
Lexikon

der



Astrophysik

von



Andreas Müller

aus dem

Wissensportal für Astrophysik

<http://www.mpe.mpg.de/~amueller>

April 2007

26 Lexikon Y

26.1 Y-Bosonen

Y-Bosonen sind hypothetische, bosonische Austauschteilchen (Eichbosonen), die man im Rahmen der Großen Vereinheitlichten Theorien (GUT) abgeleitet hat. Zwölf Eichbosonen sind bisher experimentell nachgewiesen worden: das Photon der Quantenelektrodynamik (QED), die acht Gluonen der Quantenchromodynamik (QCD) und die drei 'Weakonen' der schwachen Wechselwirkung (neutrales Z-Teilchen, positives und negatives W-Teilchen). Gemäß der GUT gibt es weitere zwölf, nämlich die zu den Leptoquarks gehörigen X-Bosonen und Y-Bosonen. Diese Teilchen sind mit etwa 10^{16} GeV extrem schwer. Diese Austauschteilchen der so genannten X-Kraft tragen elektrische Ladung, schwache Ladung und Farbladung. Während die Y-Bosonen eine elektrische Ladung von $1/3$ der Elementarladung haben, tragen ihre Antiteilchen, die Anti-Y-Bosonen eine Ladung von $-1/3$.

26.1.1 Wir sind da - Dank X- und Y-Bosonen!

Mit der Zerfall der X- und Y-Bosonen in der **GUT-Ära** der Kosmologie im frühen Universum unmittelbar nach dem Urknall, kam die **Materie-Antimaterie-Asymmetrie** in die Welt. Diesem geringfügigen Missverhältnis verdanken wir unsere Existenz, sonst wäre in der damaligen Entwicklungsphase des Kosmos alles in Gammastrahlung zerstrahlt!

Der Austausch von X-Kräften ermöglicht den **Zerfall des freien Protons**. Dieser Effekt wurde bisher vergeblich mit aufwendigen Detektoren gesucht. Das Problem ist: Die Zerfallszeit des Protons ist mit 10^{32} Jahren extrem groß.

26.2 Yerkes-Leuchtkraftklassen

Die Yerkes-Leuchtkraftklassen, auch als **Yerkes-** oder **MK-System** bekannt, bezeichnen eine gebräuchliche Einteilung der Sterne nach ihrer Leuchtkraft und ihrem Spektraltyp. Dieses Einteilungsschema geht auf *W.W. Morgan* und *P.C. Keenan* zurück. Danach gibt es die Klassifikation in **Leuchtkraftklassen**:

- ◇ **Ia**: Hyperriesen
- ◇ **Ib**: Überriesen
- ◇ **II**: Helle Riesen
- ◇ **III**: Riesen
- ◇ **IV**: Unterriesen
- ◇ **V**: Hauptreihe

◇ **VI:** Unterzwerg

Die metaphorische Sprache in *Zwergen* und *Riesen* hat einen realen Bezug: die Sterne innerhalb eines Spektraltyps haben mehr oder weniger dieselbe Temperatur (*Effektivtemperatur*) und unterscheiden sich nur in ihrer physischen Größe, dem **Sternradius**. Bei gleicher Oberflächentemperatur hat ein kleinerer Stern, ein 'Zwerg', auch eine kleinere Leuchtkraft als ein größerer Stern, ein 'Riese'. Der Riese befindet sich daher im Hertzsprung-Russell-Diagramm (HRD) oben. Die Leuchtkraftklassen liegen also im HRD in horizontalen Streifen übereinander, oben beginnend mit Ia, unten abschließend mit VI.

Das Yerkes-Observatorium der Universität Chicago (Wisconsin) wurde 1897 gegründet und war ebenfalls Namenspatron.

26.3 YSO

Hinter dieser gebräuchlichen Abkürzung verbirgt sich das englische Akronym *Young Stellar Object*, also junge stellare Objekte. Zu den YSOs zählen unter anderem die Herbig-Haro Objekte, T Tauri Sterne und ρ Ophiuchi Sterne.

Auch Protosterne, wie die **T Tauri-Sterne**, die in Riesenmolekülwolken sitzen, aus denen sie entstanden sind, bilden Scheiben aus. In diesen Scheiben können Planeten entstehen, weshalb Astronomen sie auch **protoplanetare Scheiben** (engl. *protoplanetary disks*, kurz **Proplyds**) nennen.

26.3.1 Herbig-Haros

Die **Herbig-Haro-Objekte** sind ebenfalls junge Protosterne. Das erste Objekt dieser Art wurde in den 50er Jahren im Orion-Nebel entdeckt. Im Objekt HH46/47, das 1978 von *Bart Bok* entdeckt wurde, sieht man vor einer Dunkelwolke einen 80 Bogensekunden langen Emissionsnebel. Dieser entpuppte sich als **bipolare Ausströmung**, als **stellarer Jet** (Mikro-Jet)! Diese Plasmaströmungen bewegen sich mit mehreren hundert km/s durch das interstellare Medium (ISM). Typische Längenskalen des protostellaren Jets sind 10^{17} bis 10^{19} cm, entsprechend 0.1 bis 10 Lichtjahre. Im Innern der Dunkelwolke sitzt ein Protostern mit etwa 10facher Sonnenleuchtkraft und erzeugt diese Jets. Bei der Erzeugung der Jets spielt auch - wie bei den Makro-Jets der AGN - eine Akkretionsscheibe ('Jet-Scheiben-Symbiose') eine wichtige Rolle: der größte Teil des Akkretionsflusses geht in die Bildung eines neuen Sterns, ein geringer Anteil geht in den Ausfluss, der nach Kollimation zum Jet wird. Die YSO-Jets sind **magneto-zentrifugal getrieben**, d. h. sowohl die Magnetohydrodynamik sorgt über Alfvén-Wellen für einen Ausfluss, als auch die Zentrifugalkraft, wenn Teilchen hohen Drehimpuls besitzen.

26.3.2 Jetstudien

Sowohl T Tauri-Sterne, als auch Herbig-Haro-Objekte zeigen stellare Jets, die natürlich viele Größenordnungen kleiner sind als die extragalaktischen Jets der Galaxien. Gerade deshalb sind sie interessante Studienobjekte, um beide Phänomene zu vergleichen.

26.3.3 bekannte Sternentstehungsgebiete

Sternentstehungsregionen mit vielen YSOs sind sehr zahlreich am Himmel. Zu den bekanntesten zählen der **Orionnebel** im Sternbild Orion und ρ **Ophiuchi** im Sternbild Schlangenträger (*Ophiuchus*), einer Molekülwolke in nur 500 Lichtjahren Entfernung.

Bekannte YSO-Quellen sind: HH 1, S233, HH 111, HH 211, DR 21, ASR 49.

26.3.4 Astrochemie

Sehr komplex ist die **Astrochemie** bzw. **Molekülphysik** der YSO-Jets. Die wichtigsten Moleküllinien sind molekularer Wasserstoff H_2 und Kohlenmonoxid CO. Daneben ist die Berücksichtigung atomaren Wasserstoffs HI wesentlich. Diese Linienemission sorgt für die **Kühlung des Jetplasmas** (*Strahlungskühlung*), die in YSO-Jet-Simulationen berücksichtigt werden muss.

26.4 Yukawa-Potential

Dieses Kräftepotential ist benannt nach dem japanischen Physiker *Hideki Yukawa* (1907 - 1981), einem Pionier der **Theorie der Kernkräfte** und der Mesonen.

26.4.1 Yukawas Idee

Er prognostizierte, dass die Kernkräfte, also diejenigen Kräfte, die die Nukleonen zu einem Atomkern kapseln, durch den Austausch von Mesonen vermittelt werden. Die Mesonen sind auch Bosonen, weil sie aus zwei Quarks bestehen. Yukawa sollte recht behalten: dies wurde 1949 mit dem Nobelpreis für Physik gewürdigt.

Die fundamentale Gleichung des Yukawa-Potentials formulierte er 1935. Sie lautet:

$$V(r) \propto \frac{e^{-m_{\text{ex}}r}}{r} = \frac{e^{-r/\lambda_{\text{ex}}}}{r}.$$

Sie enthält die Masse des Austauscheteilchens m_{ex} (Index 'ex' für *exchange*, dt. Austausch) oder alternativ dessen Compton-Wellenlänge. Man erkennt direkt an der Gleichung, dass schwerere Austauscheteilchen eine kürzere Reichweite haben, weil dann die **exponentielle Dämpfung** stärker ist.

26.4.2 Kernkräfte als Mesonenaustausch

Die Kernkräfte setzen sich aus verschiedenen Anteilen zusammen:

- ◇ Der **Ein-Pion-Austausch** (*One Pion Exchange*, OPE) entspricht der langreichweitigen, anziehenden Komponente.
- ◇ Der **Zwei-Pionen-Austausch** (*Sigma-Meson*) ist verantwortlich für die Potentialmulde.
- ◇ Schließlich trägt *Omega-Meson* zur kurzreichweitigen, anziehenden Komponente der Kernkräfte bei. Alle Beiträge zusammen genommen formen das resultierende Profil der Kernkräfte.

26.4.3 eine weitsichtige Idee

Aber dieses Konzept kann noch viel weitreichender angewendet werden: Die typischen $1/r$ -Potentiale, wie das **Coulomb-Potential** der elektromagnetischen Wechselwirkung oder das **Newtonsche Gravitationspotential** folgen direkt, wenn man jeweils ein Austauscheteilchen der Masse null annimmt. Dies passt bestens in das Standardmodell der Teilchenphysik bzw. den quantenfeldtheoretischen Ansätzen der vier fundamentalen Wechselwirkungen, denn das Photon ebenso wie das Graviton sind masselos und führen über das Yukawa-Profil zu **unendlichen Reichweiten** der jeweiligen Wechselwirkung!

Kontakt

Dr. Andreas Müller

Technische Universität München (TUM)
Exzellenzcluster Universe
Boltzmannstraße 2
D-85748 Garching
Germany

<http://www.universe-cluster.de>

andreas.mueller@universe-cluster.de

+49 (0)89 - 35831 - 71 - 04