way and will be reported in the next issue of the SPS-Communications.

Milestones in Physics

The articles appearing in future under "Milestones in Physics" will give an insight into special events or situations that have been decisive for the evolution of Physics. Undoubtedly 1964 was such a year of pioneering work, when theoretical foundations for Particle Physics were established, which now after almost 5 decades were verified by an unprecedented master effort in experimental physics. One of the protagonists of those early years is Professor Gerald S. Guralnik, who will give in the following text a first-hand account to the emergence of the theoretical framework.

Heretical Ideas that Provided the Cornerstone for the Standard Model of Particle Physics

Gerald S. Guralnik

On July 4, 2012, I sat in the CERN auditorium next to long-time friend and collaborator Richard Hagen, listening with excitement to the presentations of data from the ATLAS and CMS collaborations. It soon became clear that these magnificent experiments had unquestionably found a particle that looked very much like the long-sought "Higgs" boson.



Figure 1: Gerald Guralnik (left) and Richard Hagen, and, between the two, Peter Higgs at CERN.

I find it amazing that my part in the prediction of this particle had its roots in my Ph.D. thesis of nearly 50 years ago (1964). I was a student at Harvard, enthralled with quantum field theory, and totally seduced by the marvelous lectures of Julian Schwinger. However, it seemed that quantum field theory (QFT) was near death almost everywhere outside of Harvard Yard. Its miraculous success in electrodynamics was eclipsed by its apparent failure to describe the interactions of the rapidly expanding catalog of known "elementary" particles. The only available calculational approach of the time, namely, coupling-constant perturbation theory, so successful for electromagnetism, obtained answers by expanding about the solutions of the free fields using a small numerical parameter that characterized the strength of the interaction Hamiltonian. This method could not be applied to examine the strong interaction, the force that binds protons and neutrons together, because, in this case, that parameter is too large. The weak interaction, responsible for radioactivity, then described by a small parameter that multiplied a term involving four fermion fields, was also incalculable because of uncontrollable divergences beyond the leading approximation. Nevertheless, although it took a while to realize it, QFT was already on the road to rebirth.

Following a seminar Bjorken gave at Harvard in 1963, Walter Gilbert, my thesis advisor, asked me to look at his work as well as at the earlier seminal papers by Nambu and Jona-Lasinio (1961). These papers re-examined the QFT calculations of four-fermion interactions. In particular, instead of starting with the free-field approximation used in coupling-constant perturbation theory, they introduced a coupling-constant-dependent leading approximation. These approximations, which were carefully engineered to be consistent with the original equations, can be superficially (and partially) understood as representing a limit of appropriately arranged sums of perturbative results involving all orders of the coupling. However, the end results are entirely different from those of perturbation theory, in that, as the coupling of the interaction goes to zero, these new solutions are singular and consequently do not approach the free-field limit. They describe a new "phase". Initially, these solutions were not universally accepted as being valid. However, since the original operator equations were not linear, the possibility of multiple solutions should not have been surprising. This skepticism was reinforced because the new solutions did not respect the symmetry of the original Lagrangian. The "symmetry breaking" happens in a very special way. While the equations of motion are obeyed, boundary conditions are imposed which are not consistent with the symmetry. It is assumed that the state of lowest energy (the vacuum state) of a QFT is not an eigenstate of the time-independent operator (which is basically a generalized charge) always associated with the symmetry through Noether's theorem.



Figure 2: The picture of three of us with a Sunbeam Alpine was taken in a parking lot at Harvard while we were graduate students (Hagen, standing at the right, was at MIT). The fellow making the hand gesture is Robert May who is now Lord May of Oxford (1962).

Generally, it is then possible to find a local operator (a combination of quantum fields at the same point in space-time) that has a constant expectation value in this vacuum. Such solutions, introduced by Nambu and Jona-Lasinio, are called spontaneous symmetry-broken solutions. They were something entirely new!

A massless scalar particle was always present in the approximations used in the original papers. These massless particles were also present in the famous result of Goldstone (1961) that found similar "spontaneously broken" solutions in a theory of scalar bosons with a quartic interaction. An exact proof that a massless particle is required under such circumstances was presented by Goldstone, Salam and Weinberg (1962). This result is now known as the Goldstone or Nambu-Goldstone theorem.

Bjorken's work is particularly interesting because his model identifies the massless Nambu-Goldstone boson with the physical photon. The current-current four-fermion interaction appeared to reproduce – at least in the first broken approximation – the results of usual quantized electromagnetism. This was troublesome, as the broken symmetry is that of Lorentz invariance, and it seemed unlikely that there would be no physical trace of this undesirable result in the full solution. Despite appearances to the contrary, I was able to show that the broken-symmetry solution respected Lorentz invariance for all physical observables. I also formulated a consistent iteration scheme to calculate beyond the first-order approximation. The results are made finite using standard renormalization methods, and replicate usual electrodynamics. Similar techniques applied to the Nambu-Jona-Lasinio model show that this symmetry-breaking solution is also renormalizable to all orders. This was more than enough for a good thesis. However, I was not satisfied! Schwinger had argued that the usual electromagnetic QFT Lagrangian generated a massless photon because of the smallness of the electromagnetic coupling. I thought that this was wrong, and that I could use what I had already learned to prove that this theory, in fact, requires massless photons without regard to the strength of the coupling. I managed to construct a "proof", and added another chapter to my Ph.D. thesis with the details. During my final oral examination, Sydney Coleman became (correctly) skeptical of this result, and I was required to remove the chapter from my dissertation, but luckily I was allowed to pass the examination!

I moved to Imperial College in early 1964 as a National Science Foundation Postdoctoral Fellow. My first choice had been to go to CERN, but fortunately my application was rejected. Imperial College was a lively and exciting place, driven by the imagination and wisdom of Abdus Salam and Paul Matthews, and further enriched by a constant stream of visitors. I met many superb younger physicists there, including Tom Kibble.

I remained obsessed with the idea that there was a dynamical reason requiring the photon of the quantized Maxwell equations to be massless. After a lot of mathematical experimentation, I found a set of new, rather strange, (seemingly) time-independent operators, and showed that the vacuum was not an eigenstate of these generalized "charges". Ap-



Figure 3: A. Salam and T. Kibble at Imperial College (late 1960's)

plying the Nambu-Goldstone theorem for the commutators of the "charges" with the vector potential, I was then able to show that the photon must be massless in any phase! I quickly wrote a paper (in April) that included this result and some other historically important observations. This paper turned out to be the first of the five papers published in 1964 that were associated with the Higgs phenomenon and the Higgs particle. Almost immediately after this paper was submitted, I realized that I had made a very subtle error. What I did is correct in manifestly covariant gauges, but the massless particles, required by the Nambu-Goldstone theorem, are purely gauge (not physical) objects. In the Coulomb gauge, which only involves physical quantities, normally irrelevant spatial integrals do not fall off quickly enough to be discarded, and consequently these strange generalized charges can leak out of any volume. They must therefore depend on time! The basic assumption needed to prove the Nambu-Goldstone theorem was not met! Further analysis showed that it is impossible to use the theorem to prove the existence of physical massless particles in any "phase" of any gauge theory! This is an exact result. My initial belief was completely wrong! I expected to be able to revise this paper in proof, but because of a series of unlikely events, I never saw the paper again and it was published by *Physical Review Letters* after its receipt on June 1, 1964. Ironically, and showing the seductiveness of an elegant error, Peter Higgs published a now famous paper in *Physics Letters* (received July 27, 1964), where he makes the same subtle mistake, and reaches a different but equally unjustifiable conclusion – but one that is now more to everyone's liking.

After being wrong twice, I knew that I needed help, and enlisted the aid of Hagen and Kibble. By the end of April, we had all of the essential results (in-



Figure 4: The author enjoys his Leica III f (ca. 1970)

cluding the now famous boson) of our "GHK paper" that was received by *Physical Review Letters* on October 12, 1964. The only thing missing was the final consistency check given in the last equation in our paper. This paper presents the above general result, namely that the Nambu-Goldstone theorem cannot be applied to physical particles described by gauge theories. It also introduces spontaneously-broken scalar electrodynamics as a new specific model of this phenomenon, and examines the leading-order solution. As expected, it has no resemblance to solutions in coupling-constant perturbation theory. The massless photon, after absorbing one degree of freedom of the charged scalar boson, is replaced by a massive particle of unit spin. This leaves a neutral scalar boson, now known as the "Higgs" boson.

It took us so long to publish our work, because none of the many physicists we approached believed our very strange results. My painful history of errors combined with the fact that we ended up with the exact opposite result to that which I had originally expected, was adequate justification for caution. Indeed, even after publication, Heisenberg made it clear to me at his conference at Feldafing (1965) that he thought our work was wrong. The many seminars I gave on our ideas were generally met with (mostly polite) skepticism.

Just as our paper was about to be put into the mail, we were surprised by the arrival of two preprints containing related work by Englert and Brout (EB) and also Higgs (H). While these addressed the same problem, we felt that they missed many crucial points. Neither paper raised the fundamental point of the relevance of the Nambu-Goldstone theorem to only gauge modes, and certainly not to approximation-independent results. Both the EB and H papers examine leading-order broken scalar electrodynamics in manifestly covariant form. Such solutions must have massless Nambu-Goldstone particles, despite that our work showed that these cannot correspond to physical solutions. EB did not do a complete study, and entirely missed the "Higgs Boson", and made only a weak remark about the Nambu-Goldstone massless particle. Higgs only considered a classical solution, and ignored the massless Nambu-Goldstone boson contained in his equations. This massless boson is absolutely required by quantum mechanics, and by overlooking this Higgs neglected to address the formidable problem presented by the Nambu-Goldstone theorem.

Stimulated by the recent experimental developments, discussions about these old papers have resumed. It has been observed that, in the GHK paper, the mass of the "Higgs" boson is zero, while it is not zero in Higgs' paper. In fact, the mass given in the H paper can take on any value (including zero), as it depends on undetermined parameters. Moreover, the mass in the H and GHK papers has nothing to do with the physical mass of the "Higgs" boson. This is because only the leading-order approximation is considered, and higher-order iterations produce divergences which,

even after renormalization, leave the physical mass an undetermined parameter that can only be set by experiment. The theory puts absolutely no constraint on this mass! This is why there was no direct guidance of where experimenters should look for the particle. The GHK and the H papers give different leading-order masses because the first-order approximations are different due to the implementation of different - but equivalent - renormalization philosophies. As the order of iteration increases, the renormalized Greens functions of the two different approaches converge.

There are two additional papers that complete the five 1964 series of papers discussed above. The paper that I gave at the conference where I had the discussion with Heisenberg mentioned above was published in the *Proceedings of seminar of unified theories of elementary particles*, July 1965. This paper contains a significant extension in detail of the GHK paper. It has recently been republished in *Mod. Phys. Lett. A26 (2011) 1381-1392* and posted as an eprint in *arXiv:1107.4592*. Peter Higgs in 1965 submitted a paper to *Physical Review* that has much in common with my paper mentioned above and indeed, he thanks me for conversations. He adds one element by displaying calculations of tree graphs which contribute to the next order of correction to the 1964 PRL model.

It is worth noting that the discussion of the above mechanisms can be generalized to the full standard model, since the non-abelian analysis is not different in any fundamental way from the abelian case. Along this line another relevant paper by Tom Kibble was published in 1967 in *Physical Review* specifically applying the arguments of the 1964 GHK paper to non-abelian gauge theories.

Only after the work by Weinberg and Salam proposed a unified electroweak theory, did any of these papers receive serious attention. If the particle described on July 4th turns out to be the "Higgs Boson", as seems very likely, the major missing part of the standard model will be in place, and our work will be verified to be far more than the questionable mathematical exercise that it was initially thought to be.

For readers interested in more of the sociology behind this work as well as the detailed mathematics and extensive explicit referencing, I suggest reading my historical review:

"The History of the Guralnik, Hagen and Kibble development of the Theory of Spontaneous Symmetry Breaking and Gauge Particles." e-Print: *arXiv:0907.3466* [physics.hist-ph], *Int.J.Mod.Phys.* 24:2601-2627, 2009.

The author is the Chancellor's Professor of Physics at Brown University, Providence Rhode Island, U.S.A. and on the Brown Faculty since the 1967 academic year.

Controlling the quantum - the Nobel Prize in Physics 2012

Jonathan Home, Institute for Quantum Electronics, ETH Zürich



The award of the 2012 Nobel prize in Physics recognizes the contributions of Prof. Serge Haroche (left) and Dr. David Wineland (right) to the advancement of quantum mechanical control over single quantum systems. Any of us who remember first courses on quantum mechanics will remember having to accept counter-intuitive rules, in particular those that apply to sequential measurements made on a single quantum particle. Indeed the students in my Physics 3 lecture course recently demanded an example "of a real experimental measurement, where the result of the measurement corresponds to the state of the particle after the measurement", as quantum mechanics demands. In this regard, we find great company in the founders of quantum mechanics themselves, including Schrödinger, who mused that "we never experiment with just one electron or atom...", "In thought experiments we sometimes assume that we do; this invariably entails ridiculous consequences...". The Nobel prize rewards the laureates for playing a leading role in observing the "ridiculous" consequences in their experiments, forming the basis for atomic clocks and the pursuit of quantum computers.

The key to realizing such ideal measurements is in achieving an extremely high precision in the action of the measurement itself. To verify the predictions of quantum mechanics at the single-particle level, the quantum system must be stored for long enough that this can be done. The two laureates achieved this precision in two different systems, namely single atoms (Wineland), and a single mode of oscillation of light (Haroche). Prof. Haroche stores quantum states of light (including single "particle" states of light, which we call a photon) between two superconducting mirrors for times up to $1/6$ of a second. He performs measurements on the trapped light by sending atoms one at a time between the mirrors. Each atom has an internal clock, for which the hands rotate at an extremely well specified speed. The rate at which time advances on these clocks is shifted depending on the intensity of the trapped light. By subsequent measurements of the atom, a single bit of information can be obtained conveying a small amount of information about the field intensity. Using many atoms, more information can be obtained, which allows the results of repeated measurements to be controlled and the behaviour predicted by quantum mechanics to be revealed.

Dr. Wineland's experiments have pioneered the trapping and laser cooling of singly charged atomic ions. The single atoms can be trapped for days by electric fields, and cooled and controlled using laser techniques which Wineland proposed and demonstrated. This resulted in the possibility to cool the motion of a single particle to a single quantum state, namely that in which the atom has no energy left (for a ball in a bowl, which is a classical analogue to the atom in its trap, the ball would not be moving any more, but would be at the bottom of the bowl). The ability to place an atom in a single quantum state provided the starting point for an exploration of a variety of other quantum states, including the closest states in form to those envisioned in Schrödinger's famous cat thought experiment, a postulated dead-and-alive object. In the ion case, the states are quantum mechanical superpositions of two very different states of the atom, where it is superposed between two oscillations with an amplitude of 80 nm which are out of phase. While this system is by no means a cat, these experiments mark the start of an adventure to explore the boundaries between the quantum and classical worlds.

The work of Wineland and Haroche has laid the basis for the active field of quantum information, for which the precise control of quantum states is a pre-requisite. A major goal for this field is to build a quantum computer, which would make use of the rules of quantum mechanics to compute certain tasks with an efficiency that no classical device could achieve. Towards this goal, quantum control is now performed in a wide range of systems, including photon, solid state systems and atoms and ions. Despite rapid progress, a quantum computer remains a long term goal, but techniques from quantum computation have already spread to other areas. One notable application of experimental quantum computation is seen in the trapped-ion atomic clocks developed in Wineland's group. A critical element of the current best ion clock is an elementary quantum logic "gate" between two ions, which transfers information from an ultra-stable transition in a single aluminium ion, and conveys it to a magnesium ion from where it can be easily read out by observing fluorescence. The systems are now the most accurate frequency references we have, with an accuracy such that a second would be lost or gained in 3.7 billion years.

Pictures from Wikipedia

Jonathan Home is an Assistant Professor in the Department of Physics at ETH Zürich. He received his PhD in 2006 in Oxford working with Prof. Andrew Steane, before taking up a Lindemann fellowship in the group of David Wineland at NIST in Boulder. He started a new group at ETH Zürich pursuing precision control of trapped ions in August 2010.

Physik und Gesellschaft

Physiker als Innovatoren in der Industrie

Bernhard Braunecker

Patente als Leistungsindikatoren

Die Schweiz rangierte mit 6742 Patentanmeldungen im Jahre 2010 bereits an fünfter Stelle hinter den wirtschaftlich bedeutend grösseren Ländern USA, Deutschland, Japan und Frankreich. Damit lag die Schweiz im Hinblick auf die Grösse der Bevölkerung 5 bis 10 mal über diesen Ländern. Bezieht man die Anmeldungen noch auf die von Staat und Wirtschaft getätigten Forschungsausgaben pro Einwohner, die in der Schweiz gleich gross waren wie bei den Spitzenreitern USA und Schweden, kommt man zu mehr als sechsmal so vielen Patentanmeldungen pro Kopf als bei beiden Vergleichsländern *).

Die genannten Zahlen belegen, dass die Entwickler an den Hochschulen und in der Wirtschaft, die ungefähr zwei Drittel der Ausgaben tätigt, die nötigen *Freiräume* vorfinden, ihren Ideenreichtum umzusetzen. Wir wollen im Folgenden über einige Erfahrungen aus dem industriellen Umfeld berichten, die jungen Physikerinnen und Physikern nach ihrem Wechsel von der Hochschule in die Industrie helfen sollen, den Stellenwert von Patenten in der Industrie besser zu verstehen.

Notwendigkeit von Patentanmeldungen

Anders als an der Hochschule, wo die Innovation und deren Publikation im Mittelpunkt der Aktivitäten stehen, ist in der Industrie die *Umsetzung* von Ideen in Produkte von primärem Interesse. Als Gründe einer aktiven Patentstrategie einer Firma sind zu nennen:

- Der Schutz der eigenen Arbeit: Man sollte eine Anmeldung forcieren, wenn anzunehmen ist, dass die Idee wegen ihrer Attraktivität gerade auch von der Konkurrenz bearbeitet wird. Ist die andere Seite schneller, könnte das unter Umständen bedeuten, dass später zum ungünstigsten Zeitpunkt auf alternative Lösungen ausgewichen werden muss.
- Die Abschirmung der Konkurrenz: Wird das versäumt, kann es sehr teuer werden, wenn durch nachgewiesene Patentverletzungen nicht nur Bussezahlungen zu leisten sind, sondern dem Kläger auch dessen Umsatzausfälle der letzten Jahre kompensiert werden müssen.
- Als Mass der Innovationskraft: Ein gutgefülltes Patentportfolio wird von der eigenen Firma, aber auch von Aktionären und potentiellen Investoren als Mass der Wettbewerbskraft und somit der Zukunftschancen hoch bewertet.
- Als wichtige Einnahmequelle: Durch die Vergabe von Patentlizenzen lässt sich Einkommen generieren. Viele High-Tech-Firmen praktizieren die Vermarktung, wenn das der Idee innewohnende Anwendungspotential durch den Eigenbedarf nicht ausgeschöpft werden kann, hingegen woanders reges Interesse besteht, ohne dass man sich ins Gehege kommt.

- Und mit Patenten lässt sich handeln. Der gegenseitige Tausch von Patentrechten unter Firmen wird *de facto* praktiziert. Es gibt so eine Art "Patentbörse".

Patentkriterien und -recherchen

Wann ist eine Idee patentierbar? Es müssen drei Kriterien erfüllt sein: die Idee muss *neu*, *innovativ*, das heisst von erfinderischer Höhe und *applizierbar* sein. Bei den von Physikern formulierten Patentanträgen ist in der Regel nur die Neuheit eine kritische Grösse, und hierzu bedarf es einer eingehenden Recherche in Patentdatenbanken, um zur nötigen Gewissheit zu gelangen. Da kann es schon passieren, dass man bei einem ersten Sichten auf Hunderte von Patentschriften stösst, die scheinbar schon alles vor einem gelöst haben. In diesem Falle empfiehlt sich dann folgendes Vorgehen: Man lädt einen Datenbankexperten vom Eidgenössischen Institut für Geistiges Eigentum für einen Tag zu sich ein und geht mit ihm und einer Gruppe erfahrener Kollegen in Klausur. Wichtigstes Requisite, eine Projektionsleinwand. Der Experte wendet nun auf die Datenmenge die Filterkriterien an, die von der Gruppe laufend vorgeschlagen werden. Man sieht dann relativ schnell, welche Fremdpublikationen von Bedeutung sind. Am Ende verbleiben dann etwa 10-20 Schriften, die intern bearbeitet werden müssen.

Die Rolle von Patentanwälten

In der Praxis werden beim Vorliegen einer patentwürdigen Idee vom Erfinder in einem ersten Schritt der Stand der Technik und die Vorzüge seiner Idee in ihm vertrauter wissenschaftlich-technischer Weise niedergeschrieben und einem für die Firma zuständigen Patentanwalt zugeleitet. Dessen Aufgabe ist, die Idee hinsichtlich der drei Kriterien vorab zu bewerten und bei positiver Beurteilung sie patentjuristisch so zu formulieren, dass nach erfolgter Offenlegung nach 18 Monaten der eigentliche Prüfprozess für die Patenterteilung zügig vorangetrieben werden kann. Dieser kann auf Antrag allerdings schon früher eingeleitet werden. Um der Konkurrenz nach der Offenlegung die Beurteilung zu erschweren, wird traditionell in Patentschriften der Sachverhalt in einer antiquiert wirkenden Sprache mehr verklausuliert als präzisiert; für Wissenschaftler eine gewöhnungsbedürftige Art der Tatsachenbeschreibung.

Kontakte zu Patentämtern

Jede Anmeldung wird anhand der angesprochenen Kriterien von nationalen und/oder internationalen Patentbehörden geprüft. Während in USA Patente relativ leicht erteilt werden, -es genügt, wenn einzelne Beispiele die Realisierbarkeit belegen-, prüfen die europäischen Patentämter ungleich kritischer. Hier müssen die Experten überzeugt werden, dass das dem zu schützenden Verfahren oder der Vorrichtung zugrunde liegende physikalische Prinzip die Umsetzung der genannten Patentansprüche auch

Tabelle 1: LIDAR SYSTEMS

Rot	Rot	Grün	Blau	Blau	Grün	Rot	Grün	Blau	Rot
Verkehr	→	Industrie	→	Geodäsie	→	Bau	→	Architektur	Verkehr

ermöglicht. Wurde der Sachverhalt nicht klar genug kommuniziert, kann das zu Rücksprachen und Verzögerungen führen. Es ist deshalb generell ratsam, dass man in regelmäßigen Zeitabständen die Experten der nationalen oder europäischen Prüfbehörde in München zu einem Laborbesuch einlädt und ihnen das technologische Umfeld zeigt, aus dem die Patentideen kommen und experimentell verifiziert werden. Die Prüfbehörden betrachteten dies bislang als hoch geschätzte Weiterbildung ihrer Experten, die aus erster Hand nicht nur Antworten auf ihre Fachfragen bekamen, sondern auch ein Gefühl entwickeln konnten, was an Innovation demnächst auf sie zukommen könnte. Das gewonnene Vertrauensverhältnis machte sich dann bemerkbar, dass Patentanmeldungen deutlich weniger Rückfragen auslösten und das ganze Verfahren beschleunigt ablief.

Patentcharakter

Wie wird nun patentiert? Als Physiker kann man innerhalb einer Firma sowohl grundlagen- als auch produktnah in F&E tätig sein. Allerdings ist der Patentcharakter je nach Einsatzgebiet verschieden: Im Bereich der Grundlagenforschung und -entwicklung patentiert man mehr zurückhaltend und auch nur, wenn sich eine breit applizierbare Technologie abzeichnet. Es ist dann üblich, das Grosspatent *defensiv* anzulegen: Man schützt primär den eigenen Anwendungsbereich (*Field of Use*), bemüht sich aber gleichzeitig, die Patentidee ausserhalb dieses Schutzgebietes allgemein bekannt zu machen und, falls möglich, sie unter Erhebung von Lizenzgebühren zu vermarkten.

Dies ist nun gänzlich anders, je produktnäher die Idee ist. Dann baut man um das eigene Produkt einen *Palisadenring* vieler kleiner Patente auf. Als Regel gilt, all das zu schützen, was für den Kunden direkt von Nutzen und somit unmittelbar vermarktbar ist, wie zum Beispiel eine simple, aber pfiffige Gestaltung der Benutzeroberfläche.

Im noch verbleibenden Bereich der Prozess- oder Herstellungstechnologie wird meist wenig patentiert. Zum einen möchte man sein sensibles Fertigungswissen nicht preisgeben, zum anderen ist die Gefahr, dass man eine Schutzrechtverletzung begeht, relativ gering. Ein produziertes Instrument kann heutzutage jeder öffnen und kopieren; dagegen ist es schwierig, die Fertigungstoleranzen zu erfahren, und die sollte man nicht unnötig offenlegen.

Informationsextraktion

Die Überwachung der Flut an offengelegten und bereits erteilten Patenten liefert nicht nur technische Details, sondern auch latent verborgene Informationen über die zukünftige *strategische Ausrichtung* der Patentinhaber. Die Extraktion dieser Information erlaubt die eigene Position absolut, aber auch relativ zur Konkurrenz, abzuschätzen. Zur Analyse eignen sich die Methoden der "*nearest neighbour interactions*".

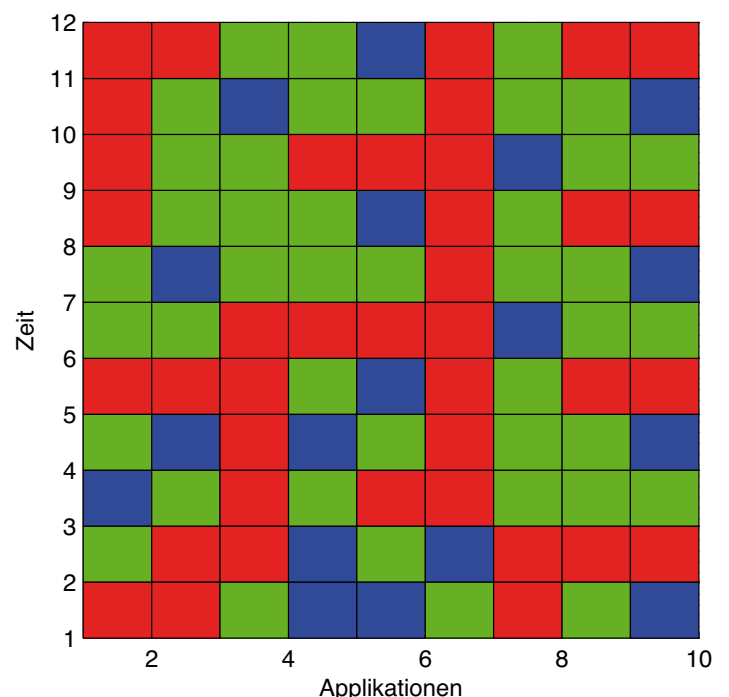
Das sei an einem einfachen Beispiel erläutert:

- Die *Vermessung mit Laserlicht (Lidar)* erwies sich vor Jahren als geeignete Basistechnologie für Applikationen in den Märkten Verkehr, Industrie, Geodäsie, Bau und Architektur, wobei die Übergänge fließend waren. Es sei nun im Beispiel der Gesamtmarkt zum Zeitpunkt t_0 von den drei Firmen *Rot/Grün/Blau* gemäß Tabelle 1 aufgeteilt.
- Nun leite man aus der Patentüberwachung ab, dass die drei Firmen verschiedene F&E Strategien fahren, was durch eine *Look-up-Table (LUT)* beschrieben werde, wobei A etwas stärker gewichtet sei als B.

Tabelle 2: Look-Up Table

If A & B		→	C	Kommentar
A	B		C	
Rot	Rot	→	Grün	Interessant für Grün, wird angreifen
Rot	Grün	→	Rot	Rot zu dominant, uninteressant für Grün
Rot	Blau	→	Rot	Rot zu dominant, uninteressant für Blau
Grün	Rot	→	Blau	Grosses Marktpotential, deshalb ‚me too‘ für Blau
Grün	Grün	→	Grün	Domäne für Grün, Rot & Blau resignieren
Grün	Blau	→	Rot	Grosses Marktpotential, deshalb ‚me too‘ für Rot
Blau	Rot	→	Rot	Blau zeigt Innovationsschwäche, Rot attackiert
Blau	Grün	→	Grün	Blau zeigt Innovationsschwäche, Grün attackiert
Blau	Blau	→	Blau	Blau ist momentan unangreifbar

- Startet man also in der folgenden Matrix zu Zeit t_0 mit der beobachteten Startbelegung in der untersten Reihe, fügt zyklisch als 10. Element das erste hinzu, den Übergang Architektur zu Verkehr beschreibend, und belegt die darüberliegende Zeile gemäss der *LUT*, ergeben sich als Funktion der Zeit (Ordinate)



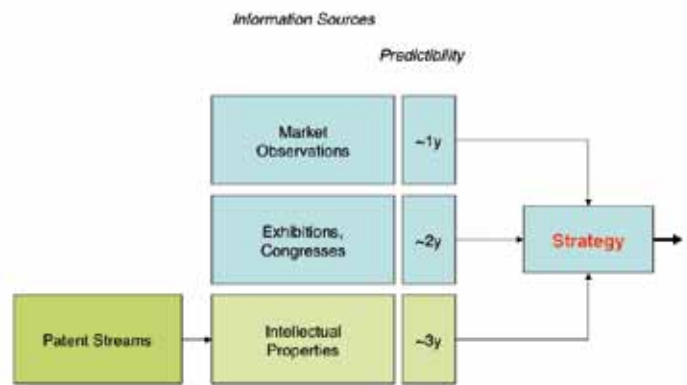
verschiedene Konfigurationen im Anwendungsspektrum (Abszisse).

Man sieht im Beispiel, dass die Innovation vernachlässigende *Blau* trotz guter Anfangsposition (in der Mitte bei Applikation 4 & 5) mit der Zeit an Präsenz verliert und seine Strategie gemäss *LUT* dringend ändern sollte. *Rot* schafft es, einige starke Monopolstellungen aufzubauen, wo es sich eine Hochpreispolitik erlauben kann, während *Grün* mehr flächendeckend agieren wird. Unangenehm für alle drei Firmen sind die am rechten Rand sich abzeichnenden Fluktuationen, da hier ein harter Preiskampf zu erwarten ist. Auch dort müssten die Firmen ihre Aktivitäten überdenken.

Innovationsstrategie

Was sich hier als spielerische Analyse präsentiert, hat einen realen Kern, denn Firmenstrategen orientieren sich stark an der unmittelbaren Konkurrenz und können auch nur kurz- bis mittelfristig planen. In der Praxis ergänzt man die Information aus den Patentaktivitäten, deren Ursachen bis zu 3 Jahre zurückliegen können, durch aktuelle Marktbeobachtungen und mittelfristig gültige Auswertungen von Kundenkontakten und Messebesuchen.

Das so entstandene Datenmaterial kann nun mit den wissenschaftlichen Methoden der *Zellulären Automaten* pro-



fessionell analysiert werden, um innere Strukturen und Abhängigkeiten zu erfassen. Man betritt das Gebiet der *Econo-Physik*, in dem erprobte Konzepte der *Physik korrelierter Systeme* die Aussagekraft bedeutend erhöhen könnten. Vielleicht wiederholt sich dann, was generell die Physik auszeichnet: Erst wenn grosse empirische Datensätze vorliegen, greifen die theoretischen Ansätze und führen zu neuen Disziplinen.

*) Gerhard Schwarz [Think-Tank Avenir Suisse], NZZ vom 27.10.2012, p.29

Ingenieure bauen die Schweiz

Buchbesprechung von Fritz Staudacher

Es ist ein gewichtiges Buch, das da im neuen Jahr daher kommt. Nicht so sehr deshalb, weil es gute eineinhalb Kilogramm auf die Waage bringt und mit seinen über fünfhundert Seiten satt in der Hand liegt – das liesse sich mit dem Kindle in der eBook-Version leicht wegdrücken. Sondern dieses Buch ist deshalb schwerwiegend, weil ein halbes Hundert Ingenieure dieses Werk gemeinsam verfasst hat. Wer sich interessiert, was Ingenieure so alles machen, findet hier ein bis anhin selten gesehenes Spektrum.

Es liegt weder am physischen Gewicht eines Buches, noch an der schier unerschöpflichen Anzahl fünfzig, die das im Verlag der Neuen Zürcher Zeitung erschienene Werk gewichtig machen. Es liegt an der Homogenität und der gleichzeitigen Heterogenität dieser Autoren. Homogenität deshalb, weil sie mehrheitlich Ingenieure sind, die vor der Erlangung dieser Berufsbezeichnung eine anspruchsvolle wissenschaftlich-technische Ausbildung absolviert haben – aber nicht nur das, sondern in diesem Falle auch, dass sie in ihrem Beruf erfolgreich waren. Heterogenität der fünfzig Autoren, weil sie ihre Ingenieurskunst in mehr als fünfzig verschiedenen Unternehmen, Aufgaben, Branchen und Ländern zur Anwendung brachten und noch immer bringen. Und nun in der gesamten Breite von dieser Lebens- und Berufserfahrung berichten: an konkreten Beispielen und aus der realen Wirtschaft.

Dafür war es auch höchste Zeit, muss man schon nach der Lektüre weniger Seiten sagen. Haben sich nicht im Verlaufe der letzten Jahrzehnte die Vertreter einer anderen, sich plötzlich als "Finanzindustrie" bezeichnenden Branche in der breiteren Öffentlichkeit als die angeblich wahren Leistungsträger und Finanzingenieure etabliert? Vielleicht angefangen mit Werner K. Rey, der das Bally-Konglomerat so zerlegte und aushöhlte, dass als Substanz vor allem der Markenname erhalten blieb. Dieser "Fall" ist allgemein bekannt – nicht jedoch zahlreiche Fehlentwicklungen, die es innerhalb grosser Unternehmen gab. Der mit den Begriffen "Wertschöpfung" und "Effizienz" in die Berufswelt entlassene Ingenieur hatte bei Übernahmen, Fusionen und Aktienkursen mehr und mehr Mühe, solchen fiktiven Bewertungen Nachhaltigkeit zuzugestehen. Zunehmend etablierte sich diese Mentalität auch in der Öffentlichkeit: der Finanzplatz Schweiz wurde zur Heiligen Kuh, der Werkplatz Schweiz zum notwendigen Übel. Es sah ganz so aus, als habe die Fiktion die Realität überholt. Als ersetze die simple Isolierung und einseitige Finanzfokussierung die einvernehmlichen Prozesse gemeinsamer Leistungsoptimierung.

Da ist es gut, ab jetzt ein in der Realität verhaftetes Buch zur Hand zu haben, das aus der Industrie und von realen Wirtschaftsunternehmen berichtet. Etwa über den faszinierenden Schweizer Brückenbau, der sogar über die Golden Gate Bridge in San Francisco führt, über die leistungsfäh-



Franz Betschon, Stefan Betschon, Jürg Lindecker und Willy Schlachter (Hg): *Ingenieure bauen die Schweiz. Technikgeschichte aus erster Hand*. 526 Seiten. ISBN 978-3-03823-791-4. Verlag Neue Zürcher Zeitung.

higsten Schiffsmotoren auf den Weltmeeren, über die Ästhetik der Technik im Rotationsmaschinenbau, über die Eroberung der Lüfte mit Strahltriebwerken und Strahltriebflugzeugen, über neue bahnbrechende Schienenfahrzeuge oder über die verfrühte Aufgabe einer Führungsposition bei Flüssigkristallanzeigen – kurz: Tops und Flops, bei denen Unternehmen und Ingenieure vielfach in das Fahrwasser kurzfristig orientierter Financiers gerieten. Dass die Schwei-

Von Betschon über Hess zu Suter und Erni

Ingenieur-Persönlichkeiten, die selbst grosse Schweizer Industrieunternehmen geführt haben, sind in diesem Buch als Autoren ebenso vertreten, wie die obersten Repräsentanten beruflicher und industrieller Verbände unseres Landes. Mitherausgeber Franz Betschon beispielsweise führte bei BBC, Saurer, Wild Leitz und Starrag Heckert Abteilungen, Geschäftsbereiche oder das Gesamtunternehmen und ist im Buch mit verschiedenen Artikeln vertreten. Hans Hess, heute Präsident des Industrieverbandes Swissmem und Verwaltungsrat bzw. Präsident verschiedener Industriefirmen, verfasste einen einführenden Beitrag, der die volkswirtschaftlichen Aspekte des Arbeitsplatzes Schweiz beleuchtet, und hat vorher selbst praktische Erfahrungen in leitenden Positionen bei Sulzer, Huber & Suhner und Leica Geosystems gesammelt. Und Ulrich W. Suter als Präsident der Schweizerischen Akademie der Technischen Wissenschaften steuert in seinem Vorwort Gedanken zur Entwicklung von Branchen bei, die neben der Maschinenindustrie mit Chemie und Pharmazie entsprechende Bedeutung haben. Aber auch von der Rolle der Forschung für das Ingenieurwesen und von der Ausbildung von Ingenieuren und Informatikern ist in diesem Buch die Rede. Die Schweiz darf sich rühmen, mit dem dualen Bildungssystem über eines des besten zu verfügen – weltweit.

Das Titelbild stammt vom am 21. Februar seinen 104. Geburtstag feiernden Luzerner Künstler Hans Erni und ist eine geglückte Symbiose von Kunst, Mathematik und Technik.

zer Ingenieure all dies gar nicht so schlecht gemacht haben, bestätigt ihnen am Schluss des Buches ein Ökonom und ehemaliger Gewerkschaftsfunktionär. Beat Kappeler schreibt: "Im Gegensatz zu grossen Teilen West- und Südeuropas hat der Einsatz an Arbeit, an Gründungen, an Ingenieurwissen den Erfolg gebracht." Und warum das so kam, erfährt man authentisch in diesem Buch.

Die Rolle der Industriephysiker

Ein Blick auf die Liste der Koautoren dieses Ingenieurbuches zeigt, dass etwa 20% der beitragenden Experten Physiker sind. Da im vorliegenden Buch der Fokus mehr auf den ingenieurmässig klassisch eingestuftem Industrien des Maschinenbaus, der Optik, der Feinmechanik, etc. liegt, mag der relativ hohe Physikeranteil zunächst überraschen. Man kennt ihn mehr aus Branchen wie der Medizinaltechnik, die ihren Kulminationspunkt noch vor sich haben und im Buch nicht behandelt sind. Der hohe Physikeranteil bei den Autoren zeigt also, dass auch in den "traditionellen" Industrien die Produkt- und Prozessinnovation einen wichtigen Stellenwert hat und

experimentelle, theoretische und numerische Physiker gebraucht werden.

Aber Physiker werden in Zukunft vermehrt auch in der Produktion eingesetzt werden, da moderne Herstellkonzepte der "Production on demand" und der "Massproduction with batchsize one" neuartige Ansätze erfordern, bei denen unter anderem das werdende Produkt mit den Fertigungswerkzeugen physikalisch wechselwirkt. Das vorliegende Buch ist also nicht nur für Physiker aus allen Industriebereichen lesenswert, sondern auch für Physikstudenten.

Bernhard Braunecker

History of Physics (6)

Fritz Zwicky: An Extraordinary Astrophysicist

Norbert Straumann, Uni Zürich

Introduction

As a boy and also later, I often listened to lengthy interviews with Fritz Zwicky, which he regularly gave at the Swiss radio when he returned home for short visits. I found them always interesting, although I was too young to understand the importance of what he told the public about supernovae and other discoveries in astronomy. Later, my scientific activities had for about two decades almost nothing to do with astronomy. For this reason, I never met Fritz Zwicky personally, and saw him only once in action when he gave a general, but quite unusual physics colloquium at ETH. Therefore, I can only comment on Zwicky's outstanding contributions in astrophysics. However, the reader is strongly invited to learn a lot about Fritz Zwicky in all his colorful facets and activities from the biography: *Fritz Zwicky: Genie mit Ecken und Kanten* [1], that has recently been translated into English [2].

Gustav Andreas Tammann and I have written more extensively about Zwicky's most significant contributions to astrophysics and observational astronomy in a special contribution to the cited books [1], [2]. Below, I shall give an abbreviated version of our article ¹.

Zwicky as the father of dark matter

Fritz Zwicky was the first to recognize that in rich clusters of galaxies, a large portion of the matter is not visible. In his pioneering work, which he published as early as 1933 in *Helvetica Physica Acta* he estimated the total mass of the COMA cluster of galaxies from the motions of the galaxies within that cluster. Using the virial theorem he came to the conclusion that the galaxies were on average moving too fast for the COMA cluster to be held together only by the mass of the visible matter. In Zwicky's words:

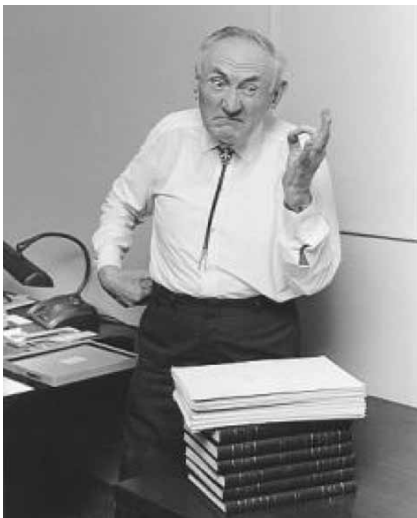


Figure 1: Fritz Zwicky

"In order to receive an average Doppler effect of 1000 km/s or more, which is what we have observed, the average density in the COMA system would have to be at least 400 times greater than that of visible matter. If this can be shown to be the case, then it would have the surprising result that dark matter is present in the Universe in far greater density than visible matter."

Zwicky's analysis at the time was of course quite rough. It was deduced from very limited statistics, an uncertain radius of the cluster and on a distance scale, based on a value of the Hubble constant that was for a long time about seven times too large. Surprisingly, his results have stood the test of time as reasonable estimates.

In recent times lots of investigations at all astrophysical length scales have confirmed that the vast majority of material in the Universe is of totally unknown nature. The ratio of known to unknown is about 5:1. (We do not discuss here attempts to replace dark matter by modifications of general relativity.) One favored hypothesis is that dark matter might consist of heavy elementary particles which interact, like neutrinos, only weakly with matter known to us. So far, direct, indirect and collider searches have only led to upper limits. The goal of dark matter identification has eluded us for long, but prospects for discovery in the coming years remain intact.

Zwicky as the father of neutron stars

In 1931, Zwicky started working with the outstanding astronomer Walter Baade, who had just come to the Mount Wilson Observatory, after working in Hamburg and Göttingen. Soon they were closely collaborating. Their main topic were the rare "novae" in distant galaxies. Because of their great distances, compared to the novae in the Milky Way, they must have enormous luminosities. For this reason they coined the term "supernovae" for these bright events.

Over the past two millennia, eight long-duration "new stars" have been seen with the naked eye and on the basis of the recorded observations they must certainly have been supernovae. The brightest was the supernova of 1006, which was also registered in St. Gallen. The Chronicles of the Monastery record that the very bright star appeared just over the rocky alpine horizon (Alpstein). Thanks to this description of the position, the Einstein Röntgen Observatory was able to find the remnants of this historical supernova. Its appearance is similar to that of the famous Crab Nebula, shown in Fig. 2.

From existing data, Baade and Zwicky deduced that supernovae had enormous luminosities of about 10^8 times that of the Sun. Their estimate is about 100 times too small because in the 1930s extragalactic distances were underestimated by a factor of approximately 7. On the other hand, Baade and Zwicky did estimate the total energy release more or less correctly. Admittedly, the way that they arrived at it was incorrect in that it relied on exaggerated expectations of the proportion of ultraviolet light and X-rays which at the time had not yet been observed. (Nowadays we know that 99% percent of the total energy released is in the form of neutrinos. Incidentally, the gigantic neutrino pulse was first observed in the supernova event of 1987 in the Large Magellanic Cloud by underground detectors on Earth. This may be regarded as the birth of "neutrino astronomy".)

¹ Unfortunately, we can not recommend the English translation of our article. We were not asked to correct its distortions and errors. For example, our German expression for "synchrotron radiation of electrons" was translated as "synchrotron radiation of neutrons".



The Crab Nebula in Taurus (VLT KUEYEN + FORS2)



ESO PR Photo 40/99 (17 November 1999)

© European Southern Observatory

Figure 2: Crab Nebula in the constellation of Taurus. This is the relict of a supernova from the year 1054, which was described in detail in the Chinese year books of the Sung dynasty. The bluish glow from the central region of the nebula is due to synchrotron radiation by high energy electrons moving in weak magnetic fields. In the red filaments recombination radiation of electrons with protons in the hot gas dominates. Near the centre of the nebula is a rapidly rotating pulsar.

What was the primary source of the enormous energy release in supernova events? Zwicky's most outstanding contribution to astrophysics may have been his bold hypothesis, that when a supernova occurred, a *neutron star* was formed in the centre. Recall that the neutron was discovered by James Chadwick in February 1932. Zwicky immediately developed the idea that when the central region of a high-mass star collapses, a very dense core mainly consisting of neutrons is formed. He estimated the released binding energy as the mass equivalent of about 10% of the solar mass. This was sufficient to cover the energy requirements of a supernova. In fact only about 1% is released as explosion energy and the rest is lost within seconds in a gigantic neutrino pulse. Zwicky correctly guessed that the outer layers would be heated to high temperatures by the energy of the explosion and would lead to an enormous eruption into the interstellar space. He quickly came to the conviction that cosmic rays were also generated in supernova events. Although there are other sources of cosmic rays, such as in the central regions of active galaxies, supernovae presumably generate a significant proportion. In autumn of 1933, Baade and Zwicky presented their considerations at a meeting of the American Physical Society at Stanford University. An edited version was published on 15 January 1934 in *Physical Review*. In the summary, the two authors wrote:

"With all reserve we suggest the view that supernovae represent the transition from ordinary stars to neutron stars, which in their final stages consist of extremely closely packed neutrons."

For decades, these far-sighted predictions were more or less ignored. Articles relating to neutron stars could, for many years, be counted on the fingers of one hand. This may in part be because to many questions Zwicky did not know the answer. He did not know what the cause for the collapse was, nor did he have detailed suggestions for the behavior of the collapsing core and its transformation into a neutron star. To some extent this was simply because the necessary foundations of physics were lacking. Nuclear physics was in its very early stages, and even today we still do not fully understand how the primary energy triggers a supernova explosion. Current research centres on increasingly realistic simulations. Zwicky missed the opportunity of underpinning some of his claims with detailed investigations. For example, in 1934 it would have been possible to perform calculations on the structure of neutron stars, which in fact is what Oppenheimer, Volkov and Tolman did four years later, and thereby recognized that neutron stars can only exist with masses less than a few solar masses. (The largest neutron star mass discovered so far is close to two solar masses, a fact that has important implications on the equation of state above nuclear densities.) It appears that Zwicky was not interested in "technical details" of this type. For him it was sufficient to develop a qualitative understanding of the phenomena, and he certainly had a good nose for that. Another critical factor was his unusual ability to grasp the relationship between different phenomena intuitively. So in addition to the conjecture that supernovae obtain their energy from the collapse of a massive star whose central region becomes a neutron star, he recognized at the same time that the energy released in supernovae events could account for high energy cosmic rays. Following that, he worked for decades on a comprehensive search for supernovae. Zwicky was strengthened by his exceptional self confidence and he never experienced the fear of being seen to fail.

It must, however, be admitted that some of Zwicky's work shows obvious weaknesses. For example, his article *On the Theory and Observation of Highly Collapsed Stars*, written in 1939, is for the most part rather disappointing and some of it is simply wrong. His use of simple things in general relativity shows that he had too little understanding of it. It is also irritating that he does not cite the brilliant work of Oppenheimer and Volkov.

Zwicky's scenario has survived until the present day. It took decades until neutron stars were discovered as radio pulsars. The Milky Way may well contain about a billion of them.

Zwicky and gravitational lenses

Zwicky was also the first to recognize the astronomical potential of the gravitational lens effect, on which he published in 1937 two remarkable short papers in *Physical Review*. It is not generally known that as early as 1912, Einstein realized that gravitational fields can have a similar effect on light propagation as optical lenses. Beside the lens effect, he also studied the induced changes of brightness, but did not publish his results since he saw no way to observe the predicted phenomena. It was only in 1936 that he was persuaded by the Czech engineer R. W. Mandl to write a short note on the subject. But even then, Einstein did not believe

that a cosmic Fata Morgana of this sort would ever be observed, if only because the telescopes of the time were not capable of measuring the minute differences in angle between possible double images.

Zwicky was familiar with Einstein's two-page publication in *Science* and one year later added that whole galaxies could be seen to act as lenses. In his first short article on the topic, he put it in these terms:

"Last summer Dr. V. K. Zworykin (to whom the same idea had been suggested by Mr. Mandl) mentioned to me the possibility of an image formation through the action of gravitational fields. As a consequence I made some calculations which show that extragalactic nebulae offer a much better chance than stars for the observation of gravitational lens effects."

Crucial for this prognosis was the fact that Zwicky had estimated the masses of galaxies as about 400 times larger than the estimates of his colleagues in astronomy. Without a major amount of dark matter, the lens effect would have been too small to form arcs and multiple images.

In his first article, Zwicky lists several reasons why the discovery of lens effects would be of considerable interest. Firstly, it would open the possibility of a new test of general relativity². Secondly, Zwicky says, galaxies could be discovered at far greater distances as a result of brightness amplifications, a fact that indeed has become important. And finally, Zwicky's hope that the total masses of galaxies (and clusters of galaxies) could be determined using the gravitational lens effect has been realized far more effectively than he could ever have dreamt of.

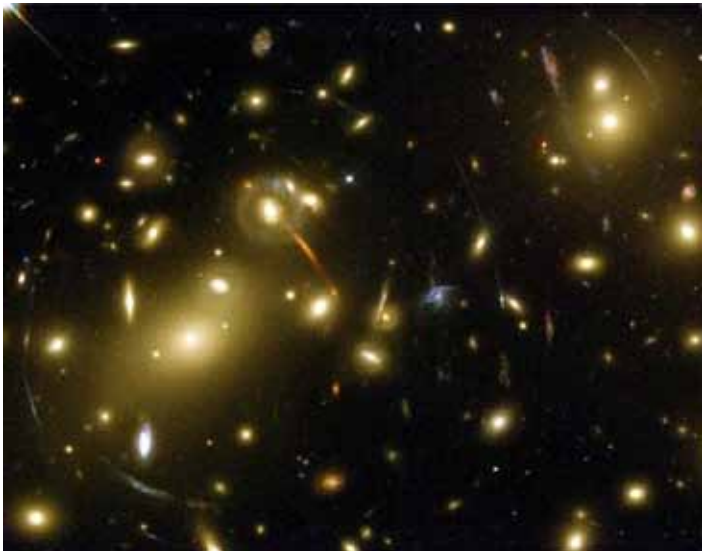


Figure 3: This color photograph of the rich galaxy cluster Abell 2218, taken by the Hubble space telescope, shows a number of arcs around the centre of the cluster, which is located near the high luminosity galaxy just below left of the centre. The observed distortions have been used to determine the total mass in the central region of the cluster. (Source: NASA/Andrew Fruchter and the ERO Team [STScI]).

² So far this has not been possible, because astrophysical lenses are too complex.

In a second equally short paper, Zwicky arrives on the basis of simple estimations at the following almost visionary prediction, which was to prove correct almost 40 years later:

"Provided that our present estimates of the masses of cluster nebulae are correct, the probability that nebulae which act as gravitational lenses will be found becomes practically a certainty."

Fig. 3 shows an impressive example for this. Certain galaxies behind the galaxy cluster Abell 2218 look like arcs because of the distortion which is centred about the mid-point of the cluster. No doubt, Zwicky would have viewed images like this enthusiastically and derived great satisfaction from them. In recent times, gravitational lensing has become an important field with considerable potential for studying the distribution of matter on all scales.

Fritz Zwicky as an observing astronomer

As an observing astronomer, Zwicky was both innovative and controversial. He proposed a whole range of new methods, such as synthetic color photography of galaxies, a process whereby he added or subtracted various color filters to photographs already taken, and in this way separated out young blue stars from old red ones. Zwicky achieved two outstanding successes, namely the systematic search for supernovae and his great Catalogue of Galaxies in the northern sky – a milestone in extragalactic research. Space does not allow us to go into further details. More can be found in the article with Gustav Tammann in our contribution to [1] and [2]. There, we also wrote about Zwicky's relationships with colleagues that often included virulent attacks, mostly connected to priority issues. Among the many anecdotes he is "credited" with coining the term a *spherical bastard*, i.e. "He's a bastard no matter which way you look at him!"

There can be no doubt that Fritz Zwicky is one of the most original astrophysicists of the twentieth century and today nobody would question his intuitive genius in the field and his passion for science.

References

- [1] A. Stöckly and R. Müller, *Fritz Zwicky: Genie mit Ecken und Kanten*. Verlag Neue Zürcher Zeitung (NZZ Libro) (2008).
- [2] A. Stöckly and R. Müller, *Fritz Zwicky: An Extraordinary Astrophysicist*. Cambridge Scientific Publishers, Cambridge (2011).

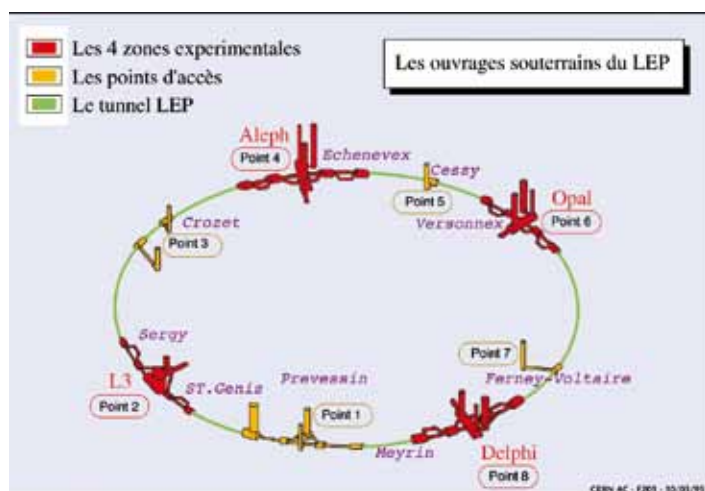
Histoire de la Physique (7)

Des décisions politiques aux conséquences scientifiques La stratégie des augmentations d'énergie dans les dernières années du LEP

Araceli Sanchez Varela, Histoire et de Philosophie des Sciences, Université de Genève

Introduction

Le CERN connut en 2000 l'un des épisodes le plus controversés de toute son histoire. Cette année, son collisionneur vedette, le LEP, était définitivement mis à l'arrêt pour permettre la mise en place de son successeur, le LHC. L'arrêt du LEP suscita à l'époque une vive polémique, nourrie non seulement par des physiciens du LEP, frustrés de ne pas pouvoir aller de l'avant dans leurs recherches du boson de Higgs qu'ils affirmaient être sur le point de découvrir, mais aussi, plus largement, par une partie du personnel du CERN et de la communauté internationale de la physique des hautes énergies (HEP). Une dizaine d'années après, le LHC a fait (largement) ses preuves: l'année passée, les collaborations ATLAS et CMS ont pu annoncer la découverte du boson de Higgs. Cette découverte n'a pas vraiment mis fin aux débats suscités par la polémique de l'année 2000: l'énergie à laquelle le Higgs annoncé par le LHC avait été observé est, rétrospectivement, compatible avec les événements que les collaborations du LEP avaient mis à l'époque en avant pour plaider sa prolongation. Ainsi, plus de dix ans après, des divergences de vues n'ont pas été aplanies et des regrets sont toujours nourris quant à la décision prise à l'époque. Dans les pages qui suivent, il ne s'agit pas de revenir sur événements de 2000 et encore moins de prendre rétrospectivement parti dans la controverse qui a agité alors le monde de la physique des particules: en s'appuyant sur les résultats d'une enquête historique, il s'agit plutôt de mettre en relief l'importance de décisions qui, bien des années avant la polémique de 2000, ont pesé sur la suite des événements, des décisions qui n'ont pas, à l'époque suscité de particulière controverse.



Rappelons les faits. Lors de l'année 2000, la question débattue était de décider s'il fallait continuer ou non le fonctionnement du LEP et donc de ses quatre collaborations au delà du calendrier qui prévoyait initialement son arrêt en

2000¹. Les expériences menées à ce moment (notamment ALEPH et L3) affirmaient disposer d'indices de l'existence du boson de Higgs: aux yeux des partisans de la prolongation du LEP, ces observations méritaient d'être approfondies pour, espéraient-ils, aboutir à une découverte. Les partisans d'une mise en place la plus rapide possible du LHC plaident par contre en faveur de l'arrêt du LEP dans les meilleurs délais pour permettre sa substitution, dans le même tunnel, par le LHC. L'enjeu polarisa la communauté: il y avait d'un côté ceux pour qui la clarification des signaux potentiellement annonciateurs d'un Higgs devait primer sur tout le reste. Face à eux d'autres soutenaient qu'il était impératif de ne pas retarder en aucune manière les travaux du LHC: pour ces derniers, la découverte du Higgs (s'il existait) pouvait bien être différée à plus tard aux soins des expériences du nouvel accélérateur. Le clivage d'opinion traversait toutes les communautés actives dans la HEP: ce n'était pas juste une opposition entre scientifiques et administratifs, entre les tenants, selon certains clichés, d'une science avant tout libre de progresser et ceux soucieux avant tout de raisons politiques et financières. Toutes les communautés étaient conscientes des multiples enjeux, scientifiques (une découverte majeure venant parachever l'édifice du Modèle Standard), financiers (les coûts entraînés par le retards dans la construction du LHC), politiques enfin (l'avenir à long terme du CERN et le soutien des pays membres à ses activités).

Comme on le sait, la direction du CERN décida finalement de ne pas prolonger le LEP au delà de Novembre 2000. Ce fut, pour les uns, une décision déroutante et un échec pour la recherche; pour d'autres, elle fut clairvoyante et salutaire pour le CERN. Elle ne laissa en tout cas personne indifférent. Les raisons scientifiques ne furent pas les seules pour la motiver: des considérations économiques ou encore politiques jouèrent tout autant. Cela ne doit pas étonner: le CERN, fleuron et vitrine de la coopération scientifique internationale, ne pouvait pas se soustraire à des impératifs plus larges liés à la politique de la science et de son financement. Des prises de position à l'époque se firent l'écho des multiples enjeux associés à la question de la prolongation du LEP et dans les débats pour et contre beaucoup de raisons furent avancées. On n'y trouve pourtant quasiment pas mention d'une décision, antérieure de cinq ans, qui, rétrospectivement, eut des conséquences profondes sur les chances du LEP de permettre la découverte du Higgs. De manière étonnante, cette décision ne créa pourtant à son époque aucune polémique, en tout cas aucune polémique comparable en ampleur et en extension à celle qui eut lieu en 2000. Il s'agit de l'arrêt en 1995 de la construction des cavités accélératrices supraconductrices qui depuis des années venaient se substituer aux cavités conventionnelles

¹ Une première prolongation avait été accordée de Septembre à Novembre 2000.

en permettant au LEP de monter en énergie. La suite de cet article se propose de revenir sur cette décision et sur ses conséquences en regard de la stratégie suivie dans les années 1990 au CERN pour augmenter l'énergie du LEP et de l'évolution de son programme expérimental.

Le LEP et ses missions

Le LEP, un collisionneur électrons-positrons, fut en fonctionnement au CERN de 1989 à 2000. Il a connu deux phases successives: le LEP1, entre 1989 et 1995, période pendant laquelle les physiciens ont pu recueillir les données des détecteurs travaillant à des énergies entre 80 et 136 GeV; et le LEP2, de 1996 à 2000, où les collisions avaient lieu à des énergies entre 136 et la limite de 206 GeV.

Lors de son inauguration en 1989, l'agenda scientifique du LEP comprenait l'étude des paramètres de la théorie électrofaible (la recherche sur les bosons W et Z), des tests de précision de la QCD et du modèle électro-faible, l'investigation des couplages des différents quarks et neutrons dans les courants neutres, la recherche du quark Top, ainsi que la recherche de nouveaux phénomènes, tels que le boson de Higgs et les particules supersymétriques.

Le cadre théorique de la plupart de ces recherches était le Modèle Standard. Rappelons que cette théorie de la physique des particules réunit en une description cohérente la plupart de connaissances que nous avons aujourd'hui sur l'organisation et les interactions de la matière à son niveau le plus fondamental. Malgré ses succès et les nombreux tests expérimentaux réussis auxquelles il a été confronté, le Modèle Standard est considéré comme insuffisant: des questions restent encore ouvertes, comme celle de savoir, notamment, pourquoi le porteur de l'interaction électromagnétique (le photon) n'a pas de masse, tandis que les bosons W et Z, porteurs de l'interaction faible, en ont une. Quel est donc le mécanisme qui fournit à certaines particules, et pas à d'autres, une masse ?

La réponse la plus largement acceptée provient -pour le moment- du « mécanisme de Higgs », proposé en 1967 et qui, au vu des résultats au LHC annoncés officiellement en juillet 2012, est sur le point d'être validé. En simplifiant considérablement, ce mécanisme repose sur l'existence d'une particule bosonique, appelée depuis « boson de Higgs ». L'interaction d'une particule avec le Higgs la munit d'une masse effective : plus cette interaction est forte, plus sa masse est grande ².

La recherche de l'hypothétique boson de Higgs, bien que sur l'agenda du LEP depuis ses débuts, n'était initialement pas l'un des points forts. Elle n'a été mise au premier plan qu'à la faveur des augmentations de l'énergie du collisionneur et était à son apogée durant ses dernières années comme le montre le tableau ci-dessous ³:

Année	Articles sur le Higgs
1995	1.1%
1996	3.0%
1997	6.6%
1998	10.0%
1999	13.8%
2000	15.8%

En 1995, après 6 ans de fonctionnement, le LEP entrait dans la phase dite LEP2. L'état des connaissances était alors le suivant: les bosons W et Z avaient été découverts en 1983, la masse du quark Top avait été prédite en 1994 et celui-ci découvert l'année d'après aux États-Unis (au Tevatron). Grâce à ces résultats, les théoriciens travaillant sur des modèles supersymétriques (SUSY) étaient du coup en mesure d'obtenir une limite supérieure pour la masse du boson de Higgs de 130 GeV. Le LEP devenait à ce moment le mieux placé pour rechercher cette nouvelle particule: sa nature de collisionneur électrons-positrons laissait espérer un faible bruit de fond pour distinguer sa signature, contrairement aux accélérateurs des hadrons comme son rival le plus sérieux le Tevatron aux USA ⁴.

Toutes les conditions semblaient donc remplies pour que le LEP, si le boson de Higgs existait, l'épingle à son palmarès. Cet horizon prometteur fut cependant obscurci par une décision qui allait a posteriori s'avérer lourde de conséquences sur le potentiel du LEP, en particulier sur la recherche que l'on y menait sur le Higgs.

Le LEP et ses cavités accélératrices

Le LEP était dès l'origine conçu de sorte que l'on puisse augmenter progressivement l'énergie de ses collisions en ajoutant des cavités accélératrices aux huit emplacements de son anneau ; il était au départ équipé de cavités accélératrices conventionnelles en cuivre. Celles-ci furent remplacées progressivement par des cavités supraconductrices: ce fut le principal moyen par lequel les physiciens purent augmenter l'énergie des collisions du LEP ⁵.

Le graphique ci-dessous montre la progression, entre 1991 et 1999 de l'installation de cavités accélératrices dans le LEP ⁶.

L'installation a été menée en plusieurs phases; il faut aussi prendre en compte qu'un laps de temps non négligeable sépare la commande des cavités à l'industrie, leur construction, et leur installation effective dans le collisionneur. Pour prendre un exemple, les dernières cavités ont été commandées à l'industrie en 1995 et ne furent installées au LEP que les années suivantes, jusqu'en 1999.

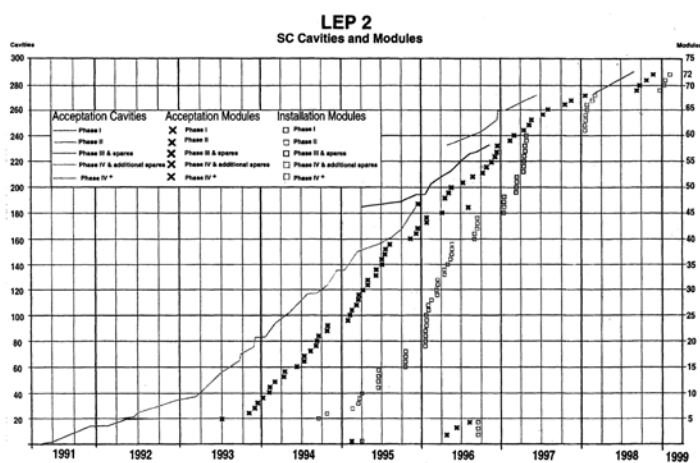
⁴ Dans le cas d'un collisionneur à hadrons comme le Tevatron (proton-antiproton), des nombreux processus annexes peuvent masquer le signal du processus que l'on cherche.

⁵ Deux paramètres importants contrôlent l'énergie d'un collisionneur: le nombre de cavités accélératrices et leur voltage. Nous allons nous concentrer sur le premier: c'est celui qui joua un rôle déterminant dans les événements dont traite cet article.

⁶ Source: conférence donnée par Christopher Llewellyn Smith au CERN lors de la Cérémonie de fermeture du LEP en Octobre 2000.

² Une explication plus détaillée revoie au mécanisme de la brisure spontanée de symétrie.

³ Sur la base d'une compilation des articles des quatre collaborations expérimentales du LEP (L3, ALEPH, Opal et DELPHI).



Le tableau suivant permet de suivre l'évolution du pouvoir accélérateur du LEP. À la fin de son existence il était équipé de 288 cavités accélératrices supraconductrices et de 56 anciennes cavités en cuivre. Toutes les anciennes cavités n'avaient donc pas été remplacées par des supraconductrices.

Date	Cuivre	Film de niobium	Niobium massif	Tension accélératrice nominale (MV)	Energie du faisceau (GeV)
1990	128	0	0	300	45
Nov 1995	120	56	4	750	70
Juin 1996	120	140	4	1600	80.5
Oct. 1996	120	160	16	1900	86
Mai 1997	86	224	16	2500	91.5
Mai 1998	48	256	16	2750	94.5
Mai 1999	48	272	16	2900	96
Nov 1999	48	272	16	3500	101
Mai 2000	56	272	16	3650	104.5

Mais il y a plus: le LEP était originalement conçu pour pouvoir accueillir considérablement plus de cavités accélératrices. Dans un rapport de 1995 relatant les travaux du *LEP Performance Workshop*, des intervenants discutent les possibles actions à entreprendre pour atteindre des énergies plus hautes⁷. On y trouve présenté le tableau suivant qui montre que la perspective d'ajouter jusqu'à 384 cavités supraconductrices était envisageable:

Phase	Point 2			Pt 4	Pt 6		Pt 8	Totals			Total MV max
(Cavity type)	Cu	Nb & prot.	NbCu	NbCu	Cu	NbCu	NbCu	Cu	Nb	NbCu	(MV)
Y1	26	24	40	96	26	64	96	52	24	296	3374
ZLs removed, filling Points 4 and 8 with SCCs.											
Y2	0	24	64	96	0	88	96	0	24	344	3717
ZLs removed, filling also Points 2 and 6 with SCCs.											
Y3	0	24	72	96	0	96	96	0	24	360	3880
All-out Maximum Energy configuration											

Table A2a: Cavity distribution

⁷ « LEP2 Energy Upgrade », S. Myers, C. Wyss, CERN LEP2 Note 95-34. CERN/LEPC 95-11/M113.

Il s'avère donc que non seulement des cavités en cuivre équipaient encore le LEP à la fin de sa vie, mais que son potentiel n'avait pas été exploité pleinement par l'installation du maximum des cavités accélératrices physiquement réalisable. Plus précisément, on pouvait d'installer 100 cavités de plus, pour un total de 385, ce qui aurait permis d'atteindre une énergie de collision de 221 GeV. Rappelons que seulement 288 cavités furent en fin de compte installées, permettant ainsi d'atteindre au maximum 206 GeV⁸.

Ce constat revêt toute son importance si l'on le replace dans le contexte de la recherche du boson de Higgs en 2000. Dans le document dont provient le tableau, le total de 385 cavités correspondant à une énergie de 221 GeV n'était pas avancée au hasard. Pour espérer produire un boson de Higgs dans les collisions électron-positron, il faut une énergie égale à ou plus grande que la somme des énergies au repos des particules produites. Dans le cas du processus favori au LEP, $e^- + e^+ \rightarrow Z + \text{Higgs}$, on savait depuis 1994 déjà que l'énergie nécessaire pour fournir une réponse définitive sur l'existence d'un boson de Higgs de 130 GeV était d'environ 210-220 GeV⁹.

Les étapes de l'augmentation de l'énergie du LEP dans les années 1990

Pendant les années 1990 des chercheurs formulèrent à plusieurs reprises des requêtes pour installer davantage de cavités accélératrices et augmenter leur puissance. Dans les dernières, ils avançaient l'argument économique que le coût n'excédait pas 3% du budget total du LEP. Durant ces années, la direction du CERN, de son côté, se préoccupait de manière croissante du projet LHC, qu'elle espérait mis en route en 1998. En 1994, ce projet était approuvé. Une année plus tard un ajout de 32 cavités accélératrices au LEP était approuvé à son tour. La direction du CERN était bien consciente que cette décision augmentait les chances de découverte du boson de Higgs au LEP¹⁰ mais cette augmentation fut pourtant aussi la dernière. En 1995, elle décidait de stopper la construction des cavités accélératrices pour LEP2 en avançant que le LHC allait reprendre les investigations à l'énergie à laquelle le LEP devait finir¹¹. La direction craignait apparemment que la phase 2 du projet LEP n'interférât avec l'approbation par les États Membres du projet LHC. La crainte était fondée. Dans la deuxième moitié des années 1990, l'Allemagne décidait de diminuer sa contribution au budget annuel du CERN et dans la foulée les autres États Membres décidaient que cette diminution devait s'appliquer à tous. Le CERN se retrouvait ainsi avec des difficultés budgétaires pour les années à venir (1996-2000). Il fut décidé qu'elles ne devaient pas avoir des conséquences sur le LHC, que les dépenses du projet

⁸ L'énergie à disposition est proportionnelle à la racine quatrième du nombre de cavités accélératrices: avec 100 cavités de plus (c'est-à-dire, 385) le LEP aurait atteint une énergie de 221 GeV.

⁹ Cette énergie tient compte d'une marge de 10 GeV.

¹⁰ Cela était d'autant plus vrai que le LEP s'approchait ainsi de la plage d'énergies où l'effet de masque des processus annexes rendait les futures investigations du LHC délicates.

¹¹ Cette reprise prit, au gré des aléas du calendrier et des imprévus, plus d'une décennie.

LHC ne devaient pas être modifiées, mais qu'il serait alors construit en une seule étape avec démarrage en 2005 ¹². On misa donc sur le projet LHC en détriment du LEP.

Conclusion

Les décisions conditionnant l'augmentation de l'énergie disponible au LEP furent, dans ses dernières années, motivées fortement par des considérations économiques et politiques. Elles eurent des conséquences tangibles, à commencer par le fait que l'énergie finale du LEP n'atteignit que 206 GeV loin de son maximum théorique. Du point de vue scientifique, elles ont entraîné un délai de 13 ans dans les recherches du boson de Higgs: ce fut le temps nécessaire au LHC pour être achevé et atteindre les énergies où le LEP s'était arrêté. Il est vrai que pendant cette période le CERN n'eut pas à se soucier de la concurrence: selon toutes les prévisions de l'époque le collisionneur Tevatron du Fermilab, (arrêté définitivement le 30 septembre 2011) n'allait pas atteindre une énergie de collision suffisante pour constituer une menace dans la course au Higgs.

Lors des débats de l'année 2000 sur l'opportunité de prolonger le LEP, l'un des arguments des partisans de son arrêt questionnait la crédibilité des résultats que les collaborations du LEP mettaient en avant pour demander une prolongation: vu les aléas liés à un collisionneur poussé dans ses derniers retranchements (comme l'était le LEP), les

¹² Le communiqué de presse du CERN de l'époque explique de manière synthétique la situation: « In August 1996 a CERN Member State proposed a reduction in its contribution to the CERN annual budget. The other Member States decided that any reduction should be general and, taking into consideration discussions in meetings in September and November, Council agreed that funding for the LHC project will be preserved as foreseen when the project was approved, albeit with a reduction in the Member States' annual contributions to the Organization of 7.5% in 1997, 8.5% in 1998-2000, and 9.3% in 2001 and thereafter, compared to the level foreseen in December 1994. The Director-General explained that manpower and expenditure for LHC would be untouched but such reductions in budget would be difficult for CERN. Council agreed that the CERN Management should be given freedom of the cash management of the LHC project, allowing completion of payment up to 2008. Council also decided that it will make every effort to ensure that the ordinary contributions from each Member State during the period 1997-2008 will not fall below the level implied by its above decisions and encouraged additional contributions to enhance the vitality of the general scientific programme during the LHC construction period », voir <http://press.web.cern.ch/press/pressreleases/Releases1996/PR09.96ECouncil96.html>.

événements prometteurs avancés par les collaborations ne devaient pas être pris trop au sérieux. A la lumière de cet argument nous pouvons mieux comprendre toute l'importance de la décision prise en 1995 d'arrêter la construction et l'installation de cavités accélératrices au LEP.

L'arrêt du LEP rendit à jamais impossible l'évaluation des résultats expérimentaux que ses collaborations annoncèrent en 2000. Selon les résultats obtenus par le LHC, le Higgs existe bien dans la plage des énergies explorées en son temps, bien que de manière extrême, par le LEP. Comme nous avons voulu le faire comprendre, et contrairement à ce que l'intensité de la confrontation de l'année 2000 peut laisser supposer, les chances de la découverte du Higgs par le LEP ne se sont pas jouées cette année. La question était pour l'essentiel tranchée déjà depuis cinq ans: la réduction du nombre de cavités accélératrices a empêché les physiciens de disposer en 2000 d'une énergie de collision qui aurait pu permettre de décider, à ce moment et au-delà de tout doute, si les signaux expérimentaux préliminaires n'étaient que des artefacts ou s'ils étaient bien dus à un boson de Higgs. Au vu de son importance, il est étonnant de constater, du moins si on s'appuie sur les documents officiels à disposition, que cette décision ne suscita pas en son temps de débat particulier. Il est vrai que la question du Higgs n'était alors pas encore aussi proéminente.

Au-delà de son intérêt pour l'histoire récente du CERN, cet épisode illustre les rapports étroits entre les impératifs de la recherche et ceux de son financement et de son acceptation. La planification et la conduite de la recherche, surtout au niveau des grands laboratoires internationaux, se joue à plusieurs niveaux et sa marche finale est le résultat de négociations serrées: elle n'est que rarement conditionnée que par des raisons purement scientifiques.

Araceli Sanchez Varela est assistante à l'Université de Genève dans l'Unité d'Histoire et Philosophie des Sciences, où elle est en train d'écrire sa thèse doctorale sur la transition entre les projets scientifiques LEP et LHC au CERN en 2000. Elle est membre du conseil éditorial de la revue espagnole *Sin Permiso*, et elle est enseignante de physique dans le Collège de Genève.

Kurzmitteilungen (Fortsetzung)

Neuer Präsident der Akademien der Wissenschaften Schweiz

Thierry Courvoisier ist der neue Präsident der Akademien der Wissenschaften Schweiz. "Die Wissenschaft muss eine grössere Rolle in den politischen Entscheidungsfindungen spielen", sagt der Professor der Astrophysik von der Universität Genf. Für eine Lösung der nationalen und globalen Probleme wie etwa der Energieversorgung brauche es eine

Hochzeit zwischen Naturwissenschaften und Geisteswissenschaften, wie sie in den Akademien der Wissenschaften vorgelebt werde. Den Text der Medienmitteilung finden Sie unter: www.akademien-schweiz.ch

(Quelle: Newsletter akademien-schweiz)

Die Schweizerische Gesellschaft für Logik und Philosophie der Wissenschaften und die Turing-Tagung 2012

Giovanni Sommaruga und Thomas Strahm

Aufgaben und Ziele

Die Schweizerische Gesellschaft für Logik und Philosophie der Wissenschaften SGLPW wurde im Jahre 1948 in Zürich gegründet. Ziel der Gesellschaft ist es, die mathematische und philosophische Logik sowie die Wissenschaftsphilosophie in der Schweiz zu fördern und all denjenigen eine Plattform für die Diskussion und den Austausch zu bieten, die an diesen Disziplinen interessiert sind. Zu diesem Zweck organisiert die SGLPW jährlich eine Tagung, welche abwechselungsweise einem besonderen Thema der mathematischen oder der philosophischen Logik oder der Wissenschaftsphilosophie gewidmet ist. Die SGLPW ist auch Teil der Plattform MAP (Mathematik, Astronomie, Physik) der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften SCNAT.

SGLPW Jahrestagungen

Die folgende Übersicht mag einen Einblick in die Vielfalt von Themen vermitteln, mit welchen sich die SGLPW in den letzten Jahren beschäftigt hat. Die Jahrestagung 2006 fand in Fribourg zum Thema "Foundational theories of mathematics" statt. Im folgenden Jahr stand in Lausanne das wissenschaftsphilosophische Thema "Structuralism" zur Debatte. Die Jahrestagung 2008 in Bern beschäftigte sich mit "Recent trends in proof theory". Im Jahr 2009 fand die Jahrestagung in Genf zum Thema aus der philosophischen Logik "Plurals and Plural Quantification" statt. 2010 ehrte die SGLPW den 80. Geburtstag ihres früheren Präsidenten und des bedeutenden Logikers Erwin Engeler mit einem Engeler Colloquium in Bern. 2011 befasste sich die SGLPW in Lausanne mit einem Thema im Grenzbereich von Logik und theoretischer Informatik "On the Posterity of Büchi (Logic and Automata)". Und 2012 organisierte die SGLPW zu Ehren von Alan Turing im weltweiten Rahmen des Turing Centenary ihre Jahrestagung in Zürich mit dem Titel "Turing under discussion". Das Thema der letzten Jahrestagung, d.h. der Turing Tagung, soll im Folgenden etwas näher vorgestellt werden.

SGLPW Turing Tagung 2012

Am 23. Juni 2012 wäre der geniale englische Mathematiker Alan Turing (1912-1954) hundert Jahre alt geworden. In diesem Jahr fanden weltweit zahlreiche Veranstaltungen statt, um Turings Leben und Werk zu würdigen. Viele dieser Tagungen wurden an Orten abgehalten, die in Turings Leben eine ausgezeichnete Rolle gespielt haben, z.B. Cambridge, Manchester und Bletchley Park. Die SGLPW feierte Turings weitreichenden Einfluss auf die Informatik, mathematische Logik,



Kryptographie und künstliche Intelligenz mit einer Tagung, welche am 26. und 27. Oktober an der ETH in Zürich organisiert wurde. Daran nahmen weltweit führende Turing-Experten aus aller Welt teil. Im Folgenden soll nur eines der zentralen Gebiete von Turings Werk, namentlich seine bahnbrechenden Beiträge zur sogenannten Berechenbarkeitstheorie, etwas eingehender diskutiert werden.

Berechenbarkeitstheorie

Der zentrale Begriff, welcher der Berechenbarkeitstheorie zugrunde liegt, ist derjenige des Algorithmus. Damit bringt man einen intuitiven Berechenbarkeitsbegriff zum Ausdruck und beschreibt auf informelle Art und Weise, was ein Computer im Prinzip, d.h. ohne Rechenzeit- und Rechenplatzbeschränkung, berechnen kann. Dieser nicht-formalisierte Algorithmusbegriff mag zwar genügen, um von bestimmten Problemen zu zeigen, dass sie eine algorithmische Lösung besitzen; er ist jedoch unbrauchbar um nachzuweisen, dass ein gegebenes Problem aus prinzipiellen Gründen nicht berechenbar ist, d.h. keine algorithmische Lösung besitzen kann. Wünschenswert ist deshalb eine streng mathematische Fassung des Algorithmusbegriffs, d.h. die Definition von formal-mathematischen Berechenbarkeitsmodellen. Solche Modelle wurden in den dreissiger Jahren des letzten Jahrhunderts von den mathematischen Logikern Church, Gödel, Herbrand, Kleene, Post und Turing gefunden. Das heute bekannteste Modell, welches von Alan Turing um 1936 entwickelt wurde, ist wohl dasjenige der Turing-Maschine.

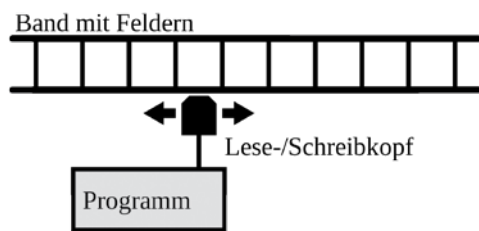
Unter einem *Algorithmus* (Al Chwarizmi 825) versteht man eine endliche, eindeutige Beschreibung eines effektiven Verfahrens zur Lösung eines Problems. "Effektiv" soll dabei bedeuten, dass das Verfahren auf ausschliesslich mechanische Art und Weise, d.h. im Prinzip von einer Maschine durchgeführt werden kann. Beispiele von Algorithmen sind etwa die Regeln zur Addition und Multiplikation von natürlichen Zahlen, das Verfahren zur Bestimmung der n-ten Primzahl, gegeben eine Zahl n, sowie der berühmte Algorithmus von Euklid zur Berechnung des grössten gemeinsamen Teilers zweier Zahlen.



Muhammed al-Chwarizmi (etwa 783 - 850), auf einer Briefmarke der Sowjetunion von 1983

Turing-Maschine

Bei einer Turing-Maschine handelt es sich nicht um eine konkrete Maschine, sondern um eine bloss hypothetische "Rechenmaschine", welche als formal-mathematisches Modell zu verstehen ist. Sie basiert auf einem zweiseitig unendlichen Band, welches in einzelne Felder unterteilt ist. In jedem dieser Felder kann ein Symbol aus einer endlichen Alphabet stehen, und zu jedem Zeitpunkt wird genau ein Feld von einem Lese-/Schreibkopf abgetastet. Die Maschine besitzt zudem eine endliche Menge von internen Zuständen. Das Verhalten der Turing-Maschine zu einem bestimmten Zeitpunkt ist eindeutig bestimmt durch deren momentanen internen Zustand und das Symbol im eben abgetasteten Feld. Das aktuell gelesene Zeichen wird durch ein anderes Zeichen (eventuell dasselbe!) ersetzt, und der Lese-/Schreibkopf bewegt sich ein Feld nach links oder nach rechts. Am Anfang einer Berechnung wird die Eingabe auf das Band geschrieben. Danach beginnt die Maschine zu "rechnen", und bevor die Rechnung beendet wird (falls sie überhaupt abbricht!), geht die Maschine in einen ausgezeichneten Zustand über, den sogenannten Haltezustand. Das Resultat der Berechnung steht dann auf dem Band.



Die Turing-Maschine liefert nur eine mögliche Formalisierung des intuitiven Algorithmusbegriffes. In den dreissiger Jahren wurde eine ganze Reihe weiterer Berechenbarkeitsmodelle präsentiert, die bis heute von zentraler Bedeutung sind. Dazu gehören der ungetypte Lambdakalkül (Church), die partiell-rekursiven Funktionen (Kleene) sowie der Gödel-Herbrand Gleichungskalkül. Obschon diese Modelle den Algorithmusbegriff auf sehr unterschiedliche Art und Weise charakterisieren, lässt sich zeigen, dass jedes Modell dieselbe Klasse von Funktionen definiert, d.h. die Modelle sind äquivalent. Diese Tatsache bildet ein sehr starkes Indiz dafür, dass der intuitive Algorithmusbegriff adäquat formalisiert wird, d.h. jeder (terminierende) Algorithmus lässt



sich mit Hilfe eines und damit aller erwähnten Modelle formalisieren. Dies ist genau die Aussage der sogenannten Church'schen These, benannt nach dem Logiker Alonzo Church (1903-1995). Die These lässt sich nicht formal-mathematisch beweisen, da sie sich auf einen intuitiven Berechenbarkeitsbegriff bezieht; trotzdem zweifelt niemand an ihrer Gültigkeit.

Mit den verschiedenen formalen Berechenbarkeitsmodellen hat man nun ein Instrument zur Verfügung, das gestattet, von bestimmten Problemen nachzuweisen, dass sie keine algorithmische Lösung besitzen oder anders ausgedrückt, dass diese Probleme unentscheidbar sind. Die zwei wohl berühmtesten Ergebnisse in dieser Hinsicht sind die Unentscheidbarkeit des Halteproblems (Turing 1936) sowie die Unentscheidbarkeit der Prädikatenlogik erster Stufe (Church, Turing 1936). Die Unentscheidbarkeit des Halteproblems etwa besagt, dass es keinen Algorithmus H gibt, der für jeden Algorithmus F und jede Eingabe a entscheidet, ob F auf a terminiert.

Auswirkungen auf Digitalcomputer

Es steht ausser Zweifel, dass die erwähnten Arbeiten über die Formalisierung des Algorithmusbegriffes sowie die Grenzen der Berechenbarkeit nicht nur für die (konstruktiven) Grundlagen der Mathematik von Interesse sind, sondern vor allem auch von fundamentaler Bedeutung für die Grundlagen der Informatik; so gehört Berechenbarkeitstheorie auch heute zum Grundstock jedes Informatikstudiums. Im Weiteren ist zu betonen, dass vor allem Turings Ideen einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf den Bau von digitalen Computern in den vierziger Jahren ausübten. Turing selbst hat den Elektronen-Rechner ACE entworfen und das Programmierhandbuch für den ersten in Serie produzierten speicherprogrammierten Computer geschrieben.

Die Berechenbarkeits- und Rekursionstheorie hat sich in den letzten fünfzig Jahren rasant weiterentwickelt. Im Vordergrund der Arbeiten standen Fragen nach einer Verallgemeinerung des Berechenbarkeitsbegriffes; die entsprechenden Antworten führten zu zentralen Zusammenhängen mit Teilsystemen der Mengenlehre sowie zu einem noch umfassenderen Verständnis der gewöhnlichen Berechenbarkeitstheorie.

Weitere Informationen:

www.sslps.unibe.ch

www.sslps.unibe.ch/turing_meeting.html

Giovanni Sommaruga ist Vize-Präsident der SGLPW und Dozent für Philosophie der Mathematik und Logik an der ETH Zürich; **Thomas Strahm** ist Präsident der SGLPW und Dozent für Informatik und Logik an der Universität Bern.

Allgemeine Relativitätstheorie und ihre Anwendungen zum 125. Geburtstag der Physikalischen Gesellschaft Zürich (PGZ)

Christophe Rossel, SPG Vizepräsident

Anlässlich der Feier zum 125-Jahre-Jubiläum der PGZ veranstaltete die PGZ gemeinsam mit der SPG am 29. September 2012 eine Tagung zum Thema *Allgemeine Relativitätstheorie und ihre Anwendungen*. Vier führende Wissenschaftler präsentierten dieses Forschungsgebiet einer breiteren Öffentlichkeit. Trotz des Samstagmorgens war das Auditorium an der Universität Zürich Zentrum voll besetzt, ein Beweis für das grosse Interesse am Thema.

Als Einführung schilderte *Philippe Jetzer*, der amtierende PGZ-Präsident, kurz die Geschichte der Gesellschaft. Er machte dies mit Blick auf die Jahre, die Einstein in Zürich verbrachte, wo er 1909 seine erste akademische Berufung an die Universität Zürich erhielt und wohin er 1912 nach einem Zwischenaufenthalt in Prag zurückkehrte, diesmal an die ETH.

Ende 1915 formulierte Einstein seine endgültige Fassung der Allgemeinen Relativitätstheorie und die Frage ist, was Einstein dazu bewog und wie er vorging? Welche Konsequenzen sind aus der Theorie für die Astrophysik und Kosmologie ableitbar? Wie weit ist sie verlässlich getestet worden? Gibt es schon praktische Anwendungen? Das waren einige der Fragen, die von den Referenten diskutiert wurden.

Der erster Redner, *Domenico Giulini*, vom Institut für Theoretische Physik der Universität Hannover, berichtete über Einsteins ungeraden Weg zur Allgemeinen Relativitätstheorie. So begann Einstein nach Aufstellung der Speziellen Relativitätstheorie (1905) sich erstmal mit dem Gravitationsproblem zu beschäftigen. Der Referent verglich den Findungsweg Einsteins zur Allgemeinen Relativitätstheorie bis Ende 1915 anhand mehrerer Beispiele mit einem Erkundungspfad im Dschungel physikalischer Begriffe.

Wie man Gravitationswellen beobachten und dem Universum zuhören kann, wurde von *Bernard Schutz* vom Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik in Potsdam beschrieben. Mit der Inbetriebnahme der Detektoren LIGO und VIRGO wird ab 2015-2017 ein wichtiges Ereignis für die Physik und die Gravitationswellenastronomie stattfinden. Anstatt zu schauen, wird man verschmelzenden schwarzen Löchern, kollidierenden Neutronensternen, explodierenden Supernovae und exotischen kosmischen Fäden zum ersten Mal "zuhören" und ihren Lebensgeschichten lauschen können.

Nach der Pause berichtete *Michael Kramer* vom Max-Planck-Institut für Radioastronomie in Bonn über die Tests der Allgemeinen Relativitätstheorie und alternativer Theorien mit Binärpulsaren. Pulsare sind ideale Labore, um die

Vorhersagen von Gravitationstheorien mit experimentellen Daten zu vergleichen. Das beste Beispiel ist der Beweis der Existenz von Gravitationswellen durch die Beobachtung einer Verkleinerung des Orbits. In Zukunft werden Pulsare zur direkten Detektion von Gravitationswellen verwendet werden, um die Allgemeine Relativitätstheorie und ihre Alternativen weiter testen zu können.

Der Schlussvortrag von *André Stefanov* vom Institut für Angewandte Physik der Universität Bern war relativistischen Effekten in Atomuhren gewidmet. Bereits vor 30 Jahren waren Atomuhren genau und stabil genug, um relativistische Effekte in Flugzeugen und Raketen nachzuweisen. Seitdem haben sich die Atomuhren weiter verbessert und sie basieren heute auf atomaren Übergängen in kalten Cäsiumatomen. Sie werden gebraucht für die Realisierung der koordinierten Weltzeit und für Navigationssysteme wie GPS und GLONASS, die ohne Berücksichtigung von Korrekturen aus der Speziellen und Allgemeinen Relativitätstheorie nicht funktionieren würden. André Stefanov gab weiter einen Ausblick auf die nächste Generation von Atomuhren für Missionen, die ab 2013 auf der ISS installiert werden sollen oder noch in Planung sind.

Das sehr interessierte Publikum stellte viele Fragen und bestätigte mit seiner Begeisterung die richtige Wahl des anspruchsvollen Themas. des Anlasses. Die Folien der Vorträge können teilweise von der Webseite www.pgz.ch heruntergeladen werden.



Warum selber bauen?

600 MHz
Lock-In Amplifier
2 units
100 dB dynamic
reserve



600 MHz. Der neue Maßstab.

Fokus auf das Wesentliche

Sie wünschen sich mehr Zeit für Forschung? Sie würden Ihre Ergebnisse gern früher und häufiger publizieren? Unser Lock-In-Verstärker erspart Ihnen die Zeit, die Sie mit dem Entwickeln eigener Messschaltungen verbringen.

Vereinfachter Laboraufbau

Unser neuer UHF-LI ist mit zwei unabhängigen Lock-In-Einheiten ausgestattet und dreimal schneller als jeder andere kommerzielle Lock-In-Verstärker. Signalgenerator, Oszilloskop, Frequenzganganalysator und FFT-Spektrumanalysator sind im Gerät integriert. Das Ergebnis: weniger Kabel, mehr Zuverlässigkeit.

Technologieführer für Lock-In-Verstärker

Zurich Instruments steht für unübertroffenes Know-how auf den Gebieten der Quanten- und Nanophysik, Sensorik und Aktorik, Laserspektroskopie und Biotechnologie. Präzise und verlässliche Ergebnisse, die zeitnah veröffentlicht werden – das ist unser Ziel für Sie. *Your Application. Measured.*

