

ماده
Matter

From Wikipedia, the free encyclopedia(May 2010)
Translated by Dr. Farzad Hamidi

مقدمه مترجم

1 پیشرفت تاریخی

- 1.1 سرچشمه ها
- 1.2 اوایل مدرنیته
- 1.3 پیشرفت ه ای پسین

2 تعاریف

- 2.1 تعریف عمومی
- 2.2 مقدار سابستنس
- 2.3 تعریف مبتنی بر اتم ها و مولکول ها
- 2.4 تعریف مبتنی بر پروتون ها، نوترون ها و الکترون ها
- 2.5 تعریف مبتنی بر کوارکها و لپتونها
- 2.6 بلوک های ساختمانی کوچکتر؟
- 2.7 بحث و پیشینه

3 فازهای ماده معمولی

- 3.1 جامد
- 3.2 مایع
- 3.3 گاز
- 3.4 پلاسما
- 3.5 تغلیظ بوس- آینشتاین
- 3.6 تغلیظ فرمیونیک
- 3.7 هسته ستاره نوترونی
- 3.8 پلاسمای کوارک- گلئون
- 3.9 آلومینیوم شفاف

4 ساختار ماده معمولی

- 4.1 کوارک ها
 - 4.1.1 ماده باریونیک
 - 4.1.2 ماده دژنره
 - 4.1.3 ماده strange
 - 4.1.3.1 دو معنای واژه ماده strange
- 4.2 لپتون ها

5 ضد ماده

6 انواع دیگر ماده

- 6.1 ماده سیاه
- 6.2 انرژی سیاه
- 6.3 ماده بیگانه

واژه نامه

برای تکمیل این کار، دو ماه بطور شبانه روزی تلاش نمودم. معتقدم که در ترجمه متون علمی و فلسفی کاملاً می‌بایست امانت را رعایت نمود، حتی اگر از روانی ترجمه، قدری کاسته شود. لذا در امر ترجمه، بیشتر به حفظ متن اصلی گرایش دارم. یک کشیش آمریکایی اسکاتلندی تبار را دیدم که در عرض 16 سال، زبان فارسی (و نیز فرهنگ ایرانی) را آموخته بود و فارسی را به خوبی صحبت می‌کرد. پرسیدم: فارسی آسانتر است یا انگلیسی؟، گفت: فارسی آسانتر است، چون بعضی از پیچیدگی‌های انگلیسی را ندارد!

اصولاً بدون آگاهی از دانش نوین درباره ماده، نمی‌توان در مورد آن اظهار نظر دقیقی نمود. این مقاله منجر به تجدید نظر در برخی افکارم گردید. ماده معمولی در جهان قابل مشاهده (یعنی، آن بخش از جهان که در درون دامنه بهترین تلسکوپهاست)، «کمیاب» است: جهان عمدتاً از انرژی سیاه و ماده سیاه ساخته شده، که چیز بسیار کمی در مورد آنها می‌دانیم. ماده معمولی، ترکیب صرف ذرات بنیادی نیست، بلکه اکثریت جرم آن منتج از انرژی کنش متقابل اجزاء بنیادی آن (کوارک‌ها) است. این انرژی با مبادله ذراتی (گلوئون‌ها) مرتبط است که ماده نیستند، بلکه حامل نیروی هسته‌ای قوی می‌باشند. بنابراین، جهان از انرژی، ماده (هر دو به معنای عام) و نیرو تشکیل شده است. (ضد ماده نیز نوعی ماده است.)

تئوری ذره‌ای ماده، ماده را بر اساس بلوک‌های ساختمانی آن تبیین می‌کند. مواد ساخته شده از این بلوک‌ها صرفاً اتم‌ها یا مولکول‌ها نیستند. (از اینرو، تعریفی از ماده که مبتنی بر اتم‌ها و مولکول‌هاست، جامع نیست.) این تئوری دو ایده مهیج را فراهم می‌کند:

- 1) می‌توان ترکیب‌های خاصی از بلوک‌های ساختمانی را- در شرایط خاص و در انطباق با قوانین فیزیک و مکانیک کوانتوم - در نظر گرفت، که فازهای جدیدی از ماده را پدید می‌آورند.
- 2) 'دستکاری' در ترکیب بلوک‌های ساختمانی می‌تواند روشی برای ایجاد فازهای جدید ماده باشد، مانند آنچه که اخیراً (2009 میلادی) در رابطه با اتم‌های آلومینیوم انجام شد و آلومینیوم شفاف را بدست داد.

واژه نامه‌ای که در پایان آمده، به شرح برخی از واژه‌های فنی می‌پردازد. اعداد کوچکی که در مقابل واژه‌های متن واقع اند، به واژه نامه ارجاع می‌دهند. این بخش مبتنی بر (Webster (2003)، Collins Dictionary of Science (2005) و Wikipedia (May 2010) است. چون جرم با فهم ماده مرتبط است، لذا قسمتهایی از توضیح Wikipedia درباره آن را نیز ترجمه نمودم، که در انتهای واژه نامه آمده است.

این مقاله درباره مفهوم ماده در علوم فیزیکی *physical sciences* است.

Matter واژه‌ای عمومی برای ماده substance است که همه چیزهای فیزیکی *physical objects* از آن ساخته شده اند؛ اما در عمل، معنای علمی درست واحدی وجود ندارد. هر حیطه‌ای، این واژه را به طرق متفاوت و اغلب ضد و نقیض بکار می‌برد. نظر به این که "matter" در آغاز (در هیلومورفیسم (یا ماتر (matter)- صورت‌گرایی) ارسطویی (Aristotelian hylomorphism)) نه به چیزی مستقل، بلکه به یک "بنیان" وابسته *co-dependent principle* اطلاق گردید، لذا تصور مدرن آن است که matter، "ماده" substance یا موجودیتی *entity* برای خود *unto itself* است، یعنی حتی به صورت مجزا- از ترکیب با چیزی دیگر- وجود دارد. [هیلومورفیسم، از دو واژه *hylo* به معنای matter و *morph* به معنای صورت تشکیل شده است. توضیح هیلومورفیسم ارسطویی در بخش بعد می‌آید- مترجم]

علم مدرن، این "ماده" substance را از طریق خواص فیزیکی *physical properties* آن می‌شناسد. [خاصیت *property*: کیفیتی که بطور ذاتی (یا ذاتاً) *naturally* به چیزی تعلق دارد؛ یک محمول (یا مشخصه) *attribute* بنیادی یا اساسی که در همه اعضا یک رده *class* مشترک است.]

رایج‌ترین تعریف عمومی از matter، هر چیزی است که جرم (56) *mass* دارد و حجم *volume* را اشغال می‌کند. اما این تعریف می‌بایست در پرتو مکانیک کوانتوم (5) *quantum mechanics* اصلاح گردد، جایی که مفهوم "داشتن جرم" و "اشغال فضا" به روشنی آنچه در زندگی روزمره می‌باشد، تشریح نشده است. دیدگاه عمومی‌تر آن است که اجسام *bodies* از چندین *substance* ساخته شده اند و خواص matter (شامل جرم و حجم) نه فقط توسط خود *substance* ها، بلکه همچنین توسط این امر که آنها چگونه کنش متقابل دارند (*interact*)، معین می‌شود. به عبارت دیگر، ماده matter از ترکیب "بلوک‌های ساختمانی" که کنش متقابل دارند (*interacting building blocks*)، تشکیل شده است، که تئوری ذره‌ای ماده *particulate theory of matter* نامیده می‌شود. [*particulate*: مرکب از قطعات جداگانه بسیار کوچک.]

عموماً گفته می‌شود که ماده matter به چهار حالت *state* (یا فاز *phase*) وجود دارد: جامد، مایع، گاز و پلاسما *plasma*. اما پیشرفت در تکنیک تست علمی، فازهای دیگری را تحقق بخشیده است، که بیشتر صرفاً ایده‌هایی تئوریک بودند، مانند تغلیظ‌های بوس- آینشتاین *Bose-Einstein condensates* و تغلیظ‌های فرمیونیک *Fermionic condensates*. همچنین، تمرکز بر دیدگاهی از ماده که مبتنی بر ذره- بنیادی *elementary-particle* است، به فازهای جدیدی از ماده، مانند پلاسمای *quark-gluon* راه می‌برد.

در فیزیک و شیمی، ماده هم خواص موج- مانند wave-like و هم خواص ذره- مانند particle-like را نشان می دهد، که دوگانگی موج- ذره wave-particle duality نامیده می شود.

در قلهرو کیهان شناسی cosmology، به بسط واژه ماده جهت در برگرفتن ماده سیاه dark matter و انرژی سیاه dark energy استناد می شود: مفاهیمی که برای توضیح بوی از پدیده های عجیب جهان قابل مشاهده observable universe (مانند منحنی چرخش کهکشانی galactic rotation curve) مطرح شده اند. این فرم های بیگانه exotic forms " ماده "، درباره ماده همچون " بلوک های ساختمانی " صحبت نمی کنند، بلکه در عوض به فرم های رایجاً بد فهمیده شده poorly-understood جرم و انرژی اطلاق می شوند.

1 پیشرفت تاریخی

1.1 سرچشمه ها Origins

فیلسوفان پیش از سقراط pre-socratics در زمره اولین تعمق کنندگان درباره سرشت nature اساسی جهان قابل مشاهده visible world بودند، که به ثبت رسیده است. تالس Thales (از 624 تا 546 پیش از میلاد) آب را به عنوان ماده بنیادین fundamental material جهان در نظر گرفت. آنکسیمندر Anaximander (از 610 تا 546 پیش از میلاد) ادعا نمود که ماده بنیادی basic material کاملاً فاقد مشخصه کیفی characterless یا بی حد و حصر limitless است: بی نهایت (یا apeiron) : واژه ای یونانی به معنای نامحدود، بی نهایت یا بیکران). آنکسیمنس Anaximenes (از 585 تا 528 پیش از میلاد) ادعا کرد که چیز بنیادی basic stuff، هوا یا pneuma است. به نظر می رسد هر اکلیتوس Heraclitus (از 535 تا 475 پیش از میلاد) گفته است که عنصر بنیادی basic element آتش است؛ گرچه شاید منظورش آن است که همه چیز، متغیر است. امپدوکلس Empedocles (از 490 تا 430 پیش از میلاد) از چهار ماده بنیادی سخن گفت، که هر چیزی از آنها ساخته شده است: خاک، آب، هوا و آتش. در این اثناء، پارمنیدس Parmenides استدلال نمود که تغیر وجود ندارد و دموکریئوس (1) Democritus استدلال کرد که همه چیز از اجسام خنثای inert bodies (و نیز به معنای اجسامی که صرفاً توانایی محدود برای واکنش کردن دارند- م) فوق العاده کوچکی با همه جور شکل، بنام اتم ها atoms تشکیل شده است. تمام این اندیشه ها، مشکلات فلسفی عمیقی داشتند.

ارسطو Aristotle (از 384 تا 322 پیش از میلاد) اولین کسی بود که تصور conception (درباره ماتر) را بر پایه فلسفی استواری نهاد. او این کار را در فلسفه طبیعت خود، بویژه در کتاب فیزیک physics انجام داد. وی چهار عنصر امپدوکلسی را به عنوان فرض های معقول اقتباس کرد، اما عنصر پنجمی را بنام اتر (2) aether اضافه نمود. با این وجود، این عناصر در ذهن ارسطو، بنیادی basic نیستند. در عوض، مانند هر چیز دیگری در جهان قابل مشاهده، از حقایق برنهادین basic principles یعنی matter و صورت form تشکیل شده اند.

واژه ای که ارسطو برای matter بکار می برد، یعنی $\mu\lambda\eta$ (hyle یا hule)، می تواند تحت اللفظی به چوب wood یا الوار timber ترجمه شود، یعنی " ماده خام " raw material برای ساختمان. در واقع، تصور ارسطو از matter ذاتاً با چیزی که در حال ساخت یا تشکیل است، مرتبط می باشد. بعبارت دیگر، برخلاف تصور مدرن اولیه از matter به عنوان (صرفاً) اشغال کننده فضا، matter برای ارسطو بنا به تعریف، با روند process یا تغییر مرتبط است: matter آنچه است که پایه ای برای تغییر. سابستنس substance می باشد.

برای مثال، اسبی علف را می خورد: اسب، علف را به خودش تغییر می دهد؛ علف بمثابه علف، در اسب تداوم نمی یابد، بلکه برخی از جنبه های آن- یعنی matter آن- تداوم می یابد. matter بطور اخص (مثلاً به عنوان اتم ها) توصیف نمی شود، بلکه مرکب است از هر آنچه که در تغییر substance از علف به اسب تداوم می یابد.

[در مثالی ساده تر، می توان از چوب، میز یا صندلی ساخت. در این روند، آنچه تداوم می یابد، ماتر (matter) چوب است- م]

ماده در این فهم understanding، بطور مستقل (یعنی، به مثابه یک substance) وجود ندارد، بلکه با صورت form (به نحوی که به یکدیگر وابسته اند) یعنی matter به مثابه یک " بنیان " principle)) و فقط تا حدی که پایه ای برای تغییر است، وجود دارد. تصور رابطه matter و صورت form به این نحو می تواند مفید باشد که بسیار شبیه رابطه ای است که بین اجزاء parts و کل whole وجود دارد. برای ارسطو، matter به مثابه matter، فقط می تواند از صورت form، واقعیت (یا هستی) actuality دریافت نماید؛ هیچ فعالیتی یا واقعیتی (یا وجودی) در خود ندارد؛ شبیه نحوه ای که اجزاء به مثابه اجزاء، فقط در یک کل وجود دارند (و گرنه، کل های مستقل خواهند بود).

1.2 اوایل مدرنیته Early Modernity

رنه دکارت René Descartes (1596-1650) بنیانگذار تصور مدرن از matter است. چون هندسه دان بود، matter را به این نحو که فضا را اشغال می کند، باز تعریف نمود تا برای مباحث ریاضی و انتزاعی، مناسب باشد:

پس، تمديد extension در طول، پهنا و عمق، سرشت (nature) سابستنس جسمانی bodily substance را تشكيل می دهد؛ و ایده thought ، سرشت سابستنس هوشمند thinking substance را تشكيل می دهد. و هر چیز دیگری که می تواند به جسم body نسبت داده شود، تمديد را پیشفرض قرار می دهد، و صرفاً حالتی (یا وضعی) خاص mode از آن است، که بسط داده شده است. (رنه دکارت، اصول فلسفه *Principles of Philosophy*)

برای دکارت، matter فقط خاصیت تمديد دارد، لذا تنها فعالیت آن، صرفنظر از حرکت locomotion ، مستثزای شدن exclude از اجسام دیگر است (یعنی با تمديد یافتگی در فضا، از اجسام دیگر مستثنی می شود و یا به آنها راه نمی دهد- م): این فلسفه، فلسفه مکانیکی mechanical philosophy است. دکارت میان ذهن mind (که آن را به عنوان سابستنس هوشمند و غیرممتد unextended, thinking substance تعریف می کند) و matter (که آن را به عنوان سابستنس ممتد و فاقد هوشمندی unthinking, extended substance تعریف می کند) تمایز مطلقى قائل می شود. آن دو، چیزهای مستقلی هستند. در مقابل، ارسطو matter و حقیقت (principle) فرمال/فرمی formal/forming را به عنوان حقایق مكملى complementary principles تعریف می کند که با هم یک چیز مستقل (یعنی سابستنس) را می سازند. به اختصار، ارسطو matter را به عنوان آنچه که چیزها از آن ساخته شده اند، تعریف می کند (سخن غیردقیق (درباره نظر وی))، اما دکارت matter را به چیزی که فی نفسه (یا در خود) in itself وجود دارد، ارتقاء می بخشد.

پیوستگی و افتراق میان تصورات دکارت و ارسطو قابل توجه است. در هر دو تصور، matter منفعل passive یا واجد توانایی محدود برای واکنش کردن (inert) است. در تصورات مربوطه، matter روابط متفاوتی با هوش intelligence دارد. برای ارسطو matter و هوش (صورت) (intelligence (form)) با هم در رابطه ای واجد وابستگی متقابل، وجود دارند؛ در حالی که برای دکارت matter و هوش (ذهن) (intelligence (mind)) بنا به تعریف، سابستنس های مستقل و متخالفی هستند. [واژه thinking هم که در بالا ذکر شد، مترادف با intelligent یا هوشمند است- م]

آیزاک نیوتن Isaac Newton (1643-1727) وارث تصور مکانیکی دکارت از matter شد، اما به آن اضافه نمود. نیوتن علاوه بر تمديد (حداقل بر پایه ای محدود)، خواص ذاتی intrinsic - مانند جرم - را به matter بازمی گرداند. نیوتن، matter را به مثابه "ذرات قابل حرکت دادن movable، غیرقابل رسوخ، سخت، سنگین massy، جامد" در نظر گرفت، که "بسیار سخت هستند، طوری که هرگز حتی فرسوده یا خرد نمی شوند". خواص "اولیه" matter، برخلاف کیفیات "ثانویه" secondary مانند رنگ و مزه، تابع توصیف ریاضی هستند. در قرن نوزدهم متعاقب توسعه جدول تناوبی (عناصر) periodic table و تئوری اتمی atomic theory، به اتم ها به عنوان اجزاء بنیادین تشکیل دهنده matter نگریسته شد: اتم ها، مولکول ها و چیزهای مرکب compounds را تشكيل می دهند.

1.3 پیشرفتهای پسین Later Developments

تصور مدرن از ماده، بارها در تاریخ - در پرتو پیشرفت در دانش چپستی بلوک های ساختمانی بنیادی و این که چگونه کنش متقابل می کنند- بهبود یافته است.

با کشف الکترون (17) electron در اواخر قرن نوزدهم، و با کشف هسته اتمی atomic nucleus در اوایل قرن بیستم و تولد فیزیک ذره، به ماده به عنوان ترکیب الکترون ها، پروتون ها (18) protons و نوترون ها (20) neutrons - که برای تشكيل اتم ها در حال کنش متقابل هستند- نگریسته شد. امروز می دانیم که حتی پروتون ها و نوترون ها غیرقابل تقسیم نیستند. آنها می توانند به کوارک ها (21) quarks تقسیم شوند، در صورتی که الکترون ها جزئی از یک خانواده ذرات بنام لپتون ها leptons می باشند. کوارک ها و لپتون ها هر دو ذرات بنیادی اند، و بطور رایج به این عنوان که اجزاء بنیادین تشكيل دهنده ماده می باشند، در نظر گرفته می شوند.

این کوارک ها و لپتون ها از طریق چهار نیروی بنیادی (22) fundamental forces، کنش متقابل می کنند: جاذبه gravity، الکترومغناطیس electromagnetism، کنش های متقابل ضعیف weak interactions، و کنش های متقابل قوی strong interactions. مدل استاندارد فیزیک ذره Standard Model of particle physics رایجاً بهترین توضیح برای تمام فیزیک است، اما علیرغم دهه ها تلاش، جاذبه هنوز نمی تواند در سطح کوانتوم توضیح داده شود: فقط با فیزیک کلاسیک classical physics توصیف می شود. کنش های متقابل میان کوارک ها و لپتون ها نتیجه تبادل exchange ذرات حامل نیرو force-carrying particles (مانند فوتون ها (23) photons) بین کوارک ها و لپتون ها می باشند. ذرات حامل نیرو خودشان بلوک های ساختمانی نیستند. به عنوان یک پیامد، جرم و انرژی (که نمی توانند خلق یا نابود شوند) همیشه نمی توانند به ماده matter (که می تواند کاملاً از ذرات غیرماده non-matter particles مانند فوتون ها، یا حتی کاملاً از انرژی خالص pure energy مانند انرژی جنبشی kinetic energy خلق شود) ربط داده شوند. حاملان نیرو force carriers معمولاً ماده matter در نظر گرفته نمی شوند: حاملان نیروی الکتریکی (فوتون ها)، دارای انرژی هستند و حاملان نیروی ضعیف (یعنی، بوسون های W و Z (24)) weak force (W and Z bosons)، واجد جرم massive می باشند، اما هیچ کدام ماده در نظر گرفته نمی شوند. هر چند که این ذرات، ماده در نظر گرفته نمی شوند، اما در جرم تام total mass اتم ها، ذرات زیر اتمی subatomic particles، و همه سیستم هایی که محتوی آنها هستند، سهیم می باشند.

2 تعاریف

2.1 تعریف عمومی Common definition

تعریف عمومی ماده چنین است: هر چیزی که هم جرم و هم حجم دارد (فضا را اشغال می کند). برای مثال، گفته می شود که یک اتوموبیل از ماده ساخته شده، چون فضا را اشغال می کند و جرم دارد.

این مشاهده که ماده، فضا را اشغال می کند به روزگار باستان بازمی گردد؛ اما توضیح این که چرا ماده، فضا را اشغال می کند، جدید است و استدلال می شود که نتیجه اصل انحصار پاولی (4) Pauli exclusion principle می باشد. دو مثال ویژه برای جایی که اصل انحصار، بوضوح ماده را با اشغال فضا مرتبط می کند، عبارتند از: ستارگان کوتوله سفید white dwarf stars و ستارگان نوترونی neutron stars، که در زیر بیشتر مورد بحث قرار گرفته اند.

2.2 مقدار سابسنتس Amount of substance

سازمان استانداردهای بین المللی (BIPM) Bureau International des Poids et Mesures به جای "ماتر" matter، واژه تکنیکی (terminology) "مقدار سابسنتس" amount of substance را بکار می برد.

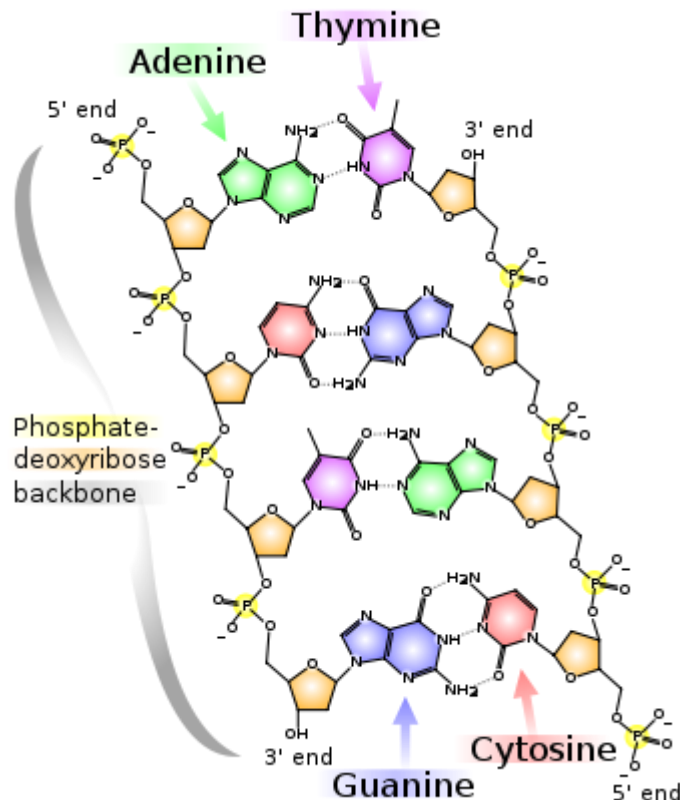
به نقل از جزوه SI (SI brochure): «مقدار سابسنتس (ماده)، به نسبت تعداد هستنده های بنیادی معین specified elementary entities در یک نمونه sample تعریف می شود. ثابت تناسب، یک ثابت جهانی ست که برای تمام نمونه ها یکسان است. واحد مقدار سابسنتس، مول mole نامیده می شود (با علامت mol). مول با معین نمودن جرم کربن 12 ی که از یک مول از اتمهای کربن 12 تشکیل شده، تعریف می شود. با توافق بین المللی، این مقدار 0.012 kg یعنی 12 g تعیین شده است.

1- مول، مقدار ماده amount of substance سیستمی است که محتوی همان تعداد هستنده های بنیادی ست که تعداد اتمها در 0.012 کیلوگرم کربن 12 می باشند. علامت آن مول mol است.

2- وقتی مول بکار برده می شود، هستنده های بنیادی می بایست مشخص گردند، که ممکن است اتم ها، مولکول ها، یون ها ions، الکترون ها، ذرات دیگر یا گروه های معینی از این قبیل ذرات باشند.»

2.3 تعریف مبتنی بر اتم ها و مولکول ها

تعریفی از "ماده" matter که مبتنی بر ساختار فیزیکی و شیمیایی آن است، چنین می باشد: ماده از ترکیب اتم ها و مولکول ها تشکیل شده است. این تعریف با تعریف BIPM از "مقدار سابسنتس" (در بالا) سازگار است، اما در مورد اجزاء تشکیل دهنده ماده constituents of matter مشخص تر می باشد. (برای بحث بیشتر به بخش های بحث و پیشنهاد و تعریف مبتنی بر کوارک ها quarks و لپتون ها leptons نگاه کنید). به عنوان مثال، مولکول های دی اکسی ریبونوکلیک اسید (DNA) deoxyribonucleic acid در ذیل این تعریف، ماده هستند، چون از اتم ها ساخته شده اند. این تعریف می تواند جهت در برگرفتن اتم ها و مولکول های واجد بار الکتریکی charged بسط داده شود. به نحوی که شامل پلاسماها (گاز های یون ها gases of ions) و الکترولیت ها (محلول های یونی) electrolytes گردد. که به روشنی در تعریف مبتنی بر اتم ها و مولکول ها نمی گنجند. به عنوان جایگزین، شخص می تواند تعریف مبتنی بر پروتون ها، نوترون ها و الکترون ها را اتخاذ نماید.



[مولکول DNA مثالی از ماده matter در ذیل تعریف مبتنی بر " اتم ها و مولکول ها " می باشد.]

2.4 تعریف مبتنی بر پروتون ها، نوترون ها و الکترون ها

تعریفی از " ماده " matter که از تعریف مبتنی بر اتم ها و مولکول ها ریز-مقیاس تر fine-scale است، چنین می باشد: ماده از ترکیب آنچه که اتم ها و مولکول ها از آن ساخته شده اند، تشکیل شده است، که به معنای هر چیز ساخته شده از پروتون ها، نوترون ها و الکترون ها می باشد. هر چند این تعریف به فراسوی اتم ها و مولکول ها می رود، اما مواد substances ساخته شده از این بلوک های ساختمانی را- که صرفاً اتم ها یا مولکول ها نیستند- شامل می شود. برای مثال، ماده ستاره کوتوله سفید (25) white dwarf matter، که مشخصاً هسته های کربن و اکسیژن در دریایی از الکترون های دژنره degenerate electrons است. [دژنره به معنای آنچه است که اصل خود را از دست داده- م] در سطح میکروسکوپی، " ذرات " تشکیل دهنده ماده، مانند پروتون ها، نوترون ها و الکترون ها از قوانین مکانیک کوانتوم پیروی می کنند و دوگانگی موج- ذره wave-particle duality را نشان می دهند. در سطحی حتی عمیق تر، پروتون ها و نوترون ها از ترکیب کوارک ها و میدان های نیرو (گلوئون ها (26)) (force fields (gluons) - که آنها را به یکدیگر پیوند bind می دهند- تشکیل شده اند) به تعریف مبتنی بر کوارک ها و لپتون ها در زیر نگاه کنید).

2.5 تعریف مبتنی بر کوارک ها و لپتون ها

همانطور که از بحث فوق ممکن است فهمیده شود، بسیاری از تعاریف اولیه- از آنچه که می تواند ماده معمولی ordinary matter نامیده شود- مبتنی بر ساختار structure یا " بلوک های ساختمانی " ماده بودند. در مقیاس ذرات بنیادی، تعریفی که این سنت را دنبال می کند، چنین می تواند بیان شود: ماده معمولی، هر چیزی است که از فرمیون های (27) بنیادی elementary fermions، بنام کوارک ها و لپتون ها، تشکیل شده است. ارتباط بین این فرمول بندی ها در ذیل می آید.

لپتون ها (مشهورترین آنها، الکترون است) و کوارک ها (که از آنها باریون ها baryons، مانند پروتون ها و نوترون ها، ساخته شده اند) برای تشکیل اتم ها ترکیب می شوند، که اتم ها به نوبه خود مولکول ها را تشکیل می دهند. چون گفته می شود که اتم ها و مولکول ها ماده اند، لذا طبیعی ست که تعریف را چنین عبارت سازی نمود: ماده معمولی، هر چیزی است که از همان چیزهایی که اتم ها و مولکول ها از آنها درست شده اند، ساخته شده است. (اما توجه کنید که شخص همچنین می تواند از این بلوک های ساختمانی، ماده ای بسازد که اتم ها یا مولکول ها نباشند.)

پس، چون الکترون ها، لپتون هستند و پروتون ها و نوترون ها از کوارک ها ساخته شده اند، لذا این تعریف به نوبه خود به تعریفی از ماده به این عنوان که " کوارک ها و لپتون ها " می باشند، کشیده می شود (که دو نوع از فرمیون های بنیادی اند).
 Carithers و Grannis چنین شرح می دهند: ماده معمولی تماماً از ذرات نسل اول *first-generation particles* ساخته شده است، یعنی کوارک های $[up]$ و $[down]$ ، بعلاوه الکترون و نوترینوی (28) *neutrino* آن.
 ذرات نسل های بالاتر، سریعاً به ذرات نسل اول زوال *decay* می یابند و لذا عموماً مورد مواجهه واقع نمی شوند.

این تعریف از ماده معمولی، از آنچه در ابتداء به نظر می رسد، دقیق تر است. همه ذراتی که ترکیب آنها ماده معمولی را تشکیل می دهند (لپتون ها و کوارک ها)، فرمیون های بنیادی می باشند، در صورتی که همه حاملان نیرو *force carriers*، بوسون های بنیادی *elementary bosons* می باشند. بوسون های *W* و *Z* که واسطه نیروی ضعیف *weak force* هستند، از کوارک ها یا لپتون ها ساخته نشده اند و لذا با آنکه جرم دارند، ماده معمولی نیستند. عبارت دیگر، جرم چیزی نیست که منحصر به ماده معمولی باشد.

تعریف کوارک- لپتونی از ماده معمولی، هرچند نه فقط بلوک های ساختمانی بنیادین ماده را تعیین می کند، بلکه همچنین ترکیبات (*composites*) ساخته شده از اجزاء تشکیل دهنده (*constituents*) را در بر می گیرد (برای مثال، اتم ها و مولکول ها).
 چنین ترکیباتی دارای انرژی کنش متقابل *interaction energy* هستند که اجزاء تشکیل دهنده را با هم نگه می دارد و ممکن است اکثریت جرم ترکیب را تشکیل دهند.

به عنوان مثال، جرم یک اتم، تا حد زیادی، فقط مجموع جرم پروتون ها، نوترون ها و الکترون های تشکیل دهنده آن است. اما با حفر عمیق تر، پروتون ها و نوترون ها از ترکیب کوارک ها تشکیل شده اند که با میدان های گلونی *gluon fields* به یکدیگر پیوند یافته اند و این میدان های گلونی ها، بطور قابل توجهی در جرم هادرون ها (29) *hadrons* سهم هستند.
 به عبارت دیگر، بیشترین آنچه که " جرم " ماده معمولی را تشکیل می دهد، به دلیل انرژی پیوندی *binding energy* کوارک ها در داخل پروتون ها و نوترون ها می باشد. برای مثال، مجموع جرم سه کوارک در یک نوکلئون *nucleon* تقریباً $12.5 \text{ MeV}/c^2$ می باشد، که در مقایسه با جرم نوکلئون (یعنی، تقریباً $938 \text{ MeV}/c^2$) کم است.
 حقیقت آن است که حداکثر جرم اشیاء روزمره، از انرژی کنش متقابل اجزاء بنیادی آنها منتج می شود.

[نوکلئون: یک پروتون یا نوترون، بویژه وقتی که به عنوان جزئی از یک هسته در نظر گرفته می شود.
 الکترون ولت (*eV*) : *electronvolt*]

(1) واحد اندازه گیری انرژی یک ذره باردار (یون یا الکترون) بر حسب انرژی حرکتی ای که یک الکترون، از اختلاف پتانسیل یک ولت بدست می آورد. چون این انرژی، بسیار کوچک است، لذا واحدهای معمول عبارتند از: مگا (میلیون) *mega* و گیگا (بلیون یا میلیارد) *giga* الکترون ولت (*MeV* و *GeV*).

(2) عمدتاً واحد انرژی است، اما به دلیل هم ارزی جرم- انرژی می تواند به عنوان واحد جرم نیز عمل نماید. در این مفهوم بصورت eV/c^2 مشخص می شود، یا فقط *eV*. الکترون ولت در فیزیک ذرات، معمول است.]

Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III	
mass →	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name →	u up	c charm	t top	γ photon
Quarks	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d down	s strange	b bottom	g gluon
Leptons	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z⁰ weak force
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e electron	μ muon	τ tau	W[±] weak force
				Bosons (Forces)

[جدول: در ذیل تعریف مبتنی بر "کوارک ها و لپتون ها" ، ذرات بنیادی و مرکب composite ساخته شده از کوارک ها (بنفش) و لپتون ها (سبز) ، " ماده " خواهد بود. در حالی که، بوسون های gauge (قرمز) ، " ماده " نخواهد بود. هرچند که، انرژی کنش متقابل که ذاتی inherent ذرات مرکب است(برای مثال، گلئون های gluons مرتبط با نوترون ها و پروتون ها) در جرم ماده معمولی سهم می باشد.]

2.6 بلوک های ساختمانی کوچکتر؟

“ در گذشته، جستجو برای بلوک های ساختمانی ماده matter ، ما را به هسته های ' بنیادین ' elementary entities بیشتر و بیشتری سوق داد. از مولکول به اتم، به هسته nucleus و الکترون ها، به نوکلئون ها(پروتون ها یا نوترون های واقع در هسته) و سرانجام به کوارک ها. آیا این روند ' پوست پیازی ' را تکمیل نموده ایم ...؟ ”

مدل استاندارد، ذرات ماده را به سه نسل generation گروه بندی می کند، که هر نسل شامل دو کوارک و دو لپتون است. نسل اول، کوارک های *up* و *down* ، الکترون و *electron neutrino* نوترینو است؛ نسل دوم، کوارک های *charm* و *strange* ، *muon neutrino* و *muon* را دربر دارد؛ نسل سوم شامل کوارک های *top* و *bottom* ، *tauon neutrino* و *tauon* است.

[معنای واژه های *up* ، *down* ، *charm* ، *strange* ، *top* ، *bottom* به ترتیب از راست به چپ: بالا، پایین، افسون، عجیب، سر، ته - م]

“ ... طبیعی ترین توضیح برای وجود نسل های بالاتر کوارک ها و لپتون ها آن است که: آنها با حالت های برانگیخته (تحریک شده) excited states نسل اول مطابقت دارند و تجربه پیشنهاد می کند که سیستم های برانگیخته باید مرکب composite (یعنی، متشکل از اجزاء متفاوت- م) باشند. ”

2.7 بحث و پیشینه Discussion and background

تعریف عمومی ماده matter بر حسب اشغال فضا و داشتن جرم، در تضاد با اکثر تعاریف فیزیکی و شیمیایی از ماده است. در عوض،

این تعاریف بر ساختار structure ماده و محمول‌هایی attributes تکیه می‌کنند که لزوماً ربطی به حجم و جرم ندارد. جیمز کلرک ماکسول James Clerk Maxwell ماده را در کتابش «ماده و حرکت» *Matter and Motion* مورد بحث قرار داد. او بدقت ماده را از فضا و زمان جدا می‌کند و آن را بر حسب ابژه (شیء) object که به قانون اول نیوتن Newton درباره حرکت ارجاع داده می‌شود، تعریف می‌کند. بحثی از یک کتاب مرجع textbook متعلق به 1870 میلادی پیشنهاد می‌کند که ماده آنچه است که از ترکیب اتم‌ها تشکیل شده است:

سه طبقه بندی division از ماده matter در علم شناخته شده است: اجرام، مولکول‌ها و اتم‌ها. جرمی از ماده، هر بخش از ماده است که توسط حواس senses، قابل ارزیابی (یا محسوس) appreciable است. مولکول، کوچکترین ذره ماده است که جسم body می‌تواند به آن تقسیم شود بدون آنکه اصل (یا هویت) identity را از دست دهد. اتم، باز هم یک ذره کوچکتر است که با تقسیم مولکول ایجاد می‌شود.

به جای آن که ماده فقط محمول‌های جرم و اشغال فضا را دارا باشد، واجد خواص شیمیایی و الکتریکی در نظر گرفته شد: فیزیکدان مشهور، جی. جی. تامپسون J. J. Thomson درباره "ساختار ماده" constitution of matter نوشت و به ارتباط احتمالی بین ماده و شارژ الکتریکی electrical charge اهمیت داد.

نوشته‌های کاملی در ارتباط با "ساختار ماده" وجود دارد که گستره آن از "ساختار الکتریکی" در اوایل قرن بیستم تا "ساختار کوارکی ماده" در زمان جدیدتر است، که امروز با این بیان معرفی می‌شود: فهم ساختار کوارکی ماده یکی از مهمترین پیشرفت‌ها در فیزیک معاصر بوده است.

در این رابطه، فیزیکدانها از میدان‌های ماده matter fields صحبت می‌کنند و از ذرات بمثابه "القائات کوانتومی حالتی (یا وضعیتی) از میدان ماده" quantum excitations of a mode of the matter field سخن می‌گویند.

و در اینجا نقل قولی از de Sabbata و Gasperini هست:

"با واژه "ماده" matter، در این زمینه، منابع کنش‌های متقابل sources of the interactions را مشخص می‌کنیم، که عبارتند از: میدان‌های اسپینور (13) spinor fields (مانند کوارک‌ها و لپتون‌ها)، که گمان می‌رود اجزاء بنیادین fundamental components ماده باشند؛

یا میدان‌های اسکالر (15) scalar fields (مانند ذرات هیگز (16) Higgs particles)، که برای جرم ایجاد شده در یک تئوری gauge (gauge theory) بکار می‌روند (و هر چند که می‌توانستند از میدان‌های فرمیونی fermion fields بنیادی تری تشکیل شده باشند)."

واژه "ماده" matter در زمینه‌های متعدد گنج‌کننده‌ای در سراسر فیزیک بکار برده می‌شود. برای مثال، شخص درباره "فیزیک ماده متراکم" condensed matter physics، "ماده بنیادی" elementary matter، ماده "partonic"،

ماده "سیاه" dark matter، "ضد" ضد "ماده anti-matter، ماده "strange"، و ماده "هسته‌ای" nuclear matter سخن می‌گوید.

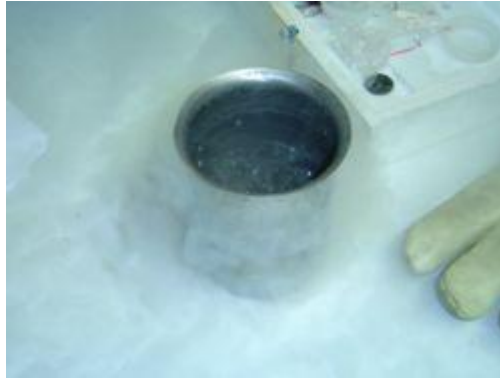
در بحث‌های ماده و ضد ماده توسط Alfvén، ماده نرمال normal matter به عنوان koinomatter ذکر شده است.

منصفانه است بگوییم که در فیزیک، هیچ توافق عام گسترده‌ای در رابطه با تعریفی دقیق از ماده وجود ندارد و واژه "ماده" matter معمولاً در پیوند با برخی واژه‌ها (modifier) بکار برده می‌شود که این واژه‌ها، اطلاعات اضافی درباره آن ارائه می‌دهند.

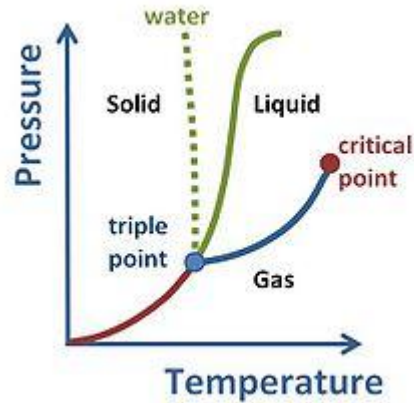
3 فازهای ماده معمولی

ماده در اندازه بزرگ in bulk، می‌تواند به چندین فرم form متفاوت یا به حالت‌های تجمع states of aggregation متفاوتی (موسوم به فازها phases) وجود داشته باشد، که به فشار، دما و حجم محیط بستگی دارد. یک فاز، فرمی از ماده است که ترکیب شیمیایی و خواص فیزیکی نسبتاً متحد الشکلی uniform دارد (مانند چگالی density، گرمای خاص، ضریب انکسار refractive index، و بر این قیاس). این فازها شامل سه حالت آشنا (جامدات، مایعات liquids و گازها) و نیز حالت‌های بیگانه‌تر exotic ماده (مانند پلاسماها plasmas، سوپرسایالات superfluids، سوپر جامدات supersolids، تغلیظ بوس-آینشتاین Bose-Einstein condensates، ...) هستند. یک سیال fluid ممکن است مایع liquid، گاز یا پلاسما باشد. فازهای پارامگنتیک paramagnetic و فرّومگنتیک ferromagnetic مواد مغناطیسی magnetic materials نیز وجود دارند. وقتی شرایط تغییر می‌کند، ماده ممکن است از فازی به فاز دیگر تغییر نماید. این پدیده‌ها، انتقال فاز phase transitions نامیده می‌شوند، و در حیطه ترمودینامیک thermodynamics مطالعه می‌گردند. افزایش بزرگ در نسبت سطح بیرونی surface area به حجم در نانومتریال‌ها (یا مواد نانو) nanomaterials ماده‌ای را نتیجه می‌دهد که می‌تواند خواصی کاملاً متفاوت با خواص ماده در اندازه بزرگ bulk material نشان دهد؛ این خواص از طریق فاز بزرگ bulk phase به خوبی قابل توصیف نیستند.

فازها گاهی حالت‌های ماده states of matter نامیده می‌شوند، اما این واژه می‌تواند با حالت‌های ترمودینامیک thermodynamic states اشتباه شود. برای مثال، دو گاز نگهداری شده در فشارهای متفاوت، در حالت‌های ترمودینامیک متفاوتی (فشارهای متفاوت) هستند، اما در فاز یکسانی می‌باشند (هر دو گازند).



[فنجان فلزی جامد، حاوی نیتروژن مایع که به تدریج به نیتروژن گازی بخار می شود. بخار شدن، انتقال فاز از حالت مایع به حالت گاز است.]



[نمودار فاز برای یک ماده شاخص typical با حجمی ثابت. محور عمودی، فشار است. محور افقی، دماست. خط سبز، نقطه انجماد freezing point را نشان می دهد (بالای خط سبز، جامد است، پایین مایع است) و خط آبی، نقطه جوش boiling point را نشان می دهد (بالا، مایع و پایین گاز است). لذا برای مثال، در دمای بالاتر، فشار بالاتری برای نگهداشتن ماده در فاز مایع لازم است. در نقطه سه گانه triple point سه فاز (مایع، گاز و جامد) می توانند با هم موجود باشند. بالای نقطه بحرانی critical point اختلاف قابل شناسایی detectable میان فازها وجود ندارد. خط نقطه چین، رفتار غیر عادی anomalous آب را نشان می دهد: یخ در دمای ثابت با افزایش فشار ذوب می شود.]

3.1 جامد

جامدات با تمایلی به حفظ تمامیت ساختاری شان structural integrity متمایز می شوند. اگر به خود رها شوند، به همان شیوه گاز یا مایعات پخش نمی شوند. بسیاری از جامدات، مانند سنگها و بتون concrete، سختی hardness و سفتی rigidity بسیار بالایی دارند و وقتی در معرض صور گوناگون فشار stress واقع می شوند، به شکستن یا خرد شدن تمایل دارند ولی چیزهای دیگر، مانند فولاد steel و کلغذ انعطاف پذیرترند و خم می شوند. جامدات اغلب از کریستال ها crystals مانند شیشه ها، یا مولکول هایی با زنجیره طویل long chain (برای مثال، لاستیک و کاغذ) ساخته شده اند. برخی از جامدات، بی نظم اند amorphous، مانند شیشه glass. مثال عمومی از جامد، فرم جامد آب، یعنی یخ می باشد.

3.2 مایع

در مایع، اجزاء تشکیل دهنده غالباً در حال برخوردند ولی قادر به حرکت بدور یکدیگرند. لذا برخلاف گاز، مایع پیوستگی (32) cohesion و چسبندگی (33) viscosity دارد. در مقایسه با جامد، نیروهای نگهدارنده اجزاء به یکدیگر ضعیفترند و مایع سفت rigid نیست، بلکه

با شکلی که ظرف محتوی آن معین می کند، وفق می یابد. مایعات بسختی فشرده (یا مترکم) compress می شوند. مثال عمومی، آب است.

3.3 گاز

گاز حالتی از تجمع aggregation، بدون پیوستگی cohesion می باشد: بخار. بنابراین، گاز هیچ مؤلفه‌ی برای تغییر شکل (ورای اینرسی (34) (یا مانع)) inertia اجزاء تشکیل دهنده آن، که می باید مورد اصابت واقع شوند (ندارد. فاصله بین ذرات تشکیل دهنده، قابل تغییر است که برای مثال، توسط اندازه ظرف و تعداد ذرات - نه توسط نیروهای داخلی internal forces - معین می شود. مثال عمومی، شکل بخار شده آب است: بخار آب.

3.4 پلاسما

پلاسما plasma چهارمین حالت ماده است که شامل مخلوطی از الکترون ها، یون ها (35) و اتم های خنثی ست، که از نظر بار الکتریکی، تماماً خنثی charge-neutral می باشند. پلاسما رفتار مختص نیروهای کلمب (36) Coulomb forces با دامنه بلند long range را نشان می دهد که در آن ذرات در میدان های الکترومغناطیسی حرکت می کنند، که این میدان ها توسط حرکات خودشان و قائم به ذات self-consistent تولید شده اند. خورشید و ستارگان، پلاسما هستند، همانطور که یونوسفر (37) زمین Earth's ionosphere پلاسماست؛ و پلاسما در تابلوها (یا چراغهای) نئونی neon signs روی می دهد. پلاسما یون های دوتریوم (38) deuterium و تریتیوم (39) tritium در واکنش های فیوژن fusion reactions بکار می روند. واژه پلاسما برای اولین بار در 1929 میلادی توسط Tonks و Langmuir بکار رفت، که در مورد نواحی درونی یک گاز یونیزه برافروخته glowing بود که بوسیله تخلیه الکتریکی electric discharge در یک لوله ایجاد شده بود.

3.5 تغلیظ بوس- آینشتاین Bose-Einstein condensate

این حالت از ماده برای اولین بار توسط Satyendra Nath Bose کشف شد. او کارش بر روی آمار فتون ها statistics of photons را جهت تفسیر برای آلبرت آینشتاین Albert Einstein فرستاد. پس از انتشار مقاله بوس، آینشتاین روش وی را به ذرات بزرگ massive با تعداد ثابت، بسط داد و در 1925 میلادی این حالت پنجم ماده را از قبل پیش بینی نمود. تغلیظ های بوس- آینشتاین، نخست بطور آزمایشی توسط چندین گروه علمی متفاوت در 1995 میلادی برای روبیدیوم rubidium، سدیم و لیتیم lithium با کاربرد ترکیبی از لیزر laser و خنک کردن تبخیری evaporative cooling صورت واقعی یافتند. تغلیظ بوس- آینشتاین برای هیدروژن اتمی atomic hydrogen در 1998 میلادی بانجام رسید.

تغلیظ بوس- آینشتاین، یک سوپرسیال superfluid مایع- مانند liquid-like است که در دماهای پایین که همه اتم ها حالت کوانتومی یکسانی را اشغال می کنند، روی می دهد. در سیستم های با چگالی پایین low-density systems، این تغلیظ در دمای 10^{-5} K کلوین (44) یا کمتر رخ می دهد.

3.6 تغلیظ فرمیونیک Fermionic condensate

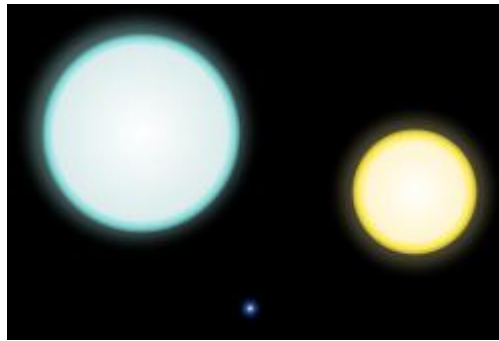
تغلیظ فرمیونیک، یک فاز سوپرسیال است که توسط ذرات فرمیونیک fermionic particles در دماهای پایین شکل می گیرد. با تغلیظ بوس- آینشتاین، تحت شرایط مشابه، ارتباط نزدیک دارد. برخلاف تغلیظ های بوس- آینشتاین، تغلیظ های فرمیونیک با استفاده از فرمیون ها fermions (به جای بوسون ها bosons) شکل می گیرند. اولین تغلیظ فرمیونیک شناخته شده، حالت الکترون ها در یک سوپرهادی (52) superconductor را توصیف نمود. فیزیک نمونه های دیگر، شامل کار اخیر با اتم های فرمیونیک fermionic atoms امری مشابه است. اولین تغلیظ فرمیونیک اتمی در سال 2003 میلادی تولید شد. این تغلیظ های فرمیونیک اتمی در دماهایی نزدیک به 50-350nK مطالعه شده اند.

یک تغلیظ فرمیونیک فرضی که در تئوری های فرمیون های فاقد جرم massless fermions با شکستن تقارن کیرال (47) chiral symmetry پدیدار می شود، تغلیظ کیرال chiral condensate یا تغلیظ کوارک quark condensate است.

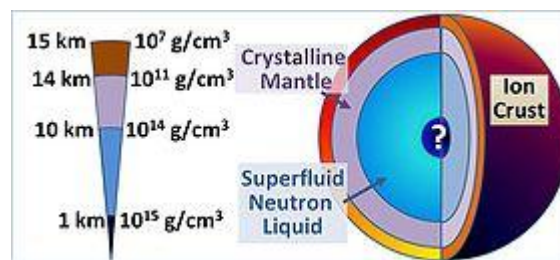
3.7 هسته ستاره نوترونی

به دلیل چگالی بسیار زیاد، هسته ستاره نوترونی core of a neutron star در ذیل هیچ حالت دیگری از ماده قرار نمی گیرد. در صورتی که یک کوتوله سفید white dwarf تقریباً به جرم خورشید است (نزدیک به (و نیز شامل) 1.4 سولارماسیس (48) solar masses، یعنی حد چاندراسهکار Chandrasekhar limit (49))، لذا اصل انحصار پاولی از کلاپس (در هم فرو رفتن) collapse آن به شعاعی کوچکتر جلوگیری می کند، و نمونه ای از ماده دژنره degenerate matter می شود. [واژه دژنره در لغت به معنای چیزی ست که اصل خود را از دست داده است- م]

در مقابل، ستاره های نوترونی بین 1.5 تا 3 سولارماسیس هستند و به چنان چگالی ای می رسند که پروتون ها و الکترون ها فشرده می شوند تا نوترون شوند. نوترون ها فرمیون هستند، لذا از کلاپس بیشتر توسط اصل انحصار exclusion principle جلوگیری می شود، و آنچه را که ماده دژنره نوترونی neutron degenerate matter نامیده می شود، تشکیل می دهند.



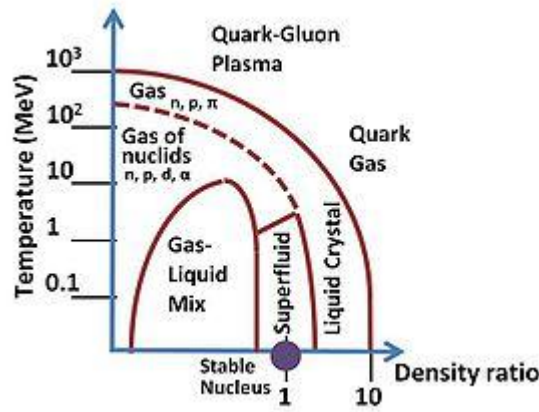
[مقایسه میان کوتوله سفید IK Pegasi B (وسط)، جفت A-class آن بنام IK Pegasi A (چپ) و خورشید (راست). دمای سطح این کوتوله سفید، 35500 K درجه کلوین است.]



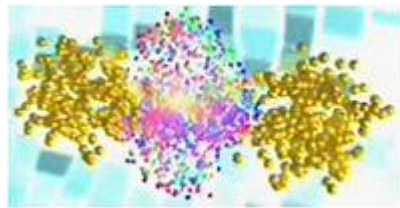
[مدلی از ساختار داخلی ستاره نوترونی. (مدل های دیگری نیز وجود دارند.) در عمق تقریباً 10 km کیلومتر، هسته، مایع سوپرسیال می شود، که در اصل از نوترون ها است. برش سمت چپ، چگالی را در برابر شعاع (ستاره) نشان می شود.]

3.8 پلاسمای quark-gluon

گلوئون ها gluons ذراتی بنیادی هستند که موجب کنش متقابل interact کوارک ها می شوند و بطور غیرمستقیم، مسئول پیوند پروتون ها و نوترون ها به یکدیگر در هسته های اتم می باشند. پلاسمای quark-gluon فازی فرضی از ماده است، فازی که هنوز مشاهده نشده است؛ گمان می رود در جهان اولیه early universe وجود داشته و به یک فاز هادرونیک-گاز hadronic-gas phase تغییر یافته است. در انرژی بسیار زیاد، پیش بینی می شود که نیروی قوی strong force بقدری ضعیف می گردد که هسته های اتمی به تعداد زیادی از کوارک های سست می شکنند، که این امر، فاز quark-gluon را از پلاسمای معمولی normal متمایز می کند. در تصادم یون های نسبی سنگین relativistic heavy ions، انتقال فاز- از فاز هادرونیک هسته ای nuclear, hadronic phase به فاز ماده ای حاوی کوارک ها و گلوئون ها- رخ می دهد. تا به حال، نتایج آزمایشی نشان داده است که به جای پلاسمای فعل و انفعال کننده ضعیف weakly interacting plasma، یک مایع تقریباً ایده آل ideal liquid تولید می شود.



[فازهای ماده هسته ای nuclear matter]



[یون های نسبی طلا relativistic gold ions
برای ایجاد گوی آتشین هادرونی، تصادم می کنند.
تصویر از روی انیمیشن به توسط آزمایشگاه
ملی Brookhaven]

3.9 آلومینیوم شفاف

در سال 2009 میلادی، دانشمندان دانشگاه آکسفورد، یک گروه بین المللی را در هامبورگ آلمان دربارگیری FLASH laser synchrotron جهت خلق حالت جدیدی از ماده، یعنی transparent aluminum رهبری نمودند. آنها با کاربرد ضربان کوتاهی از لیزر FLASH، یک الکترون مرکزی core electron را از هر اتم آلومینیوم برداشتند، اما ساختار کریستالی فلز را تخریب یا گسسته نساختند. آنچه حاصل شد، آلومینیومی بود که تقریباً در برابر اشعه م اورای بنفش ultraviolet radiation، نامرئی invisible بود. دانشمندان مرتبط با این کشف، نشان می دهند که این امر در تحقیقات بعدی درباره دانش سیاره ای planetary science و جوش هسته ای (50) nuclear fusion یاری خواهد نمود. این اثر بر روی آلومینیوم، 40 فمتوثانیه femtoseconds طول کشید.
[هر فمتوثانیه، 10^{-15} ثانیه است، که زمانی بسیار کوتاه است- م]

4 ساختار ماده معمولی

در فیزیک ذرات، فرمیون ها fermions ذراتی هستند که از آمار فرمی-دیراک Fermi-Dirac statistics تبعیت می کنند. فرمیون ها می توانند ساده باشند، مانند الکترون، یا مرکب باشند، مانند پروتون و نوترون. در مدل استاندارد Standard Model دو نوع فرمیون بنیادی elementary وجود دارد: کوارک ها و لپتون ها، که بعد مورد بحث قرار می گیرند.

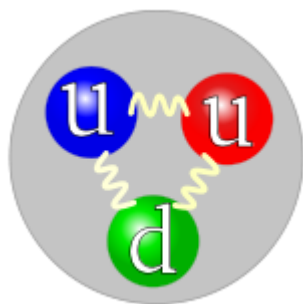
4.1 کوارک ها

کوارک ها ذراتی با اسپین (spin) $1/2$ می باشند، که اشاره می کند فرمیون هستند. حامل بار الکتریکی (electric charge) $-1/3 e$ (کوارک های down-type) یا $+2/3 e$ (کوارک های up-type) می باشند. به عنوان مقایسه، الکترون بار $-1 e$ دارد. همچنین، حامل شارژ رنگی (51) colour charge هستند، که معادل بار الکتریکی electric charge برای کنش متقابل قوی strong interaction است. کوارک ها دستخوش فروپاشی رادیو اکتیو (43) radioactive decay نیز می شوند، که به این معناست که در معرض کنش متقابل ضعیف weak interaction می باشند. کوارک ها ذراتی واجد جرم massive هستند،

Quark properties ^[73]							
name	symbol	spin	electric charge (e)	mass (MeV/c ²)	mass comparable to	antiparticle	antiparticle symbol
up-type quarks							
up	u	1/2	+2/3	1.5 to 3.3	~ 5 electrons	antiup	u
charm	c	1/2	+2/3	1160 to 1340	~ 1 proton	anticharm	c
top	t	1/2	+2/3	169,100 to 173,300	~ 180 protons or ~ 1 tungsten atom	antitop	t
down-type quarks							
down	d	1/2	-1/3	3.5 to 6.0	~ 10 electrons	antidown	d
strange	s	1/2	-1/3	70 to 130	~ 200 electrons	antistrange	s
bottom	b	1/2	-1/3	4130 to 4370	~ 5 protons	antibottom	b

4.1.1 مادهٔ باریونیک Baryonic matter

باریون ها baryons ، فرمیون هایی هستند که بطور قوی کنش متقابل می کنند (strongly interacting fermions) و لذا تحت سلطهٔ آمار فرمی-دیراک می باشند. پروتون ها و نوترون ها در زمرهٔ باریون ها هستند، که در هسته های اتم واقع اند، اما باریون های ناپایدار بسطی دیگری نیز وجود دارند. واژهٔ باریون معمولاً برای ارجاع به تری کوارک ها triquarks (ذرات ساخته شده از سه کوارک) بکار می رود. باریون های " بیگانه " Exotic baryons که از چهار کوارک و یک آنتی کوارک ساخته شده اند، به عنوان پنتا کوارک ها pentaquarks شناخته می شوند، اما وجودشان عموماً پذیرفته نشده است.



[ساختار کوارکی یک پروتون: دو کوارک u و یک کوارک d.]

مادهٔ باریونیک، بخشی از جهان است که از باریون ها (شامل همهٔ اتم ها) ساخته شده است. این بخش از جهان شامل انرژی سیاه dark energy، ماده سیاه dark matter، سرنهچال ها black holes یا فرم های گوناگون مادهٔ دژنره degenerate matter (که ستاره های کوتوله سفید و ستاره های نوترونی را می سازند) نمی شود.

نور مایکرو ویو (میکرو موج) microwave که با Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) دیده شده، پیشنهاد می کند که فقط در حدود 4.6 درصد از آن بخش از جهان که در درون دامنه بهترین تلسکوپهاست (یعنی، ماده ای که ممکن است قابل رؤیت visible باشد، چون نور آن می تواند به ما برسد) از ماده باریونیک ساخته شده است. حدود 23 درصد، ماده سیاه است و حدود 72 درصد، انرژی سیاه می باشد.

4.1.2 ماده دژنره Degenerate matter

ماده دژنره در فیزیک به حالت اساسی گازی از فرمیون ها در دمایی نزدیک به صفر مطلق (46) absolute zero اطلاق می شود. اصل استثنای پاولی ایجاب می کند که فقط دو فرمیون می توانند یک حالت کوانتومی quantum state را اشغال نمایند، یکی spin-up و دیگری spin-down. از اینرو، در دمای صفر، فرمیون ها سطوح بسنده را جهت جا دادن accommodate همه فرمیون های در دسترس پر می کنند؛ و برای مورد فرمیون های زیاد، انرژی جنبشی ماکزیموم (موسوم به انرژی فرمی Fermi energy) و فشار گاز، خیلی بزرگ می شود؛ و فشار گاز، بر خلاف حالات نرمال ماده، به جای دما به تعداد فرمیون ها بستگی دارد. گمان می رود که ماده دژنره در طی تکامل ستارگان سنگین روی می دهد. اثبات Subrahmanyan Chandrasekhar مبنی بر این که ستارگان کوتوله سفید به دلیل اصل انحصار exclusion principle، یک جرم مجاز ماکزیموم دارند، موجب انقلابی در تئوری تکامل ستاره گردید. ماده دژنره شامل بخشی از جهان است که از ستارگان نوترونی و کوتوله های سفید تشکیل شده است.

4.1.3 ماده strange

ماده strange، فرم خاصی از ماده کوارکی quark matter است که معمولاً بصورت 'مایع'ی از کوارک های up، down و strange در نظر گرفته می شود. [واژه strange به معنای عجیب است- مترجم] با ماده هسته ای nuclear matter (که مایعی از نوترون ها و پروتون هاست) که خودشان از کوارک های up و down ساخته شده اند ((و ماده کوارکی غیر strange (non-strange quark matter) (که مایعی کوارکی صرفاً حاوی کوارک های up و down می باشد) مغایرت دارد. انتظاری می رود که ماده strange در چگالی به اندازه کفی بالا، سوپرهادی رنگی colour superconducting باشد. [واژه رنگ (51) صرفاً یک تشبیه است که با خاصیتی از کوارک ها مرتبط است- م] چنین فرض می شود که ماده strange در هسته ستاره های نوترونی یا گمان پردازانه تر، بصورت قطرات مجزا isolated droplets (که اندازه شان ممکن است از فمتومترها femtometers (مانند strangelets) تا کیلومترها (مانند ستاره های کوارکی quark stars) تفاوت نماید) رخ می دهد. [هر فمتومتر، 10^{-15} متر است- م]

4.1.3.1 دو معنای واژه "ماده strange"

در فیزیک ذرات و فیزیک سماوی astrophysics این واژه به دو طریق بکار می رود: یکی به معنای وسیعتر و دیگری ویژه تر.

1. معنای وسیعتر، صرفاً ماده کوارکی است که حاوی سه طعم (21) flavor از کوارک ها می باشد: up، down و strange. [واژه طعم صرفاً یک تشبیه است- م] در این تعریف، یک فشار بحرانی و یک چگالی بحرانی مرتبط وجود دارد و هنگامی که ماده هسته ای (ساخته شده از پروتون ها و نوترون ها) nuclear matter ورای این چگالی فشرده می شود، پروتون ها و نوترون ها به کوارک ها تجزیه می شوند، که ثمره آن ماده کوارکی (احتمالاً ماده strange) است.
2. معنای محدودتر، ماده کوارکی است که پایدارتر از ماده هسته ای می باشد. این ایده که این امر می تواند رخ دهد، "فرضیه ماده strange" است، که متعلق به Bodmer و Witten می باشد. در این تعریف، فشار بحرانی، صفر است: حالت پایه ای حقیقی ماده، همیشه ماده کوارکی است. هسته هایی که در ماده اطرافمان می بینیم (که قطرات droplets ماده هسته ای می باشند) واقعاً ورای حالت پایدار metastable می باشند و طی زمان کافی (یا با محرک خارجی بجا) به قطرات ماده strange، یعنی strangelets زوال decay خواهند یافت.

4.2 لپتون ها

لپتون ها ذراتی با اسپین $1/2$ می باشند، که به این معناست که فرمیون هستند. حامل بار الکتریکی $e-1$ (لپتون های باردار charged leptons) یا $e0$ (نوترینوها neutrinos) می باشند. لپتون ها- برخلاف کوارک ها- حامل شارژ رنگی colour charge نیستند، که به این معناست که با کنش متقابل قوی strong interaction متأثر نمی شوند. لپتون ها دستخوش فروپاشی رادیواکتیو radioactive decay نیز می شوند، که به این معناست که در معرض کنش متقابل ضعیف weak interaction می باشند. لپتون ها ذراتی واجد جرم massive هستند، لذا در معرض جاذبه می باشند.

Lepton properties							
name	symbol	spin	electric charge (e)	mass (MeV/c ²)	mass comparable to	antiparticle	antiparticle symbol
charged leptons ^[80]							
electron	e ⁻	1/2	-1	0.5110	1 electron	antielectron	e ⁺
muon	μ ⁻	1/2	-1	105.7	~ 200 electrons	antimuon	μ ⁺
tauon	τ ⁻	1/2	-1	1,777	~ 2 protons	antitauon	τ ⁺
neutrinos ^[81]							
electron neutrino	ν _e	1/2	0	< 0.000460	< 1/1000 electron	electron antineutrino	ν _e
muon neutrino	ν _μ	1/2	0	< 0.19	< 1/2 electron	muon antineutrino	ν _μ
tauon neutrino	ν _τ	1/2	0	< 18.2	< 40 electrons	tauon antineutrino	ν _τ

5 ضد ماده

در فیزیک ذرات particle physics و شیمی کوآنوم quantum chemistry، ضد ماده، ماده ای است که مرکب از ضد ذرات (53) آن ذراتی است که ماده معمولی ordinary matter را تشکیل می دهند. اگر یک ذره و ضد ذره آن، با یکدیگر تماس حاصل کنند، هر دو نابود می شوند؛ یعنی هر دو ممکن است به ذرات دیگری با انرژی مساوی- مطابق با معادله آینشتاین $E=mc^2$ - تبدیل شوند. این ذرات جدید ممکن است فوتون های با انرژی بالا (اشعه گاما) high-energy photons (gamma rays) یا دیگر جفت های ذره- ضد ذره باشند. به ذرات حاصله، مقداری انرژی جنبشی kinetic energy (که اغلب کاملاً بزرگ است) اعطاء می شود که معادل با اختلاف بین جرم در حال سکون rest mass محصولات نابودی annihilation و جرم در حال سکون جفت ذره- ضد ذره اولیه می باشد.

ضد ماده بطور طبیعی بر روی زمین- بجز به مقدار بسیار کم، و در مقادیر کوچک ناپدید شونده (به عنوان نتیجه تلاشی رادیو اکتیو radioactive decay یا اشعه کیهانی cosmic rays)- یافت نمی شود. این امر به این دلیل است که ضد ماده ای که بر روی زمین - خارج از محدودیت های یک آزمایشگاه مناسب فیزیک - به وجود آمد، تقریباً بطور ثابت با ماده معمولی ordinary matter (که زمین از آن ساخته شده) برخورد نمود و نابود گردید. ضد ذرات و برخی از ضد مواد پایدار (مانند آنتی هیدروژن antihydrogen) می توانند به مقادیر بسیار کمی (اما نه به مقدار کافی جهت انجام کاری بیش از تسریت کردن تعدادی از خواص تئوریک آن) ساخته شوند.

حدس های قابل توجهی- هم در علم و هم در داستان های علمی تخیلی- وجود دارد که چرا جهان قابل مشاهده observable universe به ظاهر تقریباً بکلی ماده است؛ و آیا در عوض، مکان های دیگر، تقریباً بکلی ضد ماده است. گمان می رود که در جهان اولیه early universe ماده و ضد ماده، مساوی بودند، و ناپدید شدن ضد ماده مستلزم عدم تقارن asymmetry در قوانین فیزیکی physical laws است که نقض تساوی بار الکتریکی charge parity (یا نقض تقارن CP (CP symmetry)) نامیده می شود. نقض تقارن CP می تواند از مدل استاندارد (فیزیک ذره) بدست آید، اما در حال حاضر، عدم تقارن ظاهری ماده و ضد ماده در جهان قابل مشاهده visible universe، یکی از مسائل حل نشده بزرگ در فیزیک است. روندهای احتمالی که توسط آنها این عدم تقارن بانجام رسیده، با جزئیات بیشتر تحت عنوان باریوژنز (ایجاد باریون) baryogenesis کاوش می شوند.

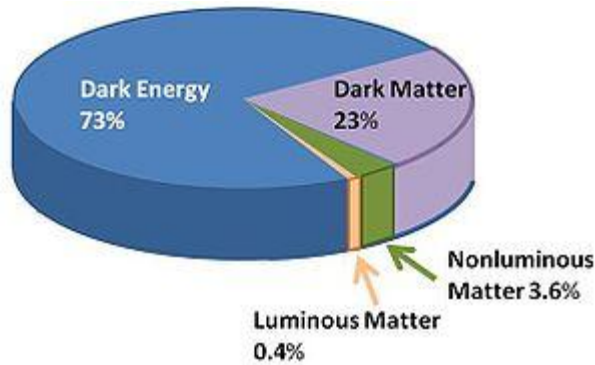
مسائل حل نشده در فیزیک

عدم تقارن باریونی Baryon asymmetry. چرا در جهان قابل مشاهده، ماده بسیار بیشتری نسبت به ضد ماده وجود دارد؟

6 انواع دیگر ماده

ماده معمولی، در تعریف مبتنی بر کوارک ها و لپتون ها، تقریباً % 4 درصد از انرژی جهان قابل مشاهده observable universe را

تشکیل می دهد. درباره انرژی باقیمانده چنین اندیشه می شود که به دلیل فرم های بیگانه exotic forms است، که 23 درصد آن، ماده سیاه dark matter و 73 درصد آن، انرژی سیاه dark energy است.

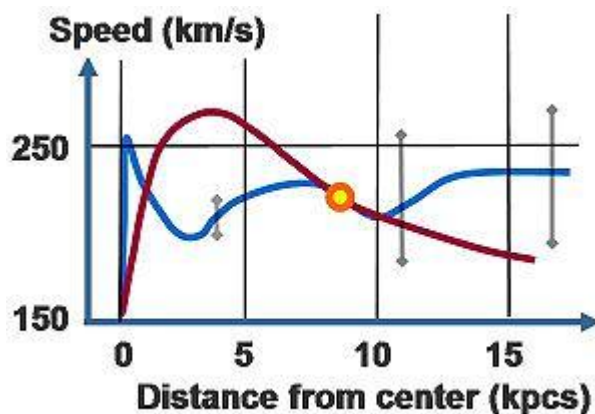


[نموداری که برخی های انرژی در جهان را نشان می دهد، که منابع متفاوتی در آن سهم دارند. ماده معمولی ordinary matter به ماده درخشان luminous matter (ستاره ها و گازهای درخشان luminous gases و 0.005 درصد رادیاسیون یا تشعشع radiation) و ماده غیردرخشان nonluminous matter (گاز بین کهکشانی intergalactic gas و در حدود 0.1 درصد نوترینوها neutrinos و 0.04 درصد سیاهچال های فوق العاده بزرگ و سنگین supermassive black holes) تقسیم می شود. ماده معمولی، کمیاب uncommon است.]

6.1 ماده سیاه

در فیزیک سماوی astrophysics و کیهان شناسی، ماده سیاه dark matter ماده ای با ترکیب ناشناخته است که رادیاسیون الکترومغناطیسی electromagnetic radiation کافی جهت مشاهده مستقیم، صادر یا منعکس نمی کند، اما وجود آن می تواند از طریق اثرات جاذبه ای بر روی ماده قابل رؤیت visible matter استنباط گردد.

مدرک قابل مشاهده از جهان اولیه early universe و نظریه انفجار بزرگ (55) big bang theory ایجاب می کند که این ماده واجد انرژی و جرم باشد، اما از فرمیون های بنیادی elementary fermions یا بوسون های gauge (gauge bosons) تشکیل نشده است. نظر مورد قبول عمومی آن است که اکثریت ماده سیاه، از لحاظ ماهیت nature، غیر باریونیک non-baryonic است. ماده سیاه، از ذراتی ساخته شده که تا بحال در آزمایشگاه مشاهده نشده اند. شاید ذرات فوق متقارن supersymmetric particles باشند (که از ذرات مدل استاندارد نیستند)، لیکن آثار تشکیل شده در انرژی های بسیار زیاد (در فاز اولیه جهان) و هنوز شناورند.



[منحنی چرخش کهکشان راه شیری Galaxy rotation curve for the Milky Way. محور عمودی، سرعت چرخش به دور مرکز کهکشان است. محور افقی، فاصله از مرکز کهکشان است. خورشید با یک توپ زرد مشخص شده است. منحنی مشاهده شده سرعت چرخش، آبی رنگ است. منحنی پیش بینی شده بر پایه گاز و جرم ستاره ای در راه شیری،

قرمز رنگ است. این اختلاف به دلیل ماده سیاه یا شاید تغییر کوچکی modification در قانون جاذبه است. پراکندگی در مشاهدات، به تقریب با تیرهای خاکستری نشان داده شده است.]

6.2 انرژی سیاه

در کیهان شناسی، انرژی سیاه *dark energy* نامی است که به تاثیر ضد جاذبه *antigravitating influence* داده شده، که در حال سرعت بخشیدن به میزان انبساط جهان *expansion of the universe* است. معلوم شده که ن از ذرات شناخته شده (مانند پروتون ها، نوترون ها یا الکترون ها) ساخته شده و نه از ذرات ماده سیاه، چون اینها همگی اعمال جاذبه می کنند.

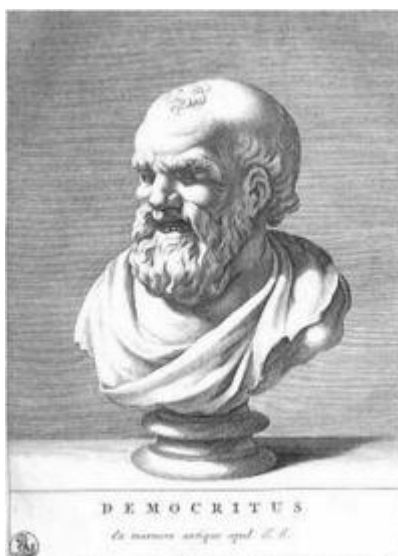
Lee Smolin در صفحه 16 از کتاب *The Trouble with Physics* می نویسد: به نظر می رسد که کاملاً 70 درصد از چگالی ماده *matter density* در جهان (و احتمالاً حتی بیشتر *fully*) به صورت انرژی سیاه باشد. 26 درصد، ماده سیاه است. فقط 4 درصد ماده معمولی *ordinary matter* می باشد. لذا کمتر از 1 قسمت از 20 قسمت، از ماده ای ساخته شده که بطور آزمایشگاهی (یا با تنبیت علمی) مشاهده کرده ایم یا با مدل استاندارد فیزیک ذرات توصیف نموده ایم. درباره 96 درصد دیگر (جدا از خواصی که ذکر شد) مطلقاً چیزی نمی دانیم.

6.3 ماده بیگانه

ماده بیگانه *exotic matter* یک مفهوم فرضی در فیزیک ذرات است. این مفهوم شامل هر ماده ای می شود که یک یا چند شرط کلاسیک *classical conditions* را نقض می کند یا از ذرات باریونیک شناخته شده، ساخته نشده است. چنین موادی دارای کیفیاتی مانند جرم منفی *negative mass* خواهند بود یا به جای جذب توسط جاذبه، دفع می شوند.

واژه نامه

1- بسیاری، دموکریتوس Democritus (تقریباً از 470 تا 380 پیش از میلاد) را "پدر علم مدرن" در نظر می گیرند ... گفته می شود افلاطون Plato (از 428 تا 348 پیش از میلاد) بسیار از او بیزار بود، طوری که آرزو داشت همه کتاب هایش بسوزند! ... این اندیشه که ماده *matter* از بلوک های ساختمانی مجزا ساخته شده، نحسیت توسط فیلسوفان یونانی، لوکیپوس Leucippus (تقریباً 490 پیش از میلاد) و دموکریتوس، پیشنهاد گردید. اتم دموکریتی، یک جامد خنثی *inert solid* است (صرفاً از طریق حجمش، از اجسام دیگر مستثنی) *exclude* می شود) که با اتم های دیگر بطور مکانیکی کنش متقابل دارد (*interact*). در مقابل، اتم های کوآنتوم-مکانیکی و مدرن *modern, quantum-mechanical atoms* توسط میدان های نیروی الکتریکی و مغناطیسی، کنش متقابل دارند و خنثی نمی باشند. ارسطو از اتمیست ها *atomists* به خاطر عدم ارائه توضیحی برای علت حرکت اولیه (یا بی واسطه) *original* اتم ها انتقاد نمود. بنظر می رسد تئوری اتمیست ها- از هر تئوری دیگری متعلق به عهد باستان- به علم مدرن نزدیکتر باشد. به هر حال تئوری های آزان پلیه تجربی واقعی نداشت، لذا باورهایشان عاری از هر شالوده استواری بود. اتمیست ها توضیحات معقولی را برای جهان جستجو می کردند، و لذا می تواند به عنوان کشف فرضیه ای در نظر گرفته شود که دو هزار سال بعد، برخی مدارک یا شواهد برای آن یافت شد.



Helium atom

1 Ångström (= 100,000 fm)

An illustration of the [helium](#) atom, depicting the [nucleus](#) (pink) and the [electron cloud](#) distribution (black). The nucleus (upper right) in helium-4 is in reality spherically symmetric and closely resembles the electron cloud, although for more complicated nuclei this is not always the case. The black bar is one [ångström](#), equal to 10^{-10} m or 100,000 fm.

Classification

Smallest recognized division of a [chemical element](#)

Properties

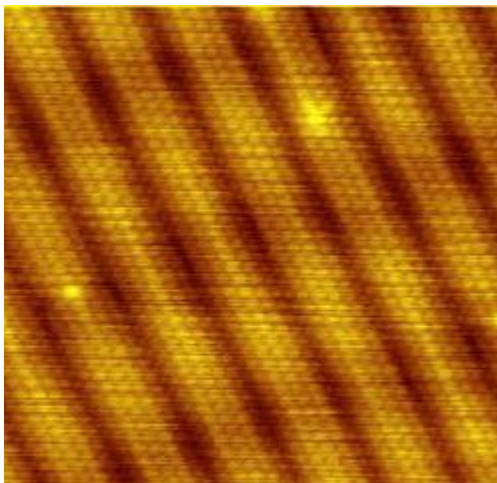
Mass range: 1.67×10^{-27} to 4.52×10^{-25} kg

Electric charge: zero (neutral), or [ion](#) charge

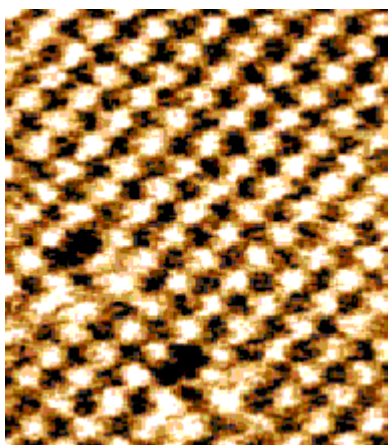
Diameter range: 62 pm ([He](#)) to 520 pm ([Cs](#)) ([data page](#))

Components: [Electrons](#) and a compact [nucleus](#) of [protons](#) and [neutrons](#)

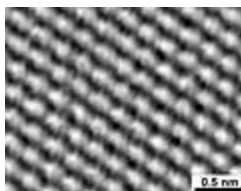
[تصویری از اتم هلیوم، تجسم هسته (صورتی) و توزیع ابر الکترونی (سیاه). هسته سمت راست بالا) در helium-4 در واقعیت بطور کروی متقارن است و مشابه ابر الکترونی می باشد، اگرچه این امر برای هسته های پیچیده تر، همیشه نمونه (ای که روی می دهد) نیست. نوار سیاه، یک آنگستروم معادل با 10^{-10} m یا 100000 fm فمتومتر است. طبقه بندی: کوچکترین بخش شناخته شده یک عنصر شیمیایی]



[تصویر میکروسکوپ اسکنینگ تونلی Scanning tunneling microscope نشان دهنده اتم های منفرد تشکیل دهنده سطح این طلا. بازسازی reconstruction موجب انحراف اتم های سطحی از ساختار کریستالی بزرگ bulk crystal structure و مرتب شدن آنها در ستون هایی به پهنای چندین اتم با حفره هایی pits بین آنها می شود.]



[اتم های سدیم sodium و کلر chlorine در نمک روی میز table salt (تصویر گرفته شده با میکروسکوپ نیروی اتمی Atomic force microscope)]



[اتم های کربن carbon در گرافیت graphite (تصویر گرفته شده با میکروسکوپ اسکنینگ تونلی Scanning tunneling microscope)]

2- اتر aether : (یونان باستان) ماتریالی material است که جهان universe را در بالای کره خاکی (یا زمینی) terrestrial sphere پر می کند. کره خاکی، کره تحت قمری (3) نیز نامیده می شود.

3- کره تحت قمری sublunary sphere : مفهومی ست که از ستاره شناسی یونانی مشتق شده است؛ منطقه ای از کیهان cosmos، از زمین تا ماه که حاوی چهار عنصر کلاسیک می باشد: خاک، آب، هوا و آتش. از ابتدای ماه تا مرزهای جهان universe همه چیز از اتر ساخته شده است. سیارات و ستاره ها در منطقه اتر واقع شده اند، جایی که همه چیز، ابدی permanent و منظم است و همیشه همانطور می ماند unchanging. [واژه اخیر همچنین به معنای " پیروی از اصول یا جریان کنش ثابت در طی زمان " است].
افلاطون Plato و ارسطو به فرمول بندی تئوری کره تحت قمری theory of a sublunary sphere در عهد باستان کمک نمودند.

4- اصل انحصار پاولی Pauli exclusion principle : در هر سیستم توصیف شده با مکانیک کوانتوم، هیچ دو ذره یکسانی، که اسپین (6) spin مساوی با نصف یک عدد صحیح فید دارند، نمی توانند در حالت کوانتومی یکسانی باشند. این اصل ابتداء برای الکترون ها در اتم ها لازم دانسته شد.

5- مکانیک کوانتوم (یا تئوری کوانتوم) quantum mechanics : تئوری ای که بنا بر آن، انرژی محدوده range پیوسته ای از مقادیر ندارد، بلکه بطور ناپیوسته جذب absorbed یا ساطع radiated می شود. به صورت مضاربی از واحدهای معین و غیر قابل تقسیم، که کوانتا quanta نامیده می شوند.
همانطور که تئوری اولیه نشان داد چگونه نور (که عموماً به صورت حرکت یک موج دیده می شود) می تواند به برخی طرق بمثابة امری مرکب از ذرات مجزا (فوتون ها) مشاهده شود، تئوری کوانتوم نشان می دهد که چگونه ذرات اتمی همانند الکترون ها نیز ممکن است بمثابة امری واجد خواص موج- مانند مشاهده شوند. تئوری کوانتوم مبنای فیزیک ذره، شیمی تئوریک مدرن، و فیزیک حالت جامد solid-state physics است که رفتار چیپ های سیلیکون silicon chips را (که در کامپیوترها بکار می روند) توصیف می کند.

این تئوری از 1900 میلادی با تحقیقات فیزیکدان آلمانی، ماکس پلانک (1858-1947) Max Planck بر روی انرژی ساطع شده radiated energy، آغاز گردید و توسط فیزیکدان آمریکایی متولد آلمان، آلبرت اینشتاین (1879-1955) Albert Einstein به تمام رادیاسیون الکترومغناطیسی، شامل نور بسط داده شد.
فیزیکدان دانمارکی، نیلس بور (1885-1962) Niels Bohr آن را برای توضیح طیف نور صادره emitted توسط اتم های هیدروژن برانگیخته excited hydrogen atoms بکار برد. بور فرض کرد که یک اتم ممکن است فقط بصورت تعداد معینی از حالات پایدار stable states وجود داشته باشد: هر یک با مقدار معینی از انرژی که در آن، الکترون ها بدون صدور یا جذب انرژی به دور هسته می گردند. او پیشنهاد کرد که صدور emission یا جذب absorption انرژی فقط با انتقال از یک حالت پایدار به دیگری رخ می دهد. هنگامی که انتقال transition رخ می دهد، الکترونی که به مدار بالاتر تغییر مکان می دهد، انرژی جذب می کند و الکترونی که به مدار پایین تر تغییر مکان می دهد، انرژی صادر می کند. با چنین کاری، تعداد ثابتی از کوانتای انرژی quanta of energy، در یک فرکانس خاص، صادر یا جذب می شود.
تحقیقات بعدی توسط اروین شرودینگر (1887-1961) Erwin Schrödinger، ورنر هایزنبرگ (1901-1976) Werner Heisenberg، پل دیراک (1902-1984) Paul Dirac و دیگران، تئوری را بدقت به صورت آنچه که مکانیک کوانتوم (یا مکانیک موج wave mechanics) نامیده می شود، طراحی نمود.

[کوانتوم quantum : مقدار مشخصی از انرژی که با جذب و صدور انرژی توسط یک اتم مرتبط است.
1) کوچکترین مقدار انرژی ساطع شده radiant، معادل با ثابت پلانک (7) Planck's constant ضربدر فرکانس (تشعشع رادیاسیون) مربوطه.

2) واحد اساسی بزرگی magnitude فیزیکی کوانتایی به مثابه مومنتوم (اندازه حرکت (8)) زاویه ای (9) angular momentum.]

6- اسپین spin : (این واژه به معنای چرخش به دور خود است- م)؛ مومنتوم زاویه ای ذاتی (intrinsic) که مشخصه هر نوع ذره بنیادی است. هرگاه در واحد ثابت پلانک بر 2π اندازه گیری شود، هر ذره واجد یکی از مقادیر $0, 1/2, 1, 3/2, \dots$ می شود.

7- ثابت پلانک: توسط ماکس پلانک (1858-1944) Max Planck فیزیکدان آلمانی معین گردید. ثابت بنیادی مکانیک کوانتوم، بیانگر نسبت انرژی یک کوانتوم رادیاسیون به فرکانس رادیاسیون. معادل با (joule seconds) $6.62606896(33) \times 10^{-34}$ ؛ علامت آن h است.

8- مومنتوم (اندازه حرکت) momentum : در مکانیک، کمیتی بیانگر حرکت یک جسم یا سیستم، معادل با حاصلضرب جرم جسم و سرعت آن؛ و برای یک سیستم معادل است با جمع برداری حاصلضرب جرم و سرعت هر ذره در سیستم.

9- مومنتوم زاویه ای angular momentum : حاصلضرب گشتاور (یا مومنت اینرسی (10) moment of inertia) یک جسم حول یک محور و سرعت زاویه ای (11) آن نسبت به همان محور. مومنت (12) مومنتوم moment of momentum نیز نامیده شده است.

10- moment of inertia (گشتاور): مجموع حاصلضرب های جرم و مربع (توان دوم) فاصله عمودی هر ذره با محور چرخش در یک جسم گردنده حول یک محور.

11- سرعت زاویه ای angular velocity: میزان تغییر مکان زاویه ای angular position یک جسم چرخنده، در واحد زمان. معمولاً بصورت رادیان در ثانیه (یا دقیقه) بیان می شود.

12- مومنت moment:

(1) مدت زمان کوتاه و غیرقابل اندازه گیری (نا معین)؛ یک آن.

(2) در مکانیک: الف) تمایلی به ایجاد حرکت، بویژه حول یک محور axis.

ب) حاصلضرب یک کمیت فیزیکی و فاصله صریح directed distance آن از یک محور: مانند مومنت مساحت moment of area، مومنت جرم moment of mass.

(3) در آمار: مقدار متوسط یا احتمالی حاصلضرب، که از ضرب نمودن یک نیروی معین در مجموعه ای از یک یا چند متغیر تشکیل است.

(4) در فلسفه: الف) یک جنبه aspect از چیزی.

ب) معنای مهجور: یک عامل اساسی یا تشکیل دهنده.

(5) زمان حال یا هر زمان خاص دیگری (معمولاً پیش از آن the می آید).

(6) یک دوره یا مرحله معین، برای مثال در جریانی از رویدادها؛ برهه، موقع.

13- spinor: کمیتی شبیه بردار (14)، که در فیزیک برای نشان دادن اسپین فرمیون ها بکار می رود.

14- کمیت برداری vector quantity: کمیتی که دارای بزرگی (اندازه) (magnitude (size)) و جهت (هر دو) است؛ مانند تندی velocity (تندی، سرعت شیء در جهتی معین است- م)، شتاب acceleration، نیرو force. بردار با یک فلش نشان داده می شود که جهت آن، جهت کمیت را نشان می دهد و طول فلش متناسب با بزرگی است.

(کمیت اسکالر scalar quantity: کمیتی که فقط دارای بزرگی است و جهت ندارد؛ مانند سرعت speed، جرم، دما)

15- میدان اسکالر scalar field: ناحیه ای که به هر نقطه، یک عدد اختصاص داده می شود.

16- ذره هیگز Higgs particle: نوعی فرضی از ذره سنگین، از نظر الکتریکی خنثی، با اسپین صفر؛ Higgs boson نیز نامیده می شود. فیزیکدان انگلیسی بنام Peter W. Higgs (متولد 1929) وجود آن را فرضیه سازی نمود.

17- الکترون: نگاترون negatron نیز نامیده شده. ذره ای بنیادی که یک سازه constituent اساسی ماده است. بار الکتریکی منفی معادل $-1.602176487(40) \times 10^{-19}$ C کلمب coulomb، جرم $9.10938215(45) \times 10^{-31}$ kg و اسپین $1/2$ دارد، و بطور مستقل یا به عنوان یک جزء، بیرون از هسته یک اتم وجود دارد.

(کلمب: واحد SI (استانداردهای بین المللی) مقدار الکتریسیته electricity، معادل با مقدار بار الکتریکی منتقل شده در یک ثانیه، از یک هادی که در آن جریان ثابتی به اندازه یک آمپر وجود دارد.

18- پروتون: ذره ای بنیادی با بار الکتریکی (یا شارژ) charge مثبت، که سازه اساسی تمام هسته های اتمی است. سبکترین و پایدارترین باریون (19) است که از نظر بزرگی، شارژی مساوی با شارژ الکترون دارد. اسپین آن $1/2$ و جرم آن $1.672621637(83) \times 10^{-27}$ kg است. علامت آن P است.

19- باریون baryon: یک پروتون، نوترون یا هر ذره بنیادی که به مجموعه ای از ذرات که شامل یک پروتون است، زوال decay می یابد.

20- نوترون: ذره ای بنیادی که بار الکتریکی ندارد؛ جرم آن اندکی بزرگتر از جرم پروتون و اسپین آن $1/2$ است. جزء تشکیل دهنده هسته تمام اتم ها بجز هسته هیدروژن. علامت آن n است.

21- کوآرک: ذره بنیادی که جزء اساسی تشکیل دهنده همه هادرون هاست. (هادرون ها hadrons: ذرات زیر اتمی subatomic که تحت تأثیر نیروی هسته ای قوی strong nuclear force قرار دارند و به باریون ها) مانند نوترون ها و پروتون ها، و مزون ها تقسیم می شوند.)

کوآرک ها، شارژهای الکتریکی ای electric charges دارند که کسری از شارژ الکترونی ($+2/3$ یا $-1/3$) شارژ الکترونی

up, down, top, bottom, strange, charmed) است. شش نوع type یا 'طعم' flavour کوارک وجود دارد: قرمز، سبز، آبی. هر یک از آنها سه گونه (variety) یا 'رنگ' (51) colour دارد: قرمز، سبز، آبی.

[طعم یا رنگی در کار نیست و این دو صرفاً تشبیه اند - م]

کوارک ها بوسیله مبادله ذراتی بنام گلوئون gluon برهم اثر می کنند (interact)؛ این ذرات، حامل نیروی هسته ای قوی می باشند و نقش آنها 'چسباندن' کوارک ها به یکدیگر است. برای هر کوارک، یک ضد ذره وجود دارد که آنتی کوارک نامیده می شود. مزون ها، جفت های کوارک- آنتی کوارک هستند و باریون ها، سه تایی های triplets کوارکی می باشند.

22- نیروهای بنیادی fundamental forces: چهار کنش (یا تأثیر) متقابل interaction بنیادی (به عنوان کنش هایی که در جهان فیزیکی در کارند) شناخته شده اند. این چهار نیروی بنیادی طبیعت عبارتند از: جاذبه gravity یا نیروی جاذبه ای gravitational force، نیروی الکترومغناطیسی electromagnetic force، نیروی هسته ای ضعیف weak nuclear force، نیروی هسته ای قوی strong nuclear force.

قوت نسبی relative strength آنها چنین است: قوی یا 1 strong؛ الکترومغناطیسی 10^{-2} (یک صدم)؛ ضعیف یا 10^{-6} (یک میلیونیم)؛ جاذبه ای یا gravitational 10^{-40} . نیروی جاذبه ضعیفترین آنهاست، اما در فواصل بزرگ اثر می کند.

دو نیروی جاذبه و الکترومغناطیسی، دامنه بلند long-range دارند. نیروی جاذبه، سیارات را در مدارشان به دور خورشید نگه می دارد و میان همه ذراتی که جرم دارند، اثر می کند. جاذبه بر تمام ماده اثر می گذارد. ذره ای که به عنوان حامل carrier این نیرو فرض می شود، گراویتون graviton نامیده می شود. نیروی الکترومغناطیسی مانع جدا شدن و تفکیک جامدات به تکه های کوچک می شود؛ میان همه ذرات واجد بار الکتریکی اثر می کند و به مبادله بوسون های gauge، موسوم به فوتون ها، در بین این ذرات مربوط می شود.

دو نیروی هسته ای ضعیف و هسته ای قوی، دامنه بسیار کوتاه very short-range دارند و در فواصلی که به اندازه هسته اتم می باشند، اثر می کنند. نیروی هسته ای ضعیف، مسئول واکنش ه ایی است که به خورشید سوخت می دهد و نیز موجب تلاشی رادیواکتیو بتا (صدور ذرات بتا توسط برخی ذرات) radioactive beta decay و دیگر واکنش های زیر اتمی subatomic می شود. ذراتی که این نیرو را حمل می کنند، ویکون ها weakons (یا بوسون های وکتور میانجی intermediate vector bosons) نامیده می شوند، که شامل ذرات W با بار الکتریکی مثبت یا منفی (W^+ , W^-) و ذره خنثای Z می باشند. بعبارت دیگر، این ذرات، نیروی هسته ای ضعیف را میانجی گری می کنند.

نیروی هسته ای قوی که قوی ترین همه نیروهاست، فقط در فواصل بسیار کوچک درون هسته اتم (10^{-13}) اثر می کند و مسئول پیوند کوارک ها به یکدیگر جهت تشکیل هادرون هاست و نیز پروتون ها و نوترون ها را در هسته اتمی به یکدیگر پیوند می دهد. در 1935 میلادی، فیزیکدان ژاپنی بنام Hideki Yukawa پیشنهاد کرد که نیروی هسته ای قوی (به عنوان پیوند دهنده پروتون ها و نوترون ها به یکدیگر در هسته) توسط مبادله ذراتی به جرم تقریباً یک دهم پروتون منتقل می شود. این ذرات که pions (در اصل pi mesons) نامیده می شوند، در 1946 میلادی کشف شدند.

از 1973 میلادی، تئوری (QCD) quantum chromodynamics جایگزین تئوری یوکاوا شد که چنین فرض می کند که این نیرو توسط مبادله بوسون های gauge موسوم به گلوئون، منتقل می شود. این مبادله بین کوارک ها و آنتی کوارک های تشکیل دهنده پروتون ها و نوترون ها صورت می گیرد. بنابراین، ذره ای که حامل این نیروست، گلوئون می باشد، که هشت نوع از آن (هر یک با جرم و بار الکتریکی صفر) وجود دارد.

فیزیکدانها، پیش از 1971 میلادی، تئوری ای را ارائه دادند که پیشنهاد می کرد نیروهای ضعیف و الکترومغناطیسی، جنبه ها (یا صور) aspects یک نیروی واحد بنام نیروی الکترو ضعیف electroweak force هستند. این امر در 1980 در آزمایشگاه CERN (که در نزدیکی ژنو Geneva در سوئیس واقع است) تأیید شد. فیزیکدانها اکنون روی تئوری هایی جهت یکی کردن هر چهار نیرو کار می کنند.

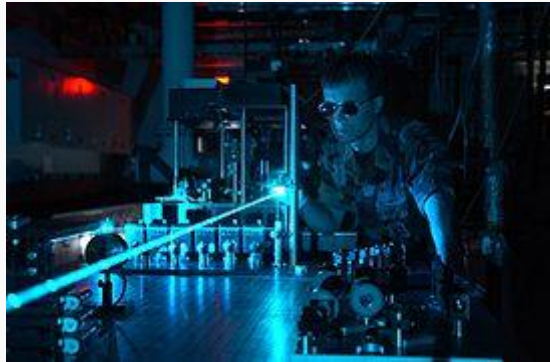
[CERN : سازمان اروپایی تحقیقات فیزیک ذره European particle physics research organization]

23- فوتون photon: یک کوآنتوم از رادیاسیون (تشنشع) الکترومغناطیسی، که معمولاً به عنوان یک ذره بنیادی در نظر گرفته می شود که ضد ذره خودش (its own antiparticle) است. فوتون، یکی از بوسون های gauge است و حامل نیروی الکترومغناطیسی می باشد که یکی از نیروهای بنیادی طبیعت است. جرم در حال سکون (rest mass) و نیز بار الکتریکی آن صفر و اسپین آن یک است. دارای مومنتوم (اندازه حرکت) momentum و انرژی می باشد. طبق تئوری کوآنتوم، انرژی یک فوتون از فرمول $E = hf$ بدست می آید، که h ثابت پلانک و Planck's constant و f فرکانس رادیاسیون صادره است. فوتون ها (مانند الکترون ها) هم بصورت امواج و هم بصورت ذرات ظاهر می شوند. علامت فوتون γ است. کوآنتوم نور light quantum نیز نامیده می شود.

از Wikipedia: در فیزیک، فوتون یک ذره بنیادی، کوآنتوم کنش متقابل الکترومغناطیسی و واحد اساسی نور و همه دیگر فرم های رادیاسیون الکترومغناطیسی است. همچنین، حامل نیرو force carrier برای نیروی الکترومغناطیسی است. اثرات این نیرو به آسانی در هر دو سطح میکروسکوپی و ماکروسکوپی قابل مشاهده اند، زیرا فوتون جرم در حال سکون ندارد؛ این امر، کنش های متقابل در فواصل

دور را ممکن می‌کند. مانند همه ذرات بنیادی، فوتون‌ها تابع مکانیک کوانتوم می‌باشند و (لذا) دوگانگی موج-ذره را نشان خواهند داد. خواص امواج و ذرات، هر دو را نشان می‌دهند. برای مثال، یک فوتون واحد ممکن است توسط لنزی شکسته شود یا با خودش تداخل موج نشان دهد، ولی ممکن است به عنوان یک ذره نیز عمل نماید و هنگامی که مومنتوم کوانتایی quantitative momentum اندازه‌گیری می‌شود، نتیجه‌ای معین دهد.

Photon



Photons emitted in a [coherent](#) beam from a [laser](#)

Composition:	Elementary particle
Particle statistics:	Bosonic
Group:	Gauge boson
Interaction:	Electromagnetic
Symbol(s):	γ , $h\nu$, or $\hbar\omega$
Theorized:	Albert Einstein
Mass:	0 $<1 \times 10^{-18} \text{ eV}^{[1]}$
Mean lifetime:	Stable ^[1]
Electric charge:	0 $<1 \times 10^{-35} \text{ e}^{[1]}$
Spin:	1

[فوتون‌های صادر شده از یک لیزر بصورت پرتوی coherent (مربوط به امواج نور که فرکانس یکسانی دارند و در جهت یکسانی حرکت می‌کنند).]

24- بوسون boson : هر ذره ای که از آمار بوس-آیشتاین bose-Einstein statistics تبعیت می کند. بوسون ها، اسپین های صحیح integral spins دارند: $0, 1, 2, \dots$ ؛ نام فیزیکدان هندی S. N. Bose (1894-1974) را بر این ذرات نهاده اند.

[بوسون gauge boson (gauge boson) یا ذره میدانی field particle : هر یک از ذراتی که چهار نیروی بنیادی طبیعت را حمل می کنند. بوسون های gauge ، ذراتی بنیادی هستند که نمی توانند تقسیم شوند و شامل فوتون، گراویتون graviton ، گلئون ها، و (W^+, W^-, Z) intermediate vector bosons می باشند. ذرات بنیادینی (مانند کوآرک ها) که کنش های متقابل شان با تئوری gauge توصیف می شود، توسط مبادله بوسون های gauge بر یکدیگر اعمال نیرو می کنند. گلئون، نیروی هسته ای قوی را حمل می کند؛ فوتون، حامل نیروی الکترومغناطیسی است؛ W^+, W^- و Z ، نیروی هسته ای ضعیف را حمل می کند؛ و گراویتون (که تاکنون مشاهده نشده) حامل نیروی جاذبه gravity است. البته، آخرین داده ها حاکی از آن است که معلوم نیست این ذره (ی تئوریک)، بوسون gauge خواهد بود یا نه.]

25- کوتوله سفید: ستاره داغ و کوچک؛ آخرین مرحله در زندگی یک ستاره. کوتوله های سفید 10% درصد ستاره ها در کهکشان را تشکیل می دهند. اکثراً 60% درصد جرم خورشید، جرم دارند، اما قطرشان فقط 1% درصد قطر خورشید است. از نظر اندازه، مشابه با زمین هستند. اکثراً دمای سطح $8000^\circ C$ ($14400^\circ F$) یا بیشتر دارند؛ داغتر از خورشید. هرچند کوچک هستند، اما درخشش آنها ممکن است کمتر از 1% درخشش خورشید باشد. کهکشان راه شیری بطور تخمینی 50 میلیارد کوتوله سفید دارد.

26- گلئون gluon : ذره ای بدون جرم ، بدون بار الکتریکی و غیرقابل مشاهده، با اسپین 1 که گمان می رود نیروی قوی strong force را بین کوآرک ها منتقل می کند و آنها را در داخل باریون ها و مزون ها mesons به یکدیگر پیوند می دهد. هشت نوع گلئون وجود دارد. [gluon از ریشه glue به معنای چسب و چسباندن است- م]

27- فرمیون: هر ذره ای که از اصل انحصار پاولی و آمار فرمی-دیراک Fermi-Dirac statistics تبعیت می کند. فرمیون ها، اسپین هایی دارند که نصف یک عدد صحیح فرد است: $1/2, 3/2, 5/2, \dots$

28- نوترینو: هر یک از لپتون های از لحاظ الکتریکی خنثی و بدون جرم یا تقریباً بدون جرم. در ارتباط با هر لپتون واجد جرم massive ، نوع مجزایی از نوترینو وجود دارد.

29- هادرون hadron : هر ذره بنیادی که مشمول کنش متقابل قوی است. هر هادرون از دو یا سه ذره غیر قابل تقسیم بنام کوآرک تشکیل شده است. هادرون ها بباریون ها و مزون ها (30) تقسیم می شوند. باریون ها (پروتون ها، نوترون ها و هیپرون ها hyperons) با اسپین های نصف یک عدد صحیح half-integral spins شامل سه کوآرک، و مزون ها با اسپین های whole-number یا صفر، شامل دو کوآرک می باشند.

30- مزون meson : هر هادرون، یا ذره قویاً کنش متقابل کننده strongly interacting، غیر از باریون. مزون ها، بوسون هستند، اسپین های $0, 1, 2, \dots$ دارند و برخلاف باریون ها، از قانون بقا (31) پیروی نمی کنند.

31- قانون بقا: هر قانون بقا بیانگر آن است که برخی کمیت ها یا خواص در طی و پس از یک فعل و انفعال interaction یا فرآیند process ، ثابت می مانند؛ مانند بقای بار الکتریکی charge یا بقای مومنتوم خطی.

32- پیوستگی cohesion : نیروی مولکولی بین ذرات در داخل یک جسم یا ماده، که برای بهم پیوستن آنها عمل می کند.

33- چسبندگی viscosity : (1) خاصیت یک مایع که در برابر نیروی متمایل به جاری نمودن flow آن، مقاومت می کند. (2) اندازه گیری محدوده ای که در آن مایع، دارای این خاصیت است.

34- اینرسی inertia : (1) خاصیتی که به توسط آن، ماده حالت سکون یا تنیدی خود را در امتداد خطی راست (تا زمانی که توسط نیروی خارجی، کنشی بر آن صورت نگیرد) حفظ می کند.

(2) خاصیتی مشابه در رابطه با یک نیرو: اینرسی الکتریکی electric inertia.

35- یون ion : (1) اتم یا گروهی از اتم های باردار (از لحاظ الکتریکی electrically charged) که با از دست دادن یا گرفتن یک یا چند الکترون شکل گرفته اند، مانند یک کاتیون cation (یون مثبت positive ion) که با از دست دادن الکترون ایجاد و در الکترولیز، جذب کاتد cathode می شود (کاتد منفی است- م)، یا مانند یک آنیون anion (یون منفی negative ion) که با کسب الکترون ایجاد و جذب آند anode می شود (آند مثبت است- م). ظرفیت شیمیایی (valence) یک یون، معادل با تعداد الکترون های از دست رفته یا گرفته شده، می باشد و با علامت مثبت برای کاتیون ها و علامت منفی برای آنیون ها نشان داده می شود، بدینسان: $Na^+, Cl^-, Ca^{2+}, S^{2-}$.

2) یکی از ذرات باردار (از لحاظ الکتریکی) که در یک گاز، بوسیله تخلیه الکتریکی electric discharge یا مانند آن، شکل گرفته است.

36- قانون کلمب Coulomb's law: اصلی که نیروی بین دو بار الکتریکی نقطه ای point charges در جهت خط بین آنها تأثیر می کند و مستقیماً متناسب است با: حاصلضرب بار الکتریکی آنها تقسیم بر مربع فاصله بین آنها.

37- یونوسفر ionosphere: ناحیه ای از اتمسفر (یا جو) زمین، بین استراتوسفر stratosphere و اگزوسفر exosphere، شامل چند لایه یونیزه؛ از حدود 50 تا 250 مایلی (80 تا 400 کیلومتری) بالای سطح زمین امتداد دارد.

38- دوتریوم deuterium: یک ایزوتوپ (40) هیدروژن، که دو برابر هیدروژن معمولی جرم دارد؛ هیدروژن سنگین. علامت آن D است. وزن اتمی 2.01 و عدد اتمی آن 1 است.

39- تریتیوم tritium: یک ایزوتوپ هیدروژن که وزن اتمی آن 3 است.

40- ایزوتوپ isotope: هر دو یا چند فرم از یک عنصر شیمیایی که دارای تعداد یکسانی پروتون در هسته (یا عدد اتمی (41) یکسان) می باشند، اما تعداد متفاوتی نوترون در هسته (یا وزن اتمی (42) متفاوت) دارند. 275 ایزوتوپ از 81 عنصر پایدار وجود دارد، علاوه بر بیش از 800 ایزوتوپ رادیو اکتیو. هر عنصر، فرم های ایزوتوپی شناخته شده ای دارد. ایزوتوپ های یک عنصر واحد، تقریباً خواص یکسانی دارند.

41- عدد اتمی atomic number: تعداد بارهای الکتریکی مثبت یا پروتون ها در هسته یک اتم از یک عنصر، و لذا همچنین تعداد الکترون هایی که بطور نرمال، هسته را احاطه نموده اند. [تعداد پروتون ها و الکترون ها در یک اتم، بطور نرمال مساوی اند- م]

42- وزن اتمی atomic weight: وزن متوسط یک اتم از یک عنصر بر مبنای یک دوازدهم وزن اتمی کربن 12 (Carbon-12).

43- رادیواکتیویته radioactivity: پدیده صدور خود بخودی تشعشع radiation، که از تغییرات در هسته های اتم های یک عنصر ناشی می شود. این پدیده توسط عناصر معینی نشان داده می شود و خاصیت آنهاست.

44- کلونین Kelvin: 1) واحد پایه ای SI (استانداردهای بین المللی) برای دما، که $1/273.15$ نقطه سه گانه آب تعریف می شود. (نقطه سه گانه triple point: دما و فشار خاصی که در آن، فازهای جامد، مایع و گاز یک ماده همگی در تعادل با یکدیگرند.)

2) در ترمودینامیک: دال بر یا مربوط به یک مقیاس مطلق دما (45) (مقیاس کلونین) که در آن، فواصل درجات مساوی با فواصل مقیاس سلسیوس است و نقطه سه گانه آب، مقدار 273.15 K کلونین را دارد.

45- مقیاس مطلق دما absolute temperature scale: (در ترمودینامیک) هنگامی که دما (دمای مطلق) با مقیاسی اندازه گیری می شود که در آن به پایین ترین حد فرضی دماهای فیزیکی، مقدار صفر اختصاص داده می شود (صفر مطلق (46))؛ مانند مقیاس کلونین. مقیاس مطلق نیز نامیده می شود.

46- صفر مطلق: دمایی تئوریک است که در آن، انرژی به مقدار مینیمم اش می رسد. قوانین ترمودینامیک می گویند که نمی توان به صفر مطلق رسید، زیرا این امر مستلزم بیرون کشیدن کامل یک سیستم ترمودینامیک از بقیه جهان است. سیستم در صفر مطلق باز هم دارای انرژی مکانیک کوانتومی نقطه صفر است (quantum mechanical zero-point energy). اگرچه در صفر مطلق، حرکت مولکولی کاملاً متوقف نمی شود، اما سیستم انرژی کافی برای انتقال به دیگر سیستم ها ندارد. لذا درست آن است که بگوییم در صفر مطلق، انرژی جنبشی مولکولی molecular kinetic energy بسیار کم است.

با توافق بین المللی، صفر مطلق بصورت 0 K در مقیاس کلونین Kelvin scale و بصورت -273.15°C در مقیاس سلسیوس Celsius scale تعریف می شود، که تقریباً با -459.67°F در مقیاس فارنهایت Fahrenheit scale برابری می کند. دانشمندان به دماهای بسیار نزدیک به صفر مطلق رسیده اند، که در آنها ماده آثار کوانتومی مانند ابررسانایی و ابرسیالی superfluidity نشان می دهد.

47- کیرال chiral: در شیمی. کیرال (یک مولکول): آنچه قابل قرارگیری بر روی تصویر آینه ای mirror image آن نیست.

48- سولار ماسیس solar masses: واحدی معادل با جرم خورشید که بر مبنای آن، جرم ستارگان و دیگر چیزهای آسمانی بیان می شوند، مانند: سیاهچالی به جرم یک میلیون سولار ماسیس.

49- Chandrasekhar limit : حد جرمی که بیشتر از آن، ستاره جرم بسیار زیادی (پس از کلاپس collapse جاذبه ای) دارد و نمی تواند به کوتوله سفید white dwarf بدل شود؛ تقریباً 1.44 سولار ماسیس است.

50- فیوژن (جوش) fusion : فیوژن هسته ای nuclear fusion نیز نامیده می شود. یک واکنش ترمونوکلئار (حرارتی- هسته ای) thermonuclear که در آن، هسته های اتم های سبک جهت تشکیل هسته های اتم های سنگین تر بهم می پیوندند؛ مانند ترکیب اتم های دوتریوم برای تشکیل اتم های هلیوم.

[راکتور فیوژنی fusion reactor : راکتوری برای تولید انرژی اتمی توسط فیوژن هسته ای.

بمب فیوژنی (بمب هیدروژنی): بمبی قوی تر از بمب اتمی که انرژی انفجاری آن از واکنش فیوژنی ترمونوکلئار ایزوتوپ های هیدروژن ناشی می شود. بمب هیدروژنی، بمب ترمونوکلئار نیز نامیده می شود.

شکافت fission : شکافت هسته ای nuclear fission نیز نامیده می شود. شکافتن هسته ای اتم به هسته های اتم های سبکتر، که همراه با آزاد شدن انرژی است.

بمب اتمی: 1) بمبی که قدرت آن از شکافت هسته ای اتم ه ای ماده قابل شکافت ناشی می شود، که تبدیل بخشی از جرم آنها به انرژی را بدنبال دارد.

2) بمبی که نیروی انفجاری آن از یک واکنش زنجیره ای مبتنی بر شکافت هسته ای در U-235 یا پلوتونیوم Plutonium ناشی می شود.]

51- رنگ colour : در فیزیک ذره بنیادی، خاصیتی از کوارک ها مشابه با بار الکتریکی electric charge ، اما واجد سه حالت state ، که با قرمز، سبز و آبی مشخص می شود. وقتی کوارک، یک گلئون gluon را صادر یا جذب می کند، رنگ آن تغییر می کند. این واژه ربطی به رنگ در م عنای معمول آن ندارد.

52- ابررسانایی superconductivity : پدیده رسانایی تقریباً کامل که توسط مواد معینی در دماهایی نزدیک به صفر مطلق absolute zero رخ می دهد. کشف موادی که در دماهای صدها درجه بالای صفر مطلق، سوپرهادی هستند، احتمال توسعه انقلابی در تولید و انتقال انرژی الکتریکی را افزایش می دهد.

53- ضد ذره antiparticle : ذره ای که با یک ذره اصلی معین، از نظر جرم و خواص برابر است، اما بار الکتریکی و خواص مغناطیسی متضادی دارد، یا به نیروهای بنیادی دیگری متصل است. برای مثال، الکترون یک بار الکتریکی منفی را حمل می کند، در حالی که ضد ذره آن (پوزیترون) یک بار مثبت را حمل می کند. وقتی یک ذره و ضد ذره آن با هم برخورد می کنند، یکدیگر را در فرآیندی موسوم به نابودی annihilation از بین می برند و انرژی کل آنها به ذرات سبکتر و/ یا فوتون ها تبدیل می شود. ماده ای که تماماً مرکب از ضد ذرات باشد، ضد ماده (54) نامیده می شود.

54- ضد ماده: فرمی از ماده که در آن اکثر محمول های attributes ذرات بنیادی (مانند بار الکتریکی، مومنت مغناطیسی magnetic moment و اسپین spin) معکوس می باشند. این ضد ذرات می توانند در شتاب دهنده های ذره particle accelerators (همانند آنهایی که در CERN واقع در سوئیس و Fermilab در آمریکا وجود دارند) ایجاد شوند. در 1996 میلادی فیزیکدانها در CERN اولین اتم های ضد ماده را ایجاد نمودند: 9 اتم آنتی هیدروژن antihydrogen که 40 نانوثانیه (40 میلیاردیم یک ثانیه) بقاء داشتند.

55- انفجار بزرگ (مه بانگ) Big Bang : در ستاره شناسی، رویداد انفجاری فرضی که منشأ جهان (آنگونه که می شناسیم) را مشخص می کند. در زمان مه بانگ، تمام جهان به حالت فوق متراکم و داغ فشرده شده بود. انفجار مه بانگ، این ماده بهم فشرده را بیرون ریخت و جهان منبسط شونده ای را (که امروز دیده می شود) ایجاد نمود. علت مه بانگ نامعلوم است. مشاهده میزان جاری انبساط جهان پیشنهاد می کند که مه بانگ در حدود 20-10 میلیارد سال پیش به وقوع پیوست. تئوری مه بانگ، آغاز کیهان شناسی مدرن است. طبق یک تفسیر تعدیل شده modified version مه بانگ، که تئوری تورم inflationary theory نامیده می شود، جهان به فاصله کوتاهی پس از انفجار بزرگ، دستخوش دوره انبساط سریعی شد، که دلیل اندازه بزرگ فعلی و طبیعت یکنواخت uniform nature آن می باشد. تئوری تورم توسط متأخرترین مشاهدات رادیاسهون زمینه ای کیهانی cosmic background radiation تقویت می شود.

دانشمندان محاسبه کرده اند که 10^{-36} ثانیه قبل از مه بانگ، جهان به اندازه یک نخود pea و دما 10 میلیارد میلیون میلیون درجه سانتی گراد (یا 18 میلیارد میلیون میلیون درجه فارنهایت) بود. یک ثانیه پس از مه بانگ، دما در حدود 10 میلیارد درجه سانتی گراد (18 میلیارد درجه فارنهایت) بود.

بر مبنای تئوری، یک دهم ثانیه پس از مه بانگ، دما و فشار بس- میلیونها درجه کاهش یافته بود و لذا تشکیل ذرات زیر اتمی subatomic

را ممکن ساخت. پس از 10 ثانیه، نوترون ها با پروتون ها جهت تشکیل هسته های دوتریوم deuterium (ایزوتوپی از هیدروژن) ترکیب شده بودند. سپس، هسته های دوتریوم برای تشکیل هسته های هلیوم helium بهم پیوستند.

وقتی جهان برای 300000 سال بعد، به انبساط ادامه داد، دما به 10000°C (یا 18000°F) رسید. تحت این شرایط، هسته های هلیوم قادر به پیوستن به الکترون ها بودند تا اتم های هلیوم را تشکیل دهند. همچنین، هسته های هیدروژن برای تشکیل هسته های لیتیم lithium (و پس از آن جهت تشکیل اتم های لیتیم) بهم پیوستند. پس از میلیونها سال، در دما و فشار کمتر، نیروی جاذبه قادر به جذب ذرات به یکدیگر بود.

پس از میلیونها سال دیگر، جهان بصورت ماده خوشه ای clumped matter در آمد، که برای تشکیل کهکشان ها، ستاره ها، سیارات و اقمار به یکدیگر پیوستند.

اولین تصاویر تفصیلی جهان، آنگونه که 300000 سال پس از مه بانگ وجود داشته، در آوریل 2000 میلادی توسط NASA منتشر شد. این تصاویر با ترسیم رادیاسیون زمینه ای کیهانی خلق شدند.

[NASA : اداره ملی فضا و هوانوردی آمریکا US National Aeronautics and Space Administration]

56- جرم mass : در فیزیک، جرم عموماً به هر یک از این سه خاصیت ماده matter اطلاق می شود، که با آزمایش نشان داده شده که هم ارز equivalent می باشند: جرم اینرشیال inertial mass ، جرم جاذبه ای فعال active gravitational mass ، و جرم جاذبه ای پاسیو (منفعل) passive gravitational mass . در کاربرد روزمره، جرم اغلب به معنی وزن weight گرفته می شود، اما در کاربرد علمی، آن دو درباره خواص متفاوتی سخن می گویند.

جرم اینرشیال یک شیء، شتاب acceleration آن را در حضور نیروی اعمال شده، معین می کند. [شتاب، میزان تغییر تندی velocity در واحد زمان است- م] طبق قانون دوم ایزاک نیوتن Isaac Newton درباره حرکت، اگر جسمی به جرم m در معرض نیروی \mathbf{F} واقع شود، شتاب آن \mathbf{a} ، توسط $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ (تقسیم بر m) معین می شود.

جرم یک جسم همچنین مقداری را که جسم، میدان جاذبه gravitational field ایجاد می کند یا توسط یک میدان جاذبه متأثر می شود، معین می کند. [اگر جسم اول به جرم m_1 در فاصله r از جسم دوم به جرم m_2 واقع شده باشد، جسم اول با نیروی جاذبه F متأثر می شود، که با:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

بدست داده می شود. G ثابت جهانی جاذبه universal constant of gravitation است، که مساوی با $6.67 \times 10^{-11} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$ است. به این جرم گاهی جرم جاذبه ای gravitational mass اطلاق می شود (هنگامی که افتراق، ضروری باشد، M برای مشخص نمودن جرم جاذبه ای فعال و m برای جرم جاذبه ای پاسیو بکار برده می شود). از قرن هفدهم تا به حال، آزمایشات مکرر نشان داده اند که جرم اینرشیال و جرم جاذبه ای، هم ارز می باشند؛ این امر در اصل هم ارزی نسبیت عمومی equivalence principle of general relativity استلزام یافته است.

نسبیت خاص special relativity ، رابطه ای را میان جرم یک جسم و انرژی آن ($E = mc^2$) برقرار می کند. جرم، کمیتی واجد بقاء conserved quantity است. از دید هر ناظر واحد، جرم نه می تواند خلق شود و نه نابود شود، و نسبیت خاص، این فهم را تغییر نمی دهد. اما نسبیت، این حقیقت را اضافه می کند که همه انواع انرژی، یک جرم مرتبط associated mass دارند، و هنگامی که انرژی اضافه می شود، این جرم به سیستم ها اضافه می شود، و هنگامی که انرژی آزاد می شود، جرم مرتبط، از سیستم ها کاسته می شود. برای مثال، در واکنش های هسته ای nuclear reactions سیستم کم جرم تر نمی شود، تا این که انرژی آزاد شده توسط واکنش اجازه می یابد سیستم را ترک کند که به موجب آن، "جرم از دست رفته" missing mass با انرژی منتقل می شود، که خودش جرم دارد.

بر سطح زمین، وزن W یک شیء توسط معادله $W = mg$ با جرم آن m مرتبط می شود، که g شتاب ناشی از جاذبه زمین acceleration due to the Earth's gravity است که تقریباً مساوی 9.81 m s^{-2} می باشد. وزن یک شیء به محیط آن بستگی دارد، در صورتی که جرم آن چنین نیست: شینی به جرم 50 کیلوگرم kilograms ، 491 نیوتن newtons بر روی سطح زمین وزن دارد؛ بر سطح ماه Moon ، همان شیء باز هم جرم 50 کیلوگرم را دارد، اما فقط 81.5 نیوتن وزن دارد.

خلاصه پدیده های مرتبط با جرم: در علم فیزیکی physical science ، شخص ممکن است میان حداقل هفت امر منتسب به جرم، یا هفت پدیده فیزیکی (که می توانند با کاربرد مفهوم جرم توضیح داده شوند) ادراکاً تمایز قائل شود:

مقدار ماده Amount of matter در انواع معینی از نمونه ها می تواند به درستی از طریق electrodeposition یا دیگر روندهای دقیق

معین گردد. جرم یک نمونه صحیح exact، بخشی توسط تعداد و نوع اتم ها یا مولکول هایی که دارد، معین می شود، و بخشی توسط انرژی درگیر در پیوند آنها به یکدیگر (که در "جرم از دست رفته" منفی negative missing mass یا کمبود جرم mass deficit سهیم است).

جرم اینرشیال Inertial mass، میزان مقاومت یک شئی در برابر تغییر حالت حرکت آن، هنگام اعمال نیرو است. با اعمال نیرو به یک شئی و اندازه گیری شتابی که از آن نیرو حاصل می شود، تعیین می گردد. شئی با جرم اینرشیال کوچک، بیش از شئی با جرم اینرشیال بزرگ (هنگامی که با نیرویی یکسان متأثر می شوند) شتاب خواهد گرفت. شخص می گوید که جسمی با جرم بیشتر، اینرسی inertia بیشتری دارد.

[اینرسی، تمایل جسم به حفظ حالت سکون state of rest یا حرکت یکنواخت uniform motion خود است (حرکت یکنواخت: حرکت با تندی ثابت)، مگر این که جسم توسط نیرویی خارجی متأثر گردد.]

جرم جاذبه ای فعال Active gravitational mass، میزان شدت strength فلوی جاذبه ای gravitational flux یک شئی است (فلوی جاذبه ای مساوی ست با انتگرال سطح surface integral میدان جاذبه بر یک سطح محصور).

میدان جاذبه gravitational field می تواند به واسطه سقوط آزاد یک شئی آزمایشی کوچک و سنجش شتاب سقوط آزاد آن، اندازه گیری شود. برای مثال، شئی با سقوط آزاد در نزدیکی ماه، با میدان جاذبه کمتری متأثر خواهد شد و لذا آهسته تر از همان شئی در نزدیکی زمین، شتاب خواهد گرفت. میدان جاذبه در نزدیکی ماه، ضعیف تر است، چون ماه جرم جاذبه ای فعال کمتری دارد.

[flux (یا فلو flow): در حیطه الکترومغناطیس و ریاضیات، فلو معمولاً انتگرال یک کمیت برداری vector quantity بر روی یک سطح محدود است. نتیجه این انتگرال گیری، کمیتی اسکالر scalar quantity است که فلو نامیده می شود. (کمیت برداری، کمیتی است که بزرگی و جهت دارد، ولی کمیت اسکالر فقط بزرگی دارد- م)

- در ریاضیات، انتگرال سطح surface integral، یک انتگرال معین definite integral است که روی یک سطح گرفته می شود. تعریف این انتگرال، بر تقسیم سطح به عناصر کوچک تکیه دارد؛ این عناصر توسط روند حد گیری، بی نهایت کوچک می شوند، طوری که شبیه آن سطح می شوند.]

جرم جاذبه ای پاسیو Passive gravitational mass، میزان شدت strength کنش متقابل یک شئی با میدان جاذبه است. جرم جاذبه ای پاسیو بلتقسیم وزن شئی بر شتاب سقوط آزاد free-fall acceleration آن معین می شود. دو شئی واقع در میدان جاذبه یکسان، با شتاب یکسانی متأثر می شوند؛ اما شئی که جرم جاذبه ای پاسیو کوچکتری دارد- نسبت به شئی با جرم جاذبه ای پاسیو بزرگتر- با نیروی کوچکتری (وزن کمتر) متأثر می شود.

انرژی Energy نیز بر طبق اصل هم ارزی جرم- انرژی principle of mass-energy equivalence، جرم دارد. این هم ارزی در تعداد زیادی از روندهای فیزیکی (شامل تولید زوج pair production، جوش هسته ای nuclear fusion و خم شدن نور در اثر جاذبه) نشان داده می شود. تولید جفت و جوش هسته ای، روندهایی هستند که از طریق آنها مقادیر قابل اندازه گیری جرم و انرژی به یکدیگر تبدیل می شوند. در خمیدگی نور در اثر جاذبه، فوتون های انرژی خالص photons of pure energy، رفتاری مشابه با جرم جاذبه ای پاسیو نشان می دهند.

خمیدگی (یا انحناء) فضا- زمان Curvature of spacetime، نمود نسبیت گرایانه relativistic وجود جرم است. خمیدگی، فوق العاده خفیف و اندازه گیری آن مشکل است.

به این دلیل، خمیدگی تا زمانی که توسط تئوری نسبیت عام آاینشتاین Einstein's theory of general relativity پیش بینی گردید، کشف نشد. مشخص شده که برای مثال، ساعت های اتمی فوق العاده دقیق بر سطح زمین، زمان کمتری را نسبت به ساعت های مشابه در فضا می سنجند (یعنی، ساعت های زمینی آهسته تر کار می کنند). این اختلاف در زمان سپری شده، فرمی از خمیدگی است که تأخیر جاذبه ای زمان gravitational time dilation نامیده می شود. فرم های دیگر خمیدگی، با کاربرد Gravity Probe B satellite اندازه گیری شده اند.

[relativistic : مربوط به یا به شرط تئوری نسبیت خاص special یا عام.]

جرم کوآنتومی Quantum mass خود را به صورت اختلافی میان فرکانس کوآنتومی شئی object's quantum frequency و تعداد موج wave number آن باز نمود می کند. جرم کوآنتومی الکترون (طول موج Compton wavelength) Compton می تواند از طریق فرم های مختلف اسپکتروسکوپی spectroscopy تعیین شود و با ثابت Rydberg (Rydberg constant)، شعاع بور Bohr radius و شعاع الکترونی کلاسیک classical electron radius رابطه نزدیک دارد. جرم کوآنتومی چیزهای بزرگتر می تواند مستقیماً با کاربرد watt balance اندازه گیری شود.

جرم اینرشیال، جرم جاذبه ای و دیگر پدیده های گوناگون مرتبط با جرم، ادراکاً مجزا می باشند. اما تا به حال هر آزمایشی نشان داده است

که این کمیت ها values متناسب اند و این تناسب، مفهوم انتزاعی جرم را ایجاد می کند. اگر در برخی از آزمایشات آینده نشان داده شود که یکی از پدیده های مرتبط با جرم، با سایر پدیده ها متناسب نیست، آنگاه آن پدیده خاص، دیگر بخشی از مفهوم انتزاعی جرم در نظر گرفته نخواهد شد.

[تعداد موج wave number ، در علوم فیزیکی، خاصیتی از موج است که با عکس طول موج wavelength متناسب می باشد. تعداد موج می تواند یا به صورت: تعداد طول موج ها در واحد مسافت تعریف گردد، یعنی $1/\lambda$ که λ طول موج است؛ یا به عنوان جایگزین به صورت: $2\pi/\lambda$ ، که گاهی تعداد موج زاویه ای angular wave number یا تعداد موج مدور circular wave number یا صرفاً تعداد موج نامیده می شود. در رابطه با رادیاسیون (اشعه) الکترومغناطیسی، تعداد موج با فرکانس frequency و با انرژی فوتون photon energy متناسب است. به این دلیل، تعداد موج به عنوان یک واحد انرژی در اسپکتروسکوپی بکار برده می شود.

(فرکانس: در فیزیک، تعداد نوسانات، ارتعاشات یا امواج دوره ای periodic در واحد زمان. واحد SI فرکانس، هرتز (Hz) است. یک هرتز معادل با یک سیکل cycle در ثانیه است. فرکانس، با تقسیم تندی velocity بر طول موج بدست می آید.)

- اسپکتروسکوپی spectroscopy در آغاز، مطالعه تأثیر متقابل میان رادیاسیون radiation و ماده matter ، به عنوان تابعی از طول موج (λ) بود. در واقع، از نظر تاریخی، اسپکتروسکوپی به کاربرد نور قابل رؤیت visible light که بر طبق طول موجش تجزیه می شود (مثلاً با یک منشور prism) ، اطلاق گردید. این مفهوم بعداً بسیار بسط داده شد تا هر سنجشی measurement از یک کمیت به عنوان تابعی از طول موج ، یا فرکانس را در برگیرد.

اسپکترومتری spectrometry ، تکنیک مرتبط با اسپکتروسکوپی است که سابقاً غلظت یا مقدار یک نوع شیمیایی (اتمی، مولکولی، یا یونی) را تعیین می کرد. در این مورد، ابزاری که چنین اندازه گیری هایی را انجام می دهد، اسپکترومتر spectrometer ، اسپکتروفوتومتر spectrophotometer ، یا اسپکتروگراف spectrograph می باشد. اسپکتروسکوپی / اسپکترومتری اغلب در شیمی تجزیه یا فیزیکی physical and analytical chemistry جهت شناسایی مواد- از طریق طیفی spectrum که از آنها صادر یا بوسیله آنها جذب می گردد- بکار برده می شود. اسپکتروسکوپی / اسپکترومتری همچنین در ستاره شناسی astronomy و remote sensing بسیار بکار برده می شود. (remote sensing : استفاده از ماهواره ها Satellites برای به دست آوردن تصاویر و اطلاعات درباره زمین.) اکثر تلسکوپ های بزرگ، اسپکترومتر دارند که برای اندازه گیری ترکیب شیمیایی و خواص فیزیکی چیزهای نجومی یا سنجش تندی velocity آنها از روی شیفت دوپلر Doppler shift خطوط طیفی شان بکار برده می شود.]

جرم جاذبه ای فعال، خاصیتی از جرم یک شریء است که در فضای اطراف شریء، میدان جاذبه تولید می کند و این میدان های جاذبه بر ساختارهای بزرگ در جهان حاکم اند. میدان های جاذبه، کهکشان ها را متصل به هم نگه می دارند؛ موجب به هم پیوستن ابرهای گاز و غبار جهت تشکیل ستاره ها و سیاره ها می شوند؛ فشار لازم برای وقوع جوش هسته ای nuclear fusion در داخل ستاره ها را فراهم می کنند؛ و مدار های چیزهای مختلف در منظومه شمسی Solar System را معین می کنند. چون اثرات جاذبه همگی در اطراف ما هستند، لذا مشخص کردن زمان دقیقی که انسانها در ابتداء جرم جاذبه ای را کشف نمودند، غیرممکن است.

اندازه گیری جرم جاذبه ای بر حسب واحدهای متداول جرم، در تئوری ساده، اما در عمل فوق العاده مشکل است. طبق تئوری نیوتن همه اشياء، میدان های جاذبه تولید می کنند و از نظر تئوریک جمع کردن تعداد بسیار زیادی از اشياء کوچک و آنها را به شکل یک کره جاذبه ای بزرگ در آوردن، امکان پذیر است. اما از نظر عملی، میدان های جاذبه اشياء کوچک، فوق العاده ضعیف هستند و اندازه گیری آنها مشکل است. و اگر قرار بود کسی تعداد بسیار زیادی از اشياء را جمع نماید، آنگاه کره حاصله احتمالاً برای بنا روی سطح زمین، بسیار بزرگ و برای بنا در فضا بسیار گران می بود. کتابهای نیوتن درباره جاذبه جهانی در سال 1680 میلادی منتشر شدند، اما اولین اندازه گیری موفقیت آمیز جرم زمین بر حسب واحدهای متداول جرم (آزمایش کاوندیش Cavendish experiment) تا سال 1797 میلادی (یعنی تا بیش از یکصد سال بعد) روی نداد. کاوندیش کشف کرد که چگالی density زمین 5.448 ± 0.033 برابر چگالی آب است. از سال 2009 میلادی، جرم زمین به کیلوگرم (واحد متداول جرم- م) فقط با دقت تقریباً 5 رقم معلوم شده، در حالی که جرم جاذبه ای آن با دقت بیش از 9 رقم معلوم شده است.

جرم اینرشیال و جاذبه ای: اگر چه جرم اینرشیال، جرم جاذبه ای پاسیو و جرم جاذبه ای فعال، ادراکاً مجزا هستند، اما هیچ آزمایشی هرگز به روشنی تفاوتی میان آنها نشان نداده است. در مکانیک کلاسیک، قانون سوم نیوتن اشاره می کند که جرم جاذبه ای فعال و پاسیو همیشه باید مساوی (یا حداقل متناسب) باشند؛ اما تئوری کلاسیک هیچ دلیل مجاب کننده ای ارائه نمی کند که چرا جرم جاذبه ای می بایست مساوی جرم اینرشیال باشد. این امر صرفاً حقیقتی تجربی است.

[قانون سوم نیوتن: نیروهای دو طرفه mutual forces کنش و واکنش action and reaction میان دو جسم، مساوی، مخالف هم و بر خط

راست یکسانی (collinear) واقع می باشند. آلبرت آاینشتاین تئوری نسبیت عام خود را با شروع از این فرض توسعه داد که این مطابقت میان جرم اینرشیال و جاذبه ای (پاسیو)، تصادفی نیست: که هیچ آزمایشی هرگز تفاوتی میان آنها پیدا نخواهد کرد (تفسیر (یا نسخه) ضعیف weak version اصل هم ارزی). اما در تئوری حاصله، جاذبه یک نیرو نیست و لذا تحت سلطه قانون سوم نیوتن نمی باشد، بنابراین، "تساوی جرم جاذبه ای فعال و اینرشیال مثل همیشه معما باقی می ماند".

هم ارزی جرم های اینرشیال و جاذبه ای: هم ارزی جرم های اینرشیال و جاذبه ای گاهی اصل هم ارزی گالیله Galilean equivalence principle یا اصل هم ارزی ضعیف نامیده می شود. مهمترین پیامد این اصل هم ارزی، در مورد چیزهایی که سقوط آزاد می کنند، بکار می رود. فرض کنید شیئی با جرم های اینرشیال و جاذبه ای، به ترتیب m و M داریم. اگر تنها نیروی مؤثر بر شیء، از یک میدان جاذبه g ناشی شود، ترکیب قانون دوم نیوتن و قانون جاذبه، شتاب

$$a = \frac{M}{m}g.$$

را بدست می دهد. این معادله چنین بیان می کند: اگر و فقط اگر همه اشیا به طرز یکسانی در یک میدان جاذبه سقوط نمایند، آنگاه نسبت جرم جاذبه ای به جرم اینرشیال. هر شیء، مساوی با برخی مقادیر ثابت K است. این پدیده، 'عمومیت سقوط آزاد' universality of free-fall نامیده می شود. (علاوه بر این، با تعریف مناسب واحدهایمان، ثابت K می تواند 1 گرفته شود).

نخستین آزمایشات نشان دهنده عمومیت سقوط آزاد، توسط گالیله Galileo انجام شد. معمولاً گفته می شود که گالیله نتایجش را با رها نمودن چیزها از برج کج پیزا Leaning Tower of Pisa بدست آورد، اما این به احتمال زیاد، واقعیت ندارد. در واقع، او آزمایشاتش را با توپ هایی که از سطوح شیب دار به پایین می غلتیدند، انجام داد. آزمایشات دقیق بیشتر و بیشتری انجام شده اند، مانند آزمایشاتی که در 1889 میلادی توسط Loránd Eötvös با کاربرد پاندول torsion balance انجام گردید. از سال 2008 میلادی، هرگز هیچ انحرافی از عمومیت universality (و لذا از هم ارزی گالیله) یافت نشده است (حداقل با دقت 10^{-12}). تلاش های آزمایشی دقیق تر باز هم در حال انجام اند.

عمومیت سقوط آزاد فقط در مورد سیستم هایی بکار می رود که در آنها جاذبه تنها نیروی مؤثر است. تمام نیروهای دیگر، بویژه اصطکاک friction و مقاومت هوا، می بایست غایب یا حداقل ناچیز باشند. برای مثال، اگر چکش و پر از ارتفاعی یکسان، از میان هوا به زمین رها شوند، پر خیلی بیشتر طول می کشد تا به زمین برسد. پر واقعاً در حالت سقوط آزاد نیست، زیرا نیروی مقاومت هوا که رو به بالا بر ضد (حرکت) پر می باشد، نظیر نیروی رو به پایین جاذبه است. از سوی دیگر، اگر این آزمایش در خلاء انجام شود (که در آن مقاومت هوا وجود ندارد) چکش و پر می بلید دقیقاً در زمان یکسانی به زمین اصابت نمایند (با فرض این که شتاب هر دو شیء به سوی یکدیگر و شتاب زمین به سوی هر دو شیء، به سهم خود، ناچیز است). این می تواند به آسانی در آزمایشگاه دبیرستان با رها نمودن اشیا در لوله های شفاف (که هوا با پمپ خلاء vacuum pump خارج شده) انجام شود. وقتی این امر در محیطی انجام شود که بطور طبیعی خلاء دارد، مهیج تر است، همانطور که دیوید اسکات David Scott در جریان آپولو 15 (Apollo 15) بر سطح ماه Moon انجام داد.

تفسیر (یا نسخه) قوی تر اصل هم ارزی که اصل هم ارزی آاینشتاین Einstein equivalence principle یا اصل هم ارزی قوی strong equivalence principle نامیده می شود، در قلب تئوری نسبیت عام general theory of relativity واقع است. اصل هم ارزی آاینشتاین می گوید که در مناطقی از فضا-زمان regions of space-time که به اندازه کافی کوچک اند، تمایز قائل شدن میان شتاب یکنواخت (شتاب ثابت-م) uniform acceleration و میدان جاذبه یکنواخت uniform gravitational field غیرممکن است. بدینسان، این تئوری فرض می کند که نیروی مؤثر بر شیء. واجد جرم (که توسط یک میدان جاذبه ایجاد شده) نتیجه تمایل شیء به حرکت در خطی راست (بعبارت دیگر، نتیجه اینرسی آن) است و لذا باید تابعی از جرم اینرشیال آن و شدت strength میدان جاذبه باشد.

جرم و انرژی در نسبیت خاص: واژه جرم در نسبیت خاص special relativity معمولاً به جرم در حال سکون rest mass شیء اطلاق می شود، که هرگاه توسط ناظری اندازه گیری شود که همراه شیء، در حال حرکت است، مساوی با جرم نیوتنی Newtonian mass است. جرم ثابت invariant mass نام دیگری برای جرم در حال سکون ذرات منفرد است. اما جرم ثابت عمومی تر general invariant mass (که با فرمول پیچیده تری محاسبه می شود) ممکن است برای سیستم های ذرات نیز، در حرکت نسبی بکار برده شود، و به این دلیل معمولاً به سیستم هایی اختصاص داده می شود که دارای ذرات پر انرژی high-energy بسیار مجزا می باشند. جرم ثابت سیستم ها، برای همه ناظرین و چارچوب های اینرشیال (57) inertial frames، یکسان است و نمی تواند نابود شود، لذا مادامی که سیستم بسته باشد، این جرم واجد بقاء (یا محفوظ) conserved است.

در این حالت، " بسته بودن " closure بر این امر دلالت ضمنی می کند که حصارای ایده آل به دور سیستم کشیده شده و به هیچ جرم/ انرژی ای اجازه عبور داده نمی شود.

همان قدر که در نسبیت، انرژی در سیستم های بسته، محفوظ است، جرم سیستم نیز کمیتی ست که محفوظ می باشد: این به آن معناست که حتی وقتی برخی از انواع ذرات به ذرات دیگر تبدیل می شوند، جرم در طی زمان تغییر نمی کند. برای هر ناظری جرم هر سیستم، بطور مجزا محفوظ است و نمی تواند در طی زمان تغییر کند، درست همانطور که انرژی، بطور مجزا محفوظ می باشد و نمی تواند در طی زمان تغییر نماید. نظر نادرست. عمومی مبنی بر این که در نسبیت، جرم ممکن است به انرژی (فاقد جرم) تبدیل شود، به دلیل این حقیقت است که برخی از ذرات ماده در بعضی از موارد ممکن است به انواعی از انرژی تبدیل شوند که ماده نیستند (مانند نور، انرژی جنبشی، و انرژی پتانسیل در حوزه های مغناطیسی، الکتریکی و دیگر حوزه ها). اما این نظر، " ماده " (چیزی فاقد بقاء و بدون توصیفی روشن) را با جرم (که به روشنی توصیف شده و واجد بقاء است) اشتباه می گیرد. در نسبیت، همه انواع انرژی با هم به نشان دادن جرم ادامه می دهند، حتی اگر " ماده " در نظر گرفته نشوند. بنابراین، جرم و انرژی به یکدیگر تغییر نمی یابند، بلکه هر دو نام هایی برای چیزی یکسان می باشند، و نه جرم و نه انرژی، بدون دیگری ظاهر نمی شوند. در نسبیت، ذرات " ماده " ممکن است در واکنش ها محفوظ نمانند، اما جرم سیستم بسته همیشه محفوظ می ماند.

برای مثال، هرگاه بمب هسته ای در یک جعبه خیالی فوق العاده قوی (که روی ترازویی قرار دارد) منفجر شود، در تئوری، هیچ تغییری در جرم نشان نخواهد داد (اگرچه درون جعبه گرمتر خواهد شد). در چنین سیستمی، جرم جعبه فقط هنگامی تغییر خواهد کرد که به انرژی اجازه فرار از جعبه (به صورت نور یا حرارت) داده شود. به هر حال در آن حالت، انرژی خارج شده، جرم مرتبطش associated mass را با خود منتقل خواهد نمود. اجازه خروج حرارت از چنین سیستمی صرفاً راهی برای برداشتن جرم است. بنابراین، جرم- مانند انرژی- نمی تواند نابود شود، بلکه صرفاً از مکانی به مکان دیگر منتقل می شود.

در سیستم های محصور bound systems ، انرژی پیوندی binding energy (اغلب) باید از جرم سیستم نامحصور unbound system کم شود، صرفاً به این دلیل که این انرژی (زمانی که محصور است) جرم دارد و هنگامی که انرژی ساطع می شود، این جرم از سیستم کاسته می شود؛ جرم در این روند، محفوظ نمی ماند، چون سیستم طی روند پیوند بسته نیست. مثال آشنا، انرژی پیوند هسته ای اتمی است، که وقتی هسته ها تشکیل می شوند، به صورت انواع دیگر انرژی (مانند پرتوهای گاما gamma rays) ظاهر می شود، و (پس از ساطع شدن) نوکلیدهایی nuclides را بدست می دهد که جرمی کمتر از ذرات آزادی (نوکلئون ها nucleons) دارند که از آنها تشکیل یافته اند.

[nuclide : یک گونه اتمی است که با ترکیب خاص هسته اش، یعنی با تعداد پروتون ها Z ، نوترون ها N ، و حالت انرژی اش مشخص می شود. بنابراین، همه نوکلیدها اتم هایی هستند که حداقل یک الکترون دارند (اگرچه یون های معینی ممکن است شامل این تعریف گردند). به اختصار، یک نوکلید، واژه ای چتری برای همه هسته ها با یک یا چند الکترون در مدار است. نوکلئون nucleon : یک پروتون یا نوترون، بویژه وقتی که به عنوان جزئی از یک هسته در نظر گرفته می شوند.]

واژه جرم نسبی relativistic mass نیز بکار برده می شود که مقدار کل انرژی در یک جسم یا سیستم است (تقسیم بر c^2). جرم نسبی (یک جسم یا سیستمی از اجسام) سهمی از انرژی جنبشی جسم را در بردارد و هر قدر جسم سریعتر حرکت نماید، بزرگتر است، لذا برخلاف جرم ثابت، جرم نسبی به چارچوب مرجع ناظر observer's frame of reference بستگی دارد. اما در رابطه با چارچوب های مرجع منفرد single و سیستم های بسته، جرم نسبی نیز کمیتی واجد بقاء (یا محفوظ) است.

چون جرم نسبی، متناسب با انرژی است، لذا کاربرد آن به تدریج در میان فیزیکدانها متوقف گردیده است. بر سر این که آلی این مفهوم از نظر آموزشی مفید مانده است، اختلاف نظر وجود دارد.

57- در فیزیک، چارچوب اینرشیال مرجع inertial frame of reference (همچنین چارچوب مرجع اینرشیال inertial reference frame یا inertial frame) یک چارچوب مرجع است که زمان را بطور همگون homogeneously ، و فضا را بطور همگون، بطور یکسان نسبت به جهت (isotropically) و به طرز مستقل از زمان توصیف می کند. این امر، توصیف حرکت و کنش های متقابل را بدون حضور نیروهای موهوم (یا ساختگی) (58) fictitious forces ، ممکن می سازد. هم فیزیک نیوتنی و هم نسبیت خاص بیان می کنند که واقعاً تعداد زیادی از این چارچوب ها، بطور نامحدود وجود دارند، و قوانین فیزیکی در آنها همان صورتی را می پذیرند که در هر چارچوب اینرشیال دیگری با دستتیت handedness یکسان (دست راستی یا دست چپی- م) دارا هستند. در فضا- زمان های مسطح flat spacetimes ، همه چارچوب های اینرشیال نسبت به یکدیگر در حالت حرکت یکنواخت و ثابت constant, uniform motion می باشند.

در مقابل، در چارچوب های مرجع غیر اینرشیال non-inertial reference frames ، قوانین فیزیک به چارچوب خاص مرجع بستگی دارند و نیروهای فیزیکی معمول می بایست توسط آنچه نیروهای موهومی (یا ساختگی) نامیده می شوند، تکمیل گردند. همه چارچوب های غیر اینرشیال، نسبت به همه چارچوب های اینرشیال در حال شتاب گرفتن هستند.

58- نیروی موهوم (ساختگی) fictitious force (نیز موسوم به شبه نیرو pseudo force ، d'Alembert force یا نیروی اینرشیال

(inertial force): یک نیروی ظاهری ست که بر همهٔ جرم‌ها در یک چارچوب غیر اینرشیال مرجع (مانند یک چارچوب مرجع چرخنده rotating reference frame) اثر می‌گذارد. این نیروها ممکن است بطور جبری algebraically (شاخه‌ای از ریاضیات) مانند یک نیروی واقعی در نظر گرفته شوند، اما لزوماً از قانون اول نیوتن پیروی نمی‌کنند. [قانون اول نیوتن: اگر بر جسمی نیرویی وارد نشود یا برآیند نیروهای وارد بر آن صفر باشد، آنگاه اگر جسم ساکن باشد، همواره در همان حال می‌ماند (حالت سکون را حفظ می‌کند)، و اگر در حال حرکت یکنواخت (یعنی، حرکت با تندی ثابت) در خطی راست باشد، همواره به حرکت یکنواخت خود در خطی راست ادامه می‌دهد. این قانون غالباً قانون مارن یا اینرسی law of inertia نامیده می‌شود- م]

نیروی F از هیچ‌کنش متقابل فیزیکی ای physical interaction ناشی نمی‌شود، بلکه در عوض، از شتاب a خود چارچوب مرجع غیر اینرشیال ناشی می‌شود. همانطور که توسط Iro بیان گردید:

چنین نیروی اضافی ای که به دلیل حرکت نسبی غیر یکنواخت nonuniform relative motion دو چارچوب مرجع است، شبه نیرو pseudo-force نامیده می‌شود. (H Iro در صفحه 180 کتاب روشی مدرن در مکانیک کلاسیک *A Modern Approach to Classical Mechanics*)

بدلیل قانون دوم نیوتن (بصورت $\mathbf{F} = m \mathbf{a}$)، نیروهای موهوم همیشه متناسب با جرمی هستند که بر آن اثر می‌کنند. چهار نیروی موهوم در چارچوب‌های شتابدار، تعریف شده‌اند: یکی به موجب هر شتاب نسبی مبدأ origin در یک خط راست (شتاب در خط راست rectilinear acceleration)، دو تا به موجب هر چرخش rotation (نیروی گریز از مرکز centrifugal force و نیروی کریولیس Coriolis force) و چهارمی، موسوم به نیروی اولر Euler force، به موجب میزان متغیری از چرخش (دوران).

31 مه 2010 میلادی
Georgia State

* کلیهٔ حقوق این ترجمه، محفوظ و متعلق به مترجم است.