

Yıldız Evrimi: Yıldızların Doğumu, Yaşamı ve Ölümü

John R. Percy

*Uluslararası Astronomi Birliği
Toronto Üniversitesi, Kanada*



Yıldızların evrimi

- Yıldızların evriminden bahsederken, yıldızların "yakıt" tükettiklerinden, doğumlarından bu yana uzun yaşamları boyunca ve ölene kadar meydana gelen değişimlerden bahsediyoruz.
- Yıldızların evrimini anlamak gökbilimcilerin anlamasına yardımcı olur:
 - Güneşimizin doğası ve gelecekteki kaderi.
 - Güneş sistemimizin kökeni.
 - Güneş sistemimizi diğer gezegensel sistemlerle nasıl karşılaştırırız?
 - Eğer evrende başka bir yerde yaşam olabilirse.

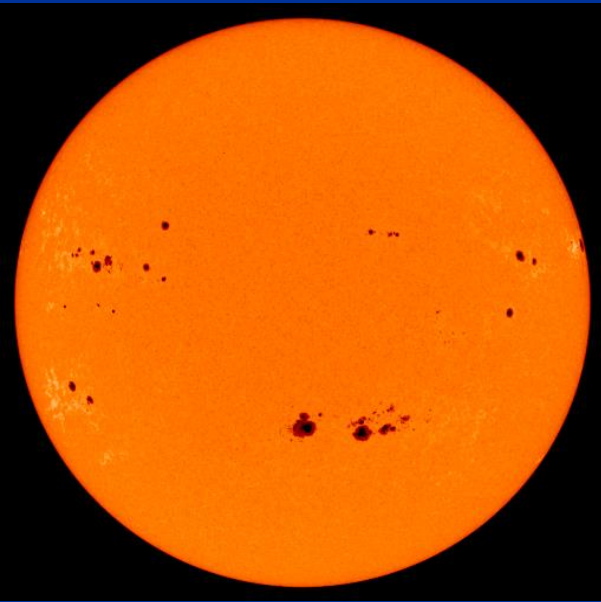


Yüzük Bulutsusu, ölen bir yıldız.
Kaynak: NASA



Güneşin Özellikleri: en yakın yıldız ve gökbilimcilerin onları nasıl ölçtüğü - önemli!

- **Mesafe:** 1.5×10^{11} m, Merkür ve Venüs'ten gelen radar dalgalarını yansıtıyor
- **Kütle:** 2×10^{30} kg, Güneş'in etrafında dönen gezegenlerin hareketlerini ölçüyor
- **Çapı:** $1,4 \times 10^9$ m, Güneş'in görünen çapından (açısı) ve mesafesinden
- **Güç:** 4×10^{26} W, uzaklıktan ve Dünya'dan ölçülen güçten
- **Kimyasal kompozisyon:** %98 hidrojen ve helyum, spektrumunu inceliyor.



Güneş.

Kaynak: NASA SOHO Uydusu



Yıldızların özellikleri - uzak güneşler ve gökbilimcilerin onları nasıl ölçtüğü - önemli!

- **Mesafe:** Paralellikten veya güç biliniyorsa parlaklıktan.
- **Güç:** uzaklıktan ve bariz parlaklık
- **Yüzey sıcaklığı:** Renk veya spektrumdan
- **Yarıçap:** Güç ve yüzey sıcaklığından
- **Kütle:** İkili yıldızların gözlemlerini kullanma
- **Kimyasal bileşim:** yıldız spektrumundan



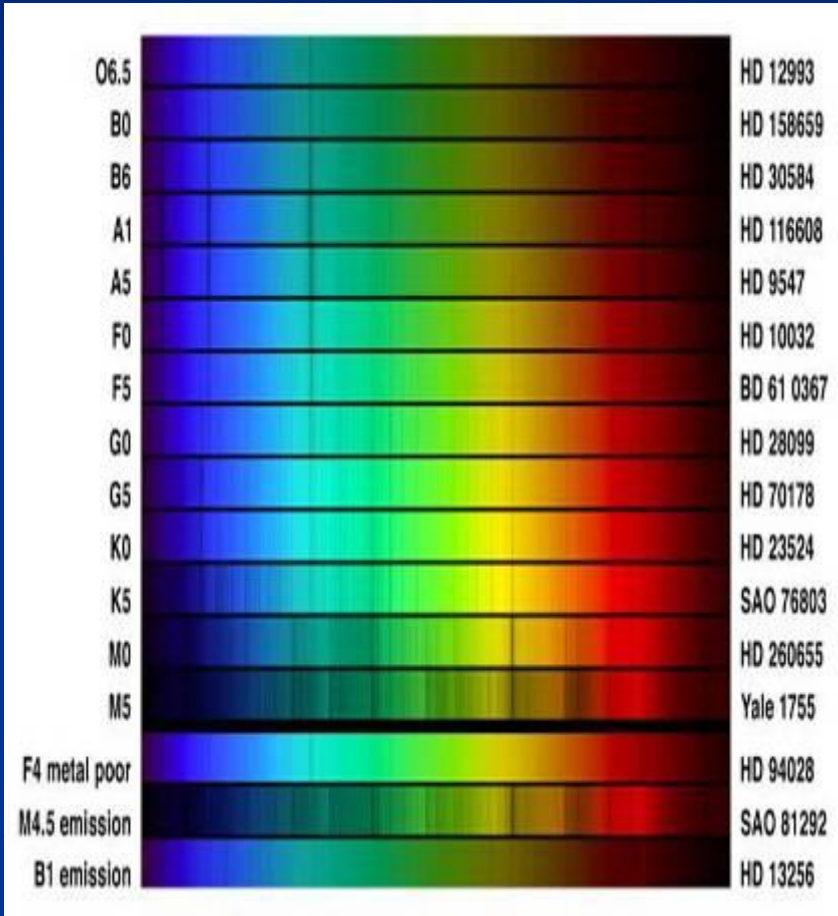
Orion Takımyıldızı.

Kaynak: Hubble, ESA, Akira Fujii



Yıldızların tayfı:

yıldız ışığı, renklere ayrıışmış



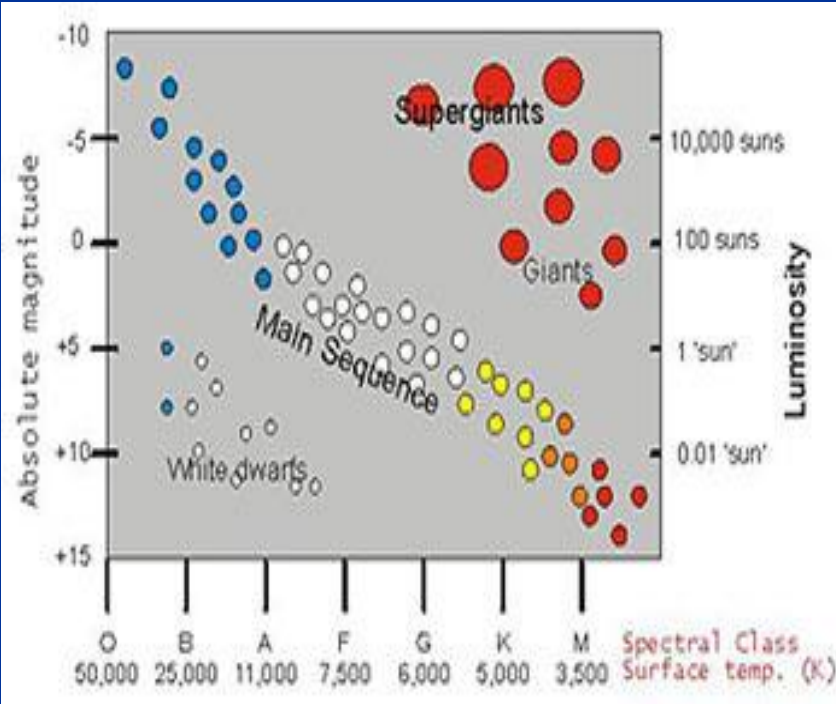
- Astronomlar yaydıkları ışığı inceleyerek astronomik kaynakları öğrenirler
- Spektrum yıldızların kompozisyonu, sıcaklığı ve diğer özellikleri hakkında bilgi sağlar

Sol: farklı yüzey sıcaklıkları (en yüksek üstte) olan yıldızların ilk 13 tayfı; son üç tayf belirli özelliklerle yıldızlardan alınmıştır

Hertzsprung-Russell

diyagramı Yıldızların özelliklerinde bir sıra var!

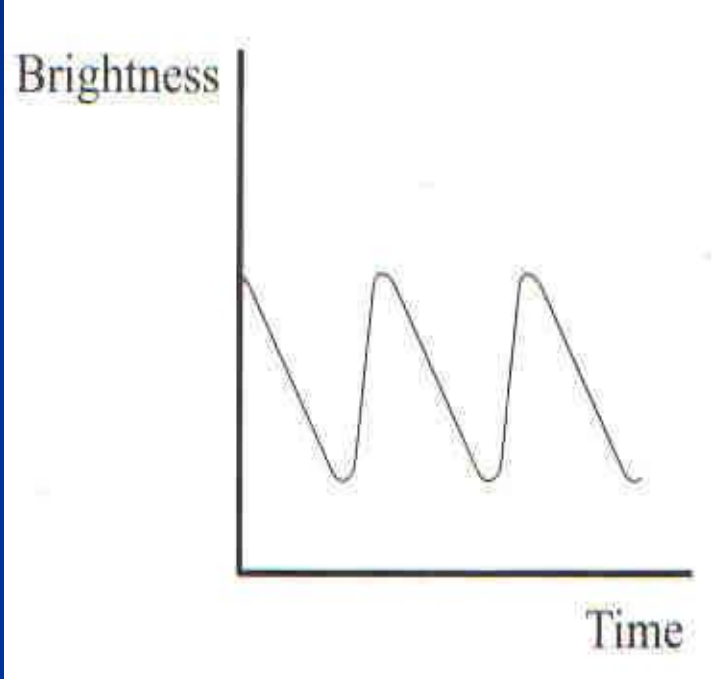
- Hertzsprung-Russell (HR) diyagramı, sıcaklığın (spektral sınıf) bir fonksiyonu olarak gücü (parlaklığı) gösterir; koordinat "mutlak büyüklük" gücün logaritmik bir ölçüsüdür.
- Yıldızların çoğu "ana sıra"da yer alır: büyük yıldızlar sıcak ve yüksek güce (sol üst) sahipken küçük yıldızlar daha düşük kütleyle, soğuğa ve düşük güce (sağ alt) sahiptirler
- Dev yıldızlar diyagramın sağ üst kısmında yer alırken, beyaz cüceler sol alt kısımdadır



Diyagram HR Kaynağı: NASA



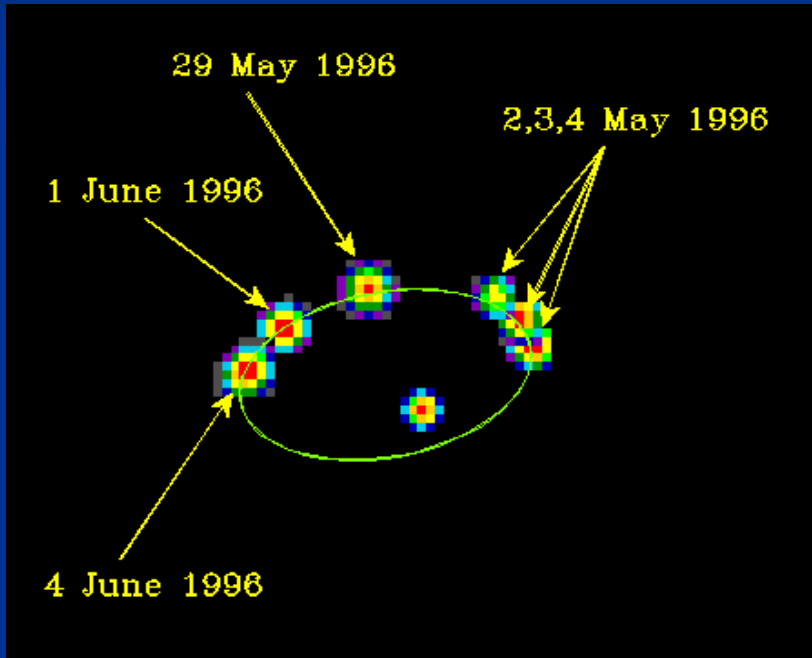
Değişken Yıldızlar



Işık eğrisi: zamana karşı parlaklık grafiği.

- Değişken yıldızlar parlaklıklarını zamanla değiştiren yıldızlardır
- Yıldızların çoğu değişkendir; titreştikleri, parlak parladıkları, patladıkları ya da yol arkadaşı bir yıldız ya da gezegen tarafından tutuldukları için değişebilir
- Değişken yıldızlar, yıldızların doğası ve evrimi hakkında önemli bilgiler sağlar

İkili yıldızlar (çift) ve birden çok



Mizar'ın Yörünge Hareketi, Osa Major.
Kaynak: NPOI Grubu, USNO, NRL

- İkili yıldızlar, yerçekimi nedeniyle birbirine yakın olan ve kendi etrafında dönen yıldızlar çiftleridir. Bunlar doğrudan görülebilir (soldaki görüntüde olduğu gibi) ya da tayflarıyla ya da yıldızlar arasında bir tutulmayla algılanabilir.
- Yıldızların kütlelerini ölçmek için en önemli araçlardır
- Birden fazla yıldız, yerçekimi nedeniyle birbirine bağlı olan üç ya da daha fazla yıldızdır



Yıldız kümeleri

"Doğanın deneyleri"



Pleiades Kümesini Açın.

Kaynak: Mount Wilson Gözlemevi

- Yıldız kümeleri yerçekimi nedeniyle birbirlerine yakın olan ve uzayda birlikte hareket eden yıldız gruplarıdır
- Aynı zamanda ve yerde oluştular, aynı malzemeden, ve aynı uzaklıktalar, sadece kütlede farklıdırlar
- Kümeler farklı kütlelere sahip ama aynı yaştaki yıldızların örnekleridir

Güneş ve yıldızlar neyden yapılmıştır?



Kozmos'taki kimyasal elementlerin bolluğu: kuş yemi H (%90), pirinç He (%8), fasulye C, N ve O ve diğer bazı elementlerin birkaçı (%2).

- Gökbilimciler, spektroskopi ve diğer teknikleri kullanarak yıldızların oluştuğu "asal materyalleri" tanımlayabilirler
- Hidrojen (H) ve helyum (He) en bol elementlerdir ve evrenin oluşumuyla oluşmuştur
- Daha ağır elementler milyon ya da milyar kat daha az verimlidir. Yıldızların içinde termonükleer reaksiyonlarla oluşular

1	Büyük Patlama'da oluşturulan öğeler																2
3	4	Nükleosentez ile üretilen elementler, yıldızların çekirdeğinde										5	6	7	8	9	10
11	12	Süpernovalar tarafından üretilen öğeler										13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73
74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109
110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127
128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145
146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163
164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181
182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199
200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217
218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235
236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253
254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271
272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289
290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307
308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325
326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343
344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361
362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379
380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397
398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415
416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433
434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451
452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469
470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487
488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505
506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523
524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541
542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559
560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577
578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595
596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613
614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631
632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649
650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667
668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685
686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703
704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721
722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739
740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757
758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775
776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793
794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811
812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829
830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847
848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865
866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883
884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901
902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919
920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937
938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955
956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973
974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991
992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009
1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023	1024	1025	1026	1027
1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034	1035	1036	1037	1038	1039	1040	1041	1042	1043	1044	1045
1046	1047	1048	1049	1050	1051	1052	1053	1054	1055	1056	1057	1058	1059	1060	1061	1062	1063
1064	1065	1066	1067	1068	1069	1070	1071	1072	1073	1074	1075	1076	1077	1078	1079	1080	1081
1082	1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089	1090	1091	1092	1093	1094	1095	1096	1097	1098	1099
1100	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116	1117
1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125	1126	1127	1128	1129	1130	1131	1132	1133	1134	1135
1136	1137	1138	1139	1140	1141	1142	1143	1144	1145	1146	1147	1148	1149	1150	1151	1152	1153
1154	1155	1156	1157	1158	1159	1160	1161	1162	1163	1164	1165	1166	1167	1168	1169	1170	1171
1172	1173	1174	1175	1176	1177	1178	1179	1180	1181	1182	1183	1184	1185	1186	1187	1188	1189
1190	1191	1192	1193	1194	1195	1196	1197	1198	1199	1200	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207
1208	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	1221	1222	1223	1224	1225
1226	1227	1228	1229	1230	1231	1232	1233	1234	1235	1236	1237	1238	1239	1240	1241	1242	1243
1244	1245	1246	1247	1248	1249	1250	1251	1252	1253	1254	1255	1256	1257	1258	1259	1260	1261
1262	1263	1264	1265	1266	1267	1268	1269	1270	1271	1272	1273	1274	1275	1276	1277	1278	1279
1280	1281	1282	1283	1284	1285	1286	1287	1288	1289	1290	1291	1292	1293	1294	1295	1296	1297
1298	1299	1300	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310	1311	1312	1313	1314	1315
1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333
1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341	1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350	1351
1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369
1370	1371	1372	1373	1374	1375	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387
1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400	1401	1402	1403	1404	1405
1406	1407	1408	1409	1410	1411	1412	1413	1414	1415	1416	1417	1418	1419	1420	1421	1422	1423
1424	1425	1426	1427	1428	1429	1430	1431	1432	1433	1434	1435	1436	1437	1438	1439	1440	1441
1442	1443	1444	1445	1446	1447	1448	1449	1450	1451	1452	1453	1454	145				



Büyük Patlama'da oluşturulan öğeler



Nükleosentez ile üretilen elementler,
yıldızların çekirdeğinde



Süpernovalar tarafından üretilen öğeler

Yıldızların yapısının kanunları

- Yıldızın içinde, daha derine indikçe, üst katmanların ağırlığı nedeniyle basınç artar.
- Gazların yasalarına göre basınç arttıkça sıcaklık ve yoğunluk artar.
- Enerji radyasyon ve konveksiyon ile içeriden sıcak parçaya, dışarıdan soğuk parçaya akacak.
- Yıldızdan enerji akıyorsa, yıldız soğur - eğer içinde daha fazla enerji oluşturulmazsa.
- *Yıldızlar bu basit ve evrensel fizik yasalarıyla yönetilir*



Örnek: Güneş neden çökmez veya küçülmez?



- Solda gösterildiği gibi bir balon şişir
- Atmosferik basınç balonu içeriye doğru "itiyor". Gaz basıncı balonu "dışarı ittiği" için küçülmüyor.
- Güneş'in içinde, yerçekimi, maddeyi içeriye doğru itmek, gaz basıncı ile dengelenir.

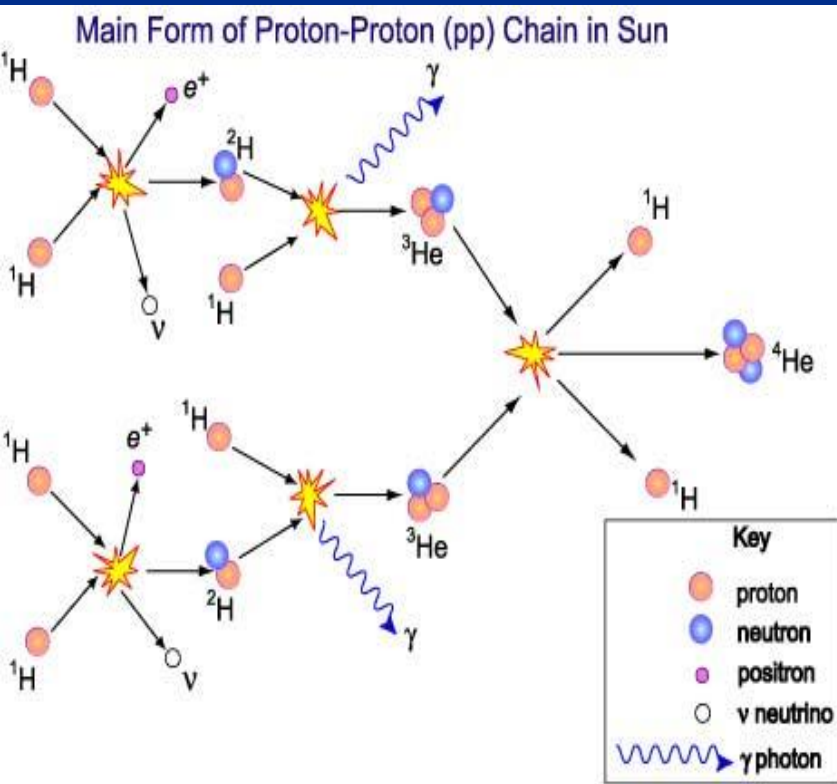
Güneş ve yıldızların enerji kaynağı

- Gaz, petrol ya da karbonun kimyasal yanması mı?
Bu süreç o kadar verimsizdir ki Güneş'e sadece birkaç bin yıl enerji getirir
- Yavaş çekim kasılmaları mı?
Bu, milyonlarca yıl boyunca güneşe enerji getirebilir, ancak Güneş milyarlarca yaşındadır
- Radyoaktivite (nükleer fisyon)? Güneş ve yıldızların içinde radyoaktif izotoplar neredeyse yok
- Işık elementlerinin daha ağır elementlere nükleer füzyonu mu? **Evet! Bu çok verimli bir işlemdir ve hidrojen ve helyum gibi hafif elementler güneşin ve yıldızların %98'ini temsil eder**



Proton-Proton zinciri

güneşteki temel füzyon sürecidir



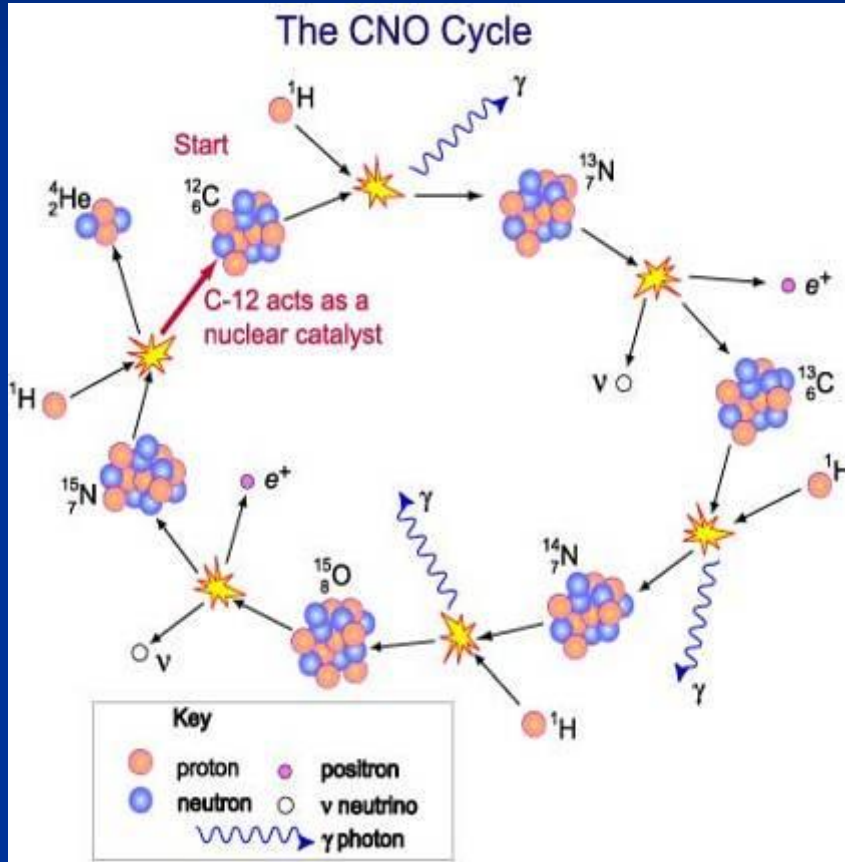
Proton-proton döngüsü

Kaynak: Avustralya Ulusal Teleskop Tesisi

- Yüksek sıcaklık ve yoğunluklarda, Güneş'imiz gibi yıldızlarda, protonlar (kırmızı ile) aralarındaki elektrostatik itici kuvvetin üstesinden gelirler ve ^2H (döteryum) ve nötrino (ν) oluşur
- Daha sonra, bir başka proton deuterium ile birleşerek ^3He şeklini alır
- Daha sonra, bir ^4He çekirdeği oluşturmak için birbirleriyle birleşir ve iki proton serbest bırakır.
- Sonuç: Helyum ve enerji (gama ışınları ve kinetik enerji) oluşur için 4 proton bir arada



Karbon - nitrojen - oksijen çevrimi



CNO döngüsü

Kaynak: Avustralya Ulusal Teleskop Tesisi

- Çok sıcak çekirdekleri olan dev yıldızlarda, protonlar (kırmızı) bir ^{12}C (karbon) çekirdeğiyle çarpışır (sol üst)
- Bu, sonunda dört protonun bir helyum çekirdeği (sol üst) oluşturmak için kaynaştığı dairesel bir reaksiyon dizisini başlatır
- ^{12}C Çekirdek döngünün sonunda tekrar kurtarılır, bu nedenle oluşturulmaz veya yok edilmez; nükleer katalizör görevi görür



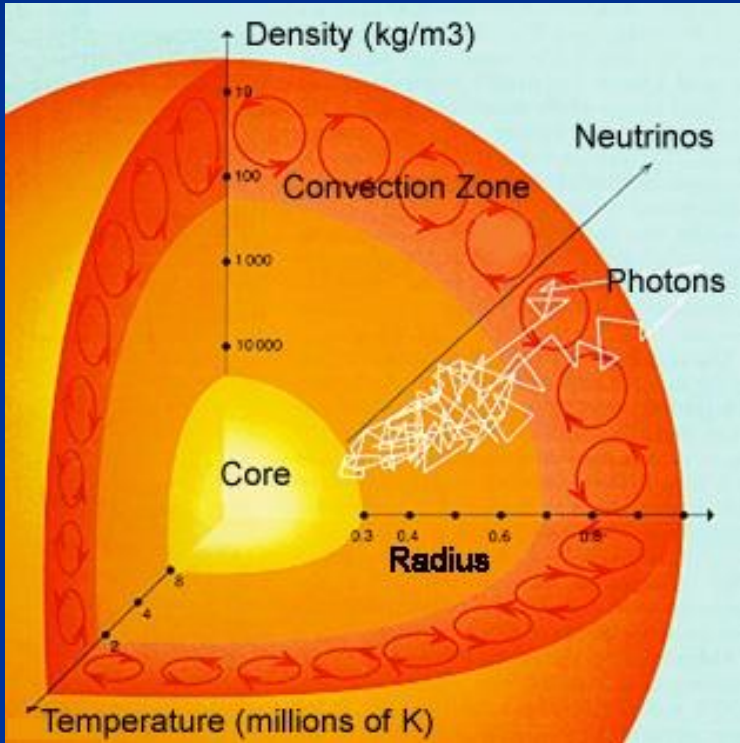
Yıldız modeller yapmak

- Yıldız yapısını tanımlayan yasalar denklemler halinde ifade edilir ve bir bilgisayar vasıtasıyla çözülür
- Bilgisayar, Güneş'in veya yıldızın her noktasındaki sıcaklığı, yoğunluğu, basıncı ve gücü hesaplar. Buna model denir
- Güneşin merkezinde, yoğunluk su yoğunluğundan 150 kat daha fazla ve sıcaklık $\sim 15,000,000$ K!



Güneş'in iç kısmında, bilgisayarla yapılan bir "model"e dayanır

- Sıcak çekirdeğin içinde, nükleer reaksiyonlar hidrojeni helyuma karıştırarak enerji üretir
- Radyasyon bölgesinde, çekirdeğin üzerinde, enerji radyasyon mekanizması aracılığıyla dışarıya doğru akar
- Konvektif bölgede, radyasyon alanı ve yüzey alanı arasında, enerji konveksiyon ile dışa doğru akar
- Yüzeydeki fotosfer, yıldızın saydam hale geldiği katmandır



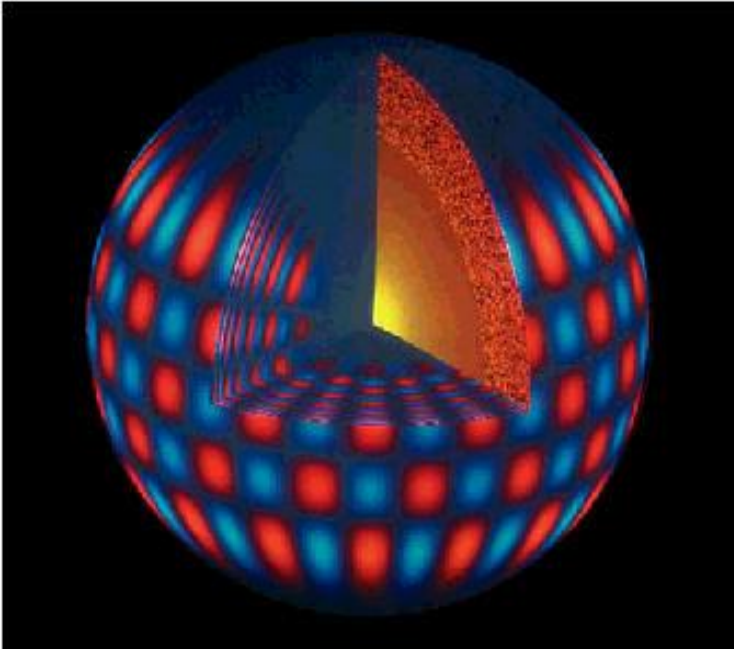
Güneş modeli

Kaynak: Teorik Fizik Enstitüsü,
Oslo Üniversitesi



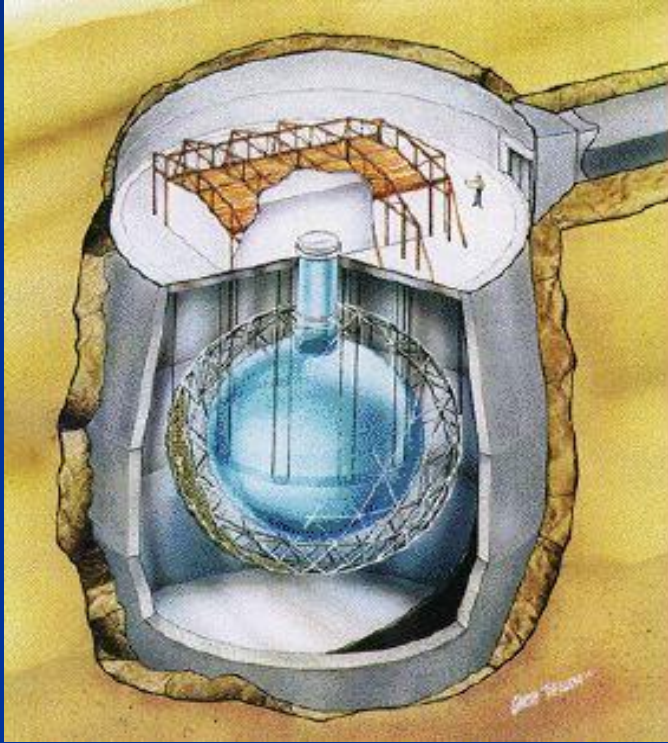
Helyosismolojik modeli test etme

- Güneş binlerce şekilde (örüntüler) hafifçe titreşir. Bunlardan biri soldaki resimde gösterilir
- Bu titreşimler gözlenebilir ve biz bunları Güneş'in iç yapısını, Güneş'in yapısının mevcut modellerini test ederek, çıkartmak için kullanabiliriz. Bu süreç heliosismoloji olarak bilinir
- Diğer yıldızlarda da benzer titreşimler gözlenebilir: astrosismoloji



Güneş titreşiminin sanatsal kavramı.
Kaynak: ABD Ulusal Optik Astronomi
Gözlemevi

Güneş nötrino modelini test ediyorum



- Nükleer füzyon reaksiyonları nötrino denen temel parçacıkları üretir.
- Kütleleri çok düşüktür ve nadiren maddeyle etkileşirler.
- Kütleleri, Sudbury Nötrino Gözlemevi (solda) gibi özel gözlemevleri sayesinde tespit edildi ve ölçüldü. Sonuçlar modellerde elde edilen tahminlerle tutarlıdır

Nötrino Gözlemevi, Sudbury
Kaynak: Sudbury Nötrino Gözlemevi



Yıldız yaşamının süresi

- Bir yıldızın yaşam süresi, sahip olduğu nükleer yakıtta (hidrojen) ve onu ne kadar hızlı tüketeyeğine (güç) bağlıdır
- Güneşimizden daha az kütleli yıldızlar en yaygın olanlarıdır. Daha az yakıtları var, ama çok daha küçük güçleri var, yani daha uzun ömürleri var
- Güneş'ten daha büyük yıldızlar daha az yaygındır. Daha fazla yakıtları var, ama daha yüksek güçler, bu nedenle daha kısa ömürleri var



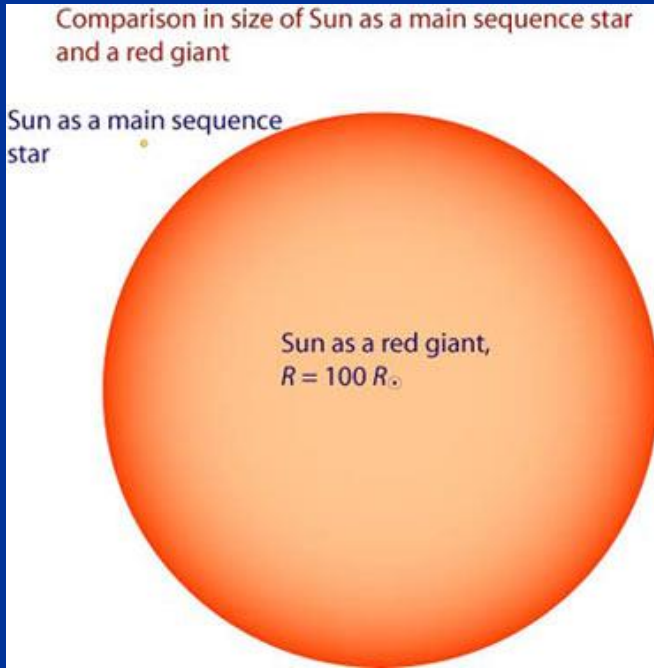
Gökbilimciler yıldız evrimini nasıl öğrenirler?

- Yıldızları hayatlarının çeşitli evrelerinde gözlemlemek ve onları bir dizi mantıksal evrime koymak.
- Bilgisayarları kullanarak modeller yapmak, fizik kurallarını kullanmak ve nükleer füzyon nedeniyle oluşan yıldızların bileşimindeki değişiklikleri açıklamak.
- Yıldız kümelerini ve/veya farklı kütlelere sahip ama aynı yaştaki yıldız gruplarını incelemek.
- Yıldız yaşamının hızlı ve garip evrelerini incelemek (örneğin süpernovalar ve novalar).
- Değişken titreşimli yıldızların çalışmasıyla, evrimin neden olduğu darbe dönemindeki yavaş değişiklikleri ölçerek.



Güneş benzeri yıldızların evrimi

- Güneş benzeri yıldız, hayatının ilk ~ 90 'ında pek değişmez, termonükleer reaksiyonlara devam etmek için yeterli yakıtı (hidrojene) sahip olduğu sürece. Biz buna ana dizi yıldızı diyoruz.



- Yakıtı, hidrojen, tükendiğinde, kırmızı dev bir yıldızla dönüşür.
- Çekirdeğin içinde, sıcaklıklar helyumun karbona doğru kaynaşmasıyla enerji üretmeye başlamaya yetecek kadar artabilir.
- Helyum yakıtı bittiğinde, yıldız yeniden Güneş'ten yüzlerce kat daha büyük kırmızı bir devin içine kayar

Güneş benzeri yıldızların ölümü



Helix Gezegen Bulutsusu.
Kaynak: NASA

- Yıldız bir kırmızı deve dönüştüğünde titreşmeye başlar (titreşmeye). Biz ona Mira yıldızı diyoruz.
- Nabız yıldızın dış katmanlarının ayrılmasına neden olur ve güzel bir gezegen nebulası (solda) oluşur
- Yıldızın çekirdeği bir cüce, yoğun, beyaz, küçük ve yakıtsız

Beyaz cüce

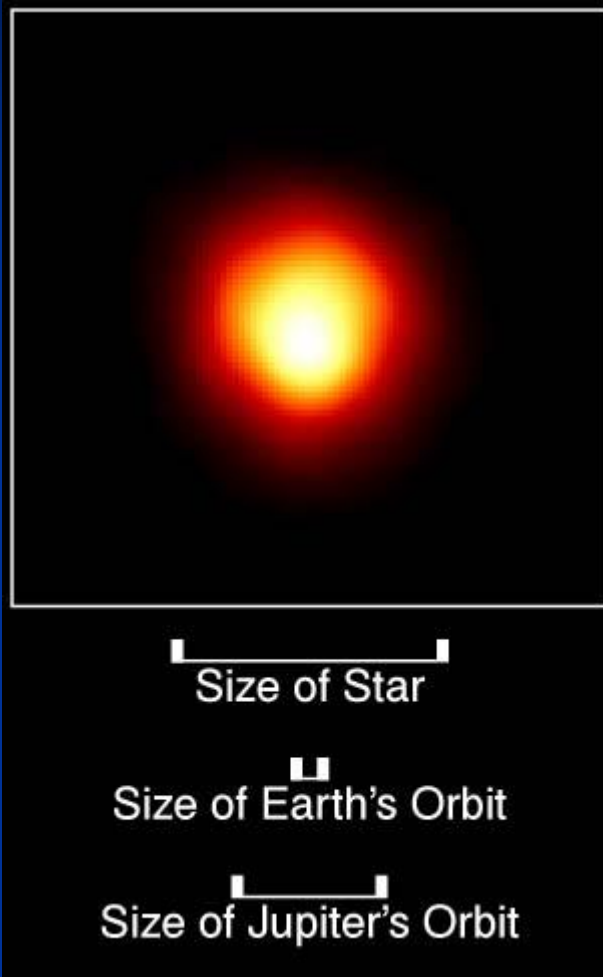


Beyaz cüce arkadaşı (aşağıda)
Sirius (üstte). Kaynak NASA

- Beyaz bir cüce Güneş benzeri yıldızların ölü çekirdeğini temsil eder.
- Beyaz bir cüce yıldızın Güneş'e benzer bir kütlesi, Dünya'ya benzer bir hacmi ve sudan milyonlarca kat daha büyük bir yoğunluğu vardır.
- Beyaz bir cüce içinde merkezci kütle çekimi kuvveti, içindeki elektronların dış kuantum basıncıyla dengelenir.
- Aralarında Sirius (solda) ve Procyon'un da bulunduğu birçok yakın yıldızın beyaz cüce arkadaşları var.



Devasa bir yıldızın evrimi



- Büyük yıldızlar nadir, güçlüdür ve yakıtlarını çok hızlı bir şekilde tüketirler - birkaç milyon yıl içinde.
- Yakıtlarını harcadıklarında, şişerler ve kıızıl süperdev yıldızlar olurlar
- Çekirdekleri çok sıcak, demir gibi ağır elementler üretecek kadar.
- Betelgeuse (solda), Orion takımyıldızında, parlak kırmızı bir süperdevdir. Dünya'nın yörüngesinden çok daha büyüktür.

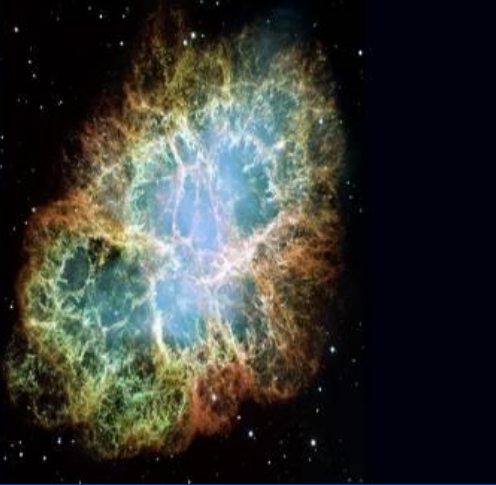
Betelgeuse.

Kaynak: NASA/ESA/HST



Devasa bir yıldızın ölümü

- Büyük bir yıldızın çekirdeği ağırlıklı olarak demirden oluştuğunda, füzyona devam edecek nükleer yakıtı kalmaz ve artık sıcak kalamaz.
- Yerçekimi, bir nötron yıldızında çekirdeği ezer, muazzam miktarda yerçekimi enerjisi bırakır ve yıldızı bir süpernova patlamasına (solda) götürür.
- Süpernovalar demirden daha ağır elementler üretir, ve bunları ve diğer elementleri uzaya atar, yeni yıldızların, gezegenlerin ve canların bir parçası olacak elementler



Yengeç bulutsusu, kalıntıları süpernova patlaması gözlemlendi M.S. 1054 yılında. Kaynak: NASA

Nötron yıldızları



- Güneş'in kütlesinin 1,5 ila 3 katı kütleyle sahip yıldız çekirdekleri çöküyor ve yıldız yaşamlarının sonunda nötron yıldızları oluyor.
- Yaklaşık 10 km'lik çaplara ve sudan trilyonlarca kat daha büyük yoğunluklara sahipler.
- Nötronlardan ve daha egzotik parçacıklardan yapılmışlardır.
- Genç nötron yıldızları hızla döner ve radyoda düzenli radyasyon sinyalleri yayar ve pulsarlar olarak bilinirler.

Pulsar, nötron yıldızı
Yengeç Bulutsusu Döner Enerji
Bu enerji dolu bir Nebula yayıyor.
Kaynak: NASA/ESA/HST

Kara delikler



Cygnus X-1'in sanatsal anlayışı,
görünür bir yıldız (solda) ve kara
delik
(sağda) toplama diskinin ortasında.
Kaynak: NASA

- Kara delik, yerçekimi o kadar güçlü olan astronomik bir nesnedir ki ondan hiçbir şey kaçamaz, ışık bile.
- Olağandışı devasa yıldızların çekirdekleri (Güneş'in kütlesinin 30 katından fazla) yakıtları bittiğinde kara deliklere dönüşür.
- Kara delik algılamasının bir yolu: görünür bir yıldız etrafında dönüyorsa (sol).

Değişken yıldızların özel vakaları



- Beyaz cüceler, kara delikler ya da nötron yıldızları gibi birçok yıldız kalıntısı onların etrafında dönen normal görünür bir yıldıza sahiptir.
- Normal yıldızdan gelen gaz yıldız kalıntısına düşerse, toplama diski onun etrafında oluşabilir (solda).
- Gaz yıldız kalıntısına düştüğünde patlayabilir, püskürtebilir ya da patlayabilir. Biz buna katakulismik değişken yıldız diyoruz

Bir çift normal yıldız (sol) ve akreditasyon diski olan beyaz bir cüce yıldız arkadaşından gaz çalmak (sağda).
Kaynak: NASA



Yıldızların doğuşu

- Yıldızlar, soğuk gaz ve tozdan oluşan moleküler bulutların (bulutsuların) içinde oluşur.
- Yıldızlararası toz ve gaz, Galaksimizdeki maddenin yaklaşık %10'udur.
- Genç yıldızlar genellikle ortaya çıktıkları nebulanın içinde veya yakınında bulunabilirler.
- Bir yıldız oluşum bölgesinin en yakın ve net örneği bizden yaklaşık 1500 ışık yılı uzaklıktaki Orion bulutsusudur.



Orion Bulutsusu
Kaynak: NASA



Yıldızlararası gaz

Yıldızlar arasındaki gaz



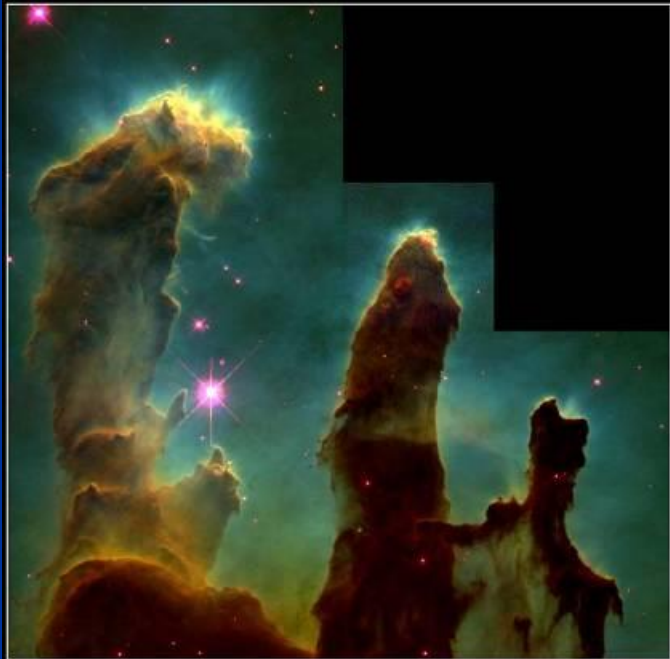
- Yıldızlararası gaz (atomlar veya moleküller), yakındaki bir yıldızdan gelen ultraviyole ışıkla etkinleştirilebilir ve emisyon nebulası (solda) üretilebilir.
- Yıldızlar arasındaki soğuk gaz, radyo teleskopları tarafından tespit edilebilen radyo dalgaları üretir.

• Yıldızlararası gazın %98'i hidrojen ve helyumdan oluşur.

Orion bulutsusu. Gaze enerji veren nebuladaki yıldızlardan gelen ultraviyole ışığı.
Kaynak: NASA



Yıldızlar arasında yıldızlararası toz



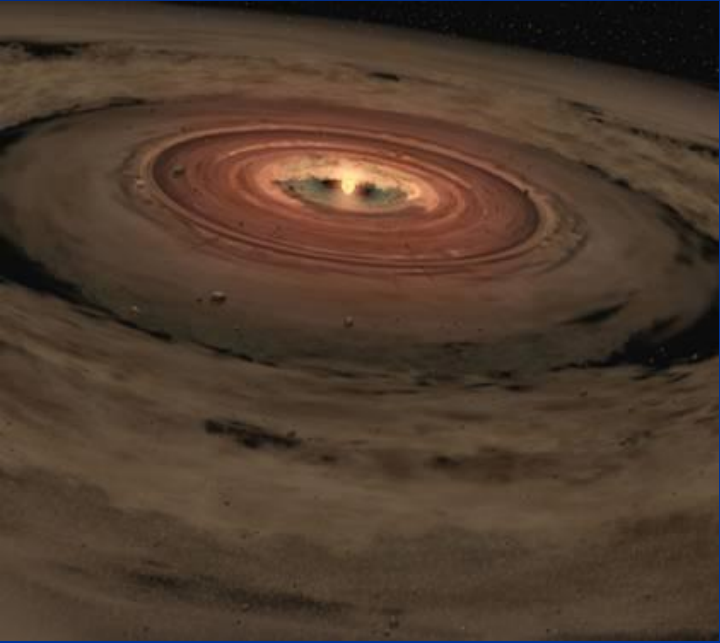
Gaseous Pillars • M16 HST • WFPC2
PRC95-44a • ST ScI OPO • November 2, 1995
J. Hester and P. Scowen (AZ State Univ.), NASA

M16

Kaynak: NASA/ESA/HST

- Parlak yıldızların yakınında yıldızlararası toz spektrumun görünür kısmında tespit edilebilir
- Toz, ışığı yıldızlardan ve arkadan (sol) gaz bulutlarından engelleyebilir. Yıldızlar bu bulutlarda oluşur.
- Yıldızlar arasındaki maddenin sadece %1'i tozdur. Toz parçacıkları birkaç yüz nm büyüklüğündedir ve çoğunlukla silikat ya da grafit büyüklüğündedir

Yıldız oluşumu



- Yıldızlar, yoğun veya sıkıştırılmış olan çekirdek denilen bir nebula'nın parçalarının içinde oluşurlar.
- Yerçekimi çekirdeğin çekiminden sorumludur.
- Açısal momentumun korunumu, düzleşen ve sonunda diske dönüşen çekirdeğin dönüşünü artırır.
- Yıldızlar disklerin ortasında oluşurlar. Gezegenler diskin dış kısımları olan daha soğuk yerlerde oluşur.



Gezegensel sistemin sanatsal kavramı
formasyon sürecinde.
Kaynak: NASA

Öngezegensel diskler: Oluşum sürecinde gezegensel sistemleri sağlar



Proplyd'ler

Kaynak: NASA/ESA/HST

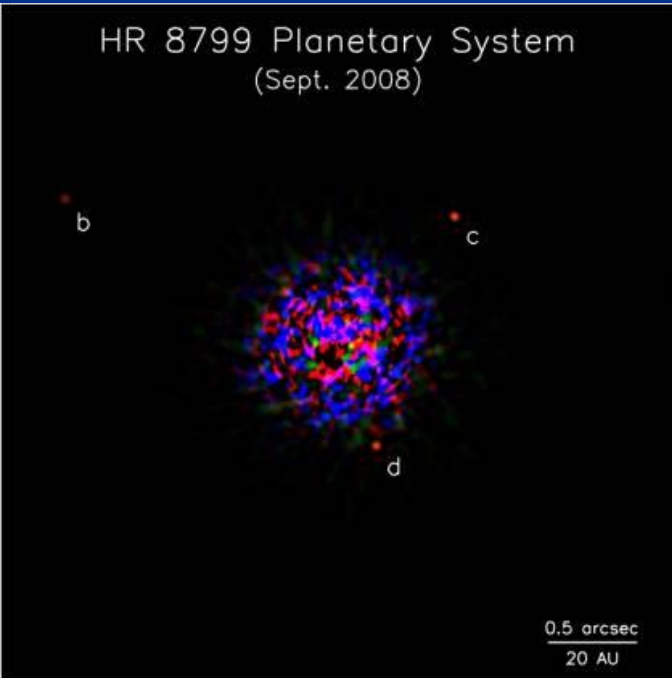
- Öngezegensel diskler Orion nebulasında gözlenmiştir (solda)
- Yıldız, diskin ortasında güçlükle görülebiliyor.
- Toz diski arkasındaki ışığı engelledi.
- Bu ve diğer gözlemler gezegensel sistemlerin oluşumuna dair doğrudan bir kanıt sağlamaktadır.



Dış gezegenler = Güneş dışı gezegenler

Gezegenler diğer yıldızların etrafında

- Dış gezegenler genellikle yıldızdaki yerçekimsel etkiyle ya da geçiş gerçekleşirse yıldızındaki ışığın kararmasıyla keşfedilir ve incelenir.
- Çok azı doğrudan yakalanmıştır (solda).
- Güneş sistemimizdeki gezegenlerin aksine, birçok dış gezegen büyüktür ve yıldızına çok yakındır. Bu, gökbilimcilerin gezegen sistemlerinin nasıl oluştuğu hakkındaki teorilerini değiştirmelerine/düzeltilmelerine olanak sağlar.



Sistem dış gezegeni HR 8799

Kaynak: C. Marois et al., NRC Canada



Nihai hususlar

- "Yıldızların oluşumu, yaşamı ve ölümünü yer çekimi yönlendiriyor." [Profesör R.L. Bishop]
- Bir yıldızın doğuşu, Güneş Sistemimizin ve diğer gezegensel sistemlerin kökenini açıklar.
- Yıldızın yaşamı, Dünya'da yaşamı mümkün kılan enerji kaynağını açıklar.
- Yıldızların yaşamı ve ölümü hidrojenden daha ağır kimyasal elementler üretir, yıldızlar, gezegenler ve yaşam bunlardan oluşur.
- Bir yıldızın ölümü sırasında, yerçekimi evrendeki en garip nesneleri üretir: beyaz cüceler, nötron yıldızları ve kara delikler.



Dikkatiniz için çok
teşekkürler!

