



图1（上）：中国西汉海昏侯墓中出土的金饼。

Periodic Table of the Elements

Symbol

Group

Period

Block

Lanthanide Series

Actinide Series

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 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

55 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

元素周期表，图片来源：Sciencenotes.org

常见的金原子核中包含79个带正电的质子和118个不带电的中子。单个质子和单个中子的质量差不多，质子的数目决定了原子属于哪一种元素。具有同样质子数但不

同中子数的原子互为同位素。金原子有 5 种主要的同位素，但只有包含118个中子的这种是稳定的。

葛洪在炼丹炉里将赤丹加热转化为水银，不过是让汞原子和硫原子最外层的电子数目发生了一些变化。距离改变原子核的属性还差得很远。事实上，直到1932年，查德威克用一束 $\alpha$ 射线（就是氦原子核）轰击硼原子，敲出了硼原子核中的中子，并且将硼原子转化成了氮的同位素( $^{13}\text{N}$ )，人类才第一次真正解锁了操作原子核的技能（严格来说，在查德威克之前已经有科学家打破过原子核，但查德威克是第一个提出正确理论解释的人）。

不过，除了在少数的物理学实验室或者是大型对撞机里，原子在地球上是相当“安全”的。诚然，有些自然界发生的化学反应会使得原子丢失一两个电子，但除非原子本身不稳定，无论是火山口的熔岩中，还是地球核心的高温高压环境，都难以伤害原子核分毫。那么，问题来了。地球上为什么会存在黄金呢？更进一步地，地球上为什么会存在这么多种不同的元素呢？

### 太阳能生成黄金么？

黄金的起源需要到宇宙空间中追寻。从宇宙历史中看，大规模的“炼金活动”只有两种可能的场所：宇宙大爆炸和恒星熔炉。在这些极端环境中，原子核携带了极高的动能。当它们互相碰撞时，原子核之间的库伦斥力也无法阻挡原子核的结合。新的元素可以从其中诞生。

宇宙曾经在早期处于一种高温高密度的状态。在宇宙诞生早期，宇宙空间是充斥着纯粹能量的海洋。随着宇宙膨胀，宇宙空间的温度会下降，基本粒子开始从热平衡中冻结出来。在宇宙大爆炸后1秒，宇宙充满了自由的质子（也就是氢原子核）和自由的中子。在随后的3分钟里，几乎所有的中子都被原子核俘获，净效应是产生了大量的氦元素。宇宙中普通物质总量的1/4变成了氦。

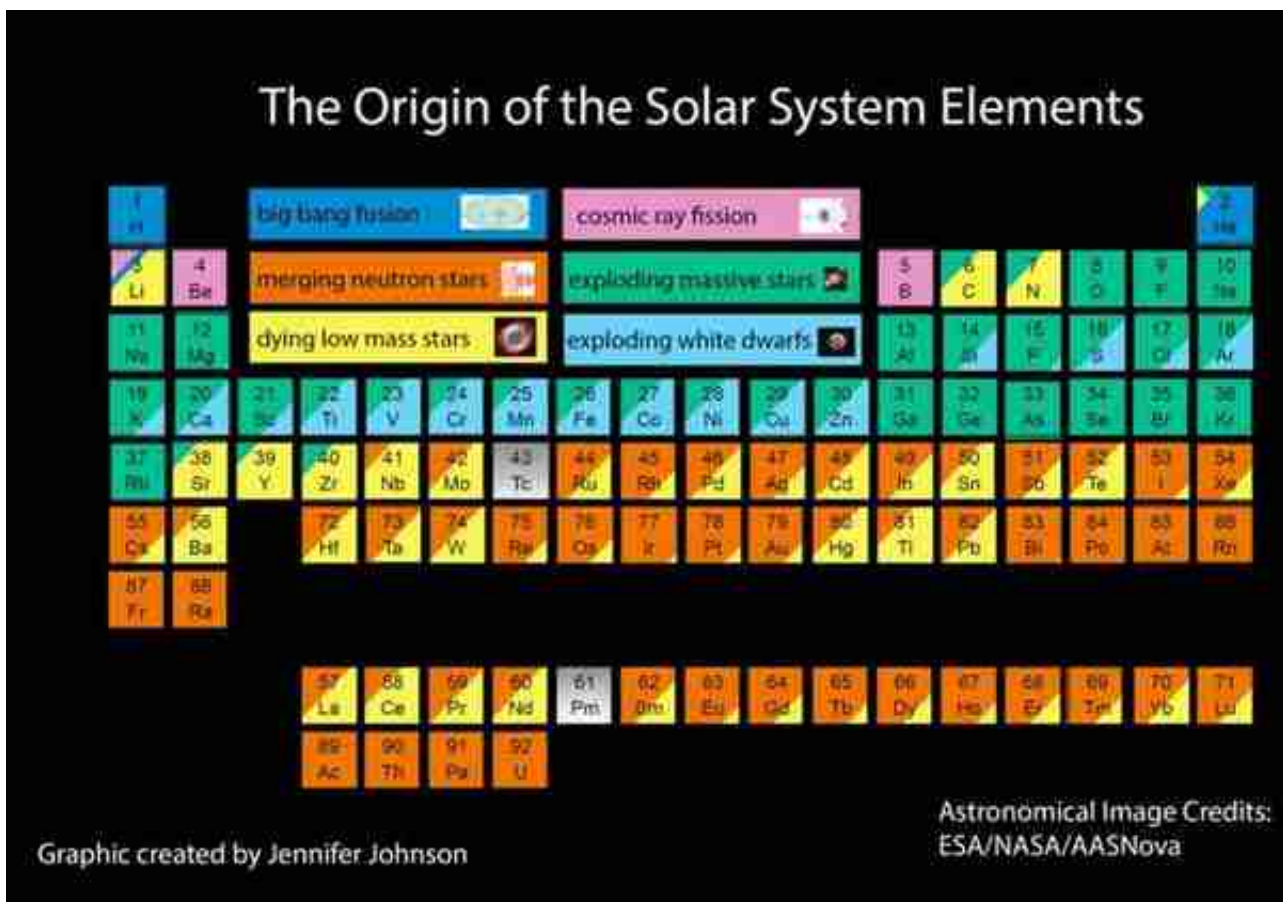
宇宙大爆炸早期合成元素虽然很高效，但很快后力不继。随着宇宙的膨胀，宇宙中原子之间的平均距离越来越大，宇宙中的温度也变得越低，这意味着原子之间的碰撞变得越来越困难。在氦原子（ $4\text{He}$ ）合成后，宇宙中的温度和密度已经不再适合更高序号的元素合成，只有极为少量的锂元素（ $7\text{Li}$ ）合成。

宇宙在锂元素形成后陷入了无聊，没有光，也没有生气。但在黑暗中，氢元素和氦元素渐渐汇聚，酝酿恒星的革命。在宇宙大爆炸大约1亿年后，第一批恒星诞生了。一般认为这些恒星相比太阳都是巨无霸，它们的能量倾泻而出，再次照亮了宇宙。在这些恒星的核心，氢元素和氦元素被加工为更高序数的元素。

地球的主星——太阳的核心也在进行着这样的元素加工活动。在太阳的中心，温度高达1500万摄氏度。在这样的温度下，两个氢原子核会携带很高的动能互相碰撞，聚合成更高序号的原子。不过，太阳当然不会是地球上黄金的来源，因为太阳和地球几乎在差不多的时间形成（约为50亿年前），还来不及合成重元素，更不要说将重元素传递给地球。

太阳已经在它的核心处进行了50亿年的元素创造，但依然在产生氦原子。具体来说，两个氢原子核也就是两个质子相互碰撞，形成包含一个质子和一个中子的氘原子核（ $2H$ ），同时放出一个正电子和一个中微子。氘原子核随后可以结合一个氢原子核转化为氦的同位素 $3He$ 。两个 $3He$ 原子核可以合成一个 $4He$ 原子核并且释放出两个质子（图2）。

这一系列反应中，氘和 $3He$ 只不过是中间产物，净效果是4个氢原子核合成了一个氦原子核（ $4He$ ）。一个氦原子的质量略小于四个氢原子的质量之和。这中间的质量差别都转化为了太阳的光和热。每秒钟太阳会将六亿吨的氢原子转化为氦原子，产生的能量中极其微小的一部分被地球接收到，供给地球上的生命所需。



□ 图3：太阳系元素的起源。蓝色的元素是由宇宙大爆炸合成的，橘黄色的重元素来

自于双中子星合并[13]。

2017年8月，一次双中子星合并产生的引力波被LIGO探测到。同时，在伽马射线波段工作的费米卫星也在同一天区监测到了一次短伽马射线暴现象。这是第一次，人类从观测上正式确认了中子星合并和伽马射线的联系。此前的所有引力波探测事件，都是由双黑洞合并引起的，这也是第一次人类有可能同时用引力波和电磁波两种手段探测天体爆发事件。

讯息一经公布，引起了全球天文学家热情地跟踪观测，超过70家天文台对这个天区进行了详细的跟踪观测。很快地，这个天区如理论预期般，短暂的出现了明亮的天体——千新星。

通过分析它的光谱和亮度变化，研究者们很大程度上肯定了在这次双中子星合并事件中，确实产生了重元素。另一些研究者的计算表明，如果我们看到的这次合并现象不是纯然的巧合，那么中子星合并也许真的足以产生宇宙中大多数的黄金[4,6,7]

。

Joni Mitchell的歌中唱到：“我们是星尘”。这是真的！不仅仅是我们自身，我们日常接触到的世界上的一切事物，都来自于宇宙。黄金，虽然形成历史曲折，但也同样是来自宇宙的尘埃。天文学家研究黄金的来源，并非为了获取黄金，而是醉心于了解宇宙万物间的联系。

据说，在双中子星合并被探测到不久，黄金市价因为随之而来的“引力波探测到黄金”新闻有小幅的下跌。是否热衷黄金交易的人们也多少感到了宇宙的浩渺，时空无限，而对自己收集宇宙尘埃的乐此不疲的生涯感到一丝怀疑呢？

## 作者简介

·李然，毕业于北京大学天文系，获理学学士学位（2006年）和博士学位（2011年）。其后在国家天文台从事博士后研究，现在为国家天文台星云计划研究员。主要研究领域：引力透镜，星系形成以及宇宙学。其科普著作《漫步到宇宙尽头》入选科技部2017年度优秀科普图书。

## 参考文献：

[1] 《抱朴子内篇·黄白第十六》，葛洪

[2] 《枪炮、细菌与钢铁》，贾雷德·戴蒙德

[3] 《诗意的原子》, 科特.施塔格

[4] 《自然》文集 : Kilonovae, short gamma-ray bursts & neutron star mergers

<https://www.nature.com/collections/gghkrvklfb> , M. Coleman Miller等人

[5] Transient Events from Neutron Star Mergers, Li, L.-X., Paczyński, B., 1998, ApJ, 507, 59

[6] The Origin of r-process Elements in the Milky way, Cote, B. et al., 2017, Arxiv:171005875

[7] GW170817: Observation of Gravitational Waves from a Binary Neutron Star Inspiral, Abbott, B.P. et al., 2017,PRL, 119, 1101

[8] Black-hole-neutron-star collisions, Lattimer, J. M., Schramm, D. N, 1974, ApJ, 192, 145

[9] A new test of general relativity - Gravitational radiation and the binary pulsar, Taylor, J. H., Weisberg, J. M., 1982, ApJ, 253, 908

[10] <https://www.york.ac.uk/nanocentre/facilities/fetem/>

[11] <http://collection.sina.com.cn/jczs/2015-12-04/doc-ifxmisxu6239494.shtml>

[12] <http://odec.ca/projects/2009/xing9d2/img/img2.jpg>

[13] <http://blog.sdss.org/2017/01/09/origin-of-the-elements-in-the-solar-system/>

制版编辑 : Livan |

本页刊发内容未经书面许可禁止转载及使用

公众号、报刊等转载请联系授权

copyright@zhishifenzi.com

知识分子为更好的智趣生活 ID : The-Intellectual