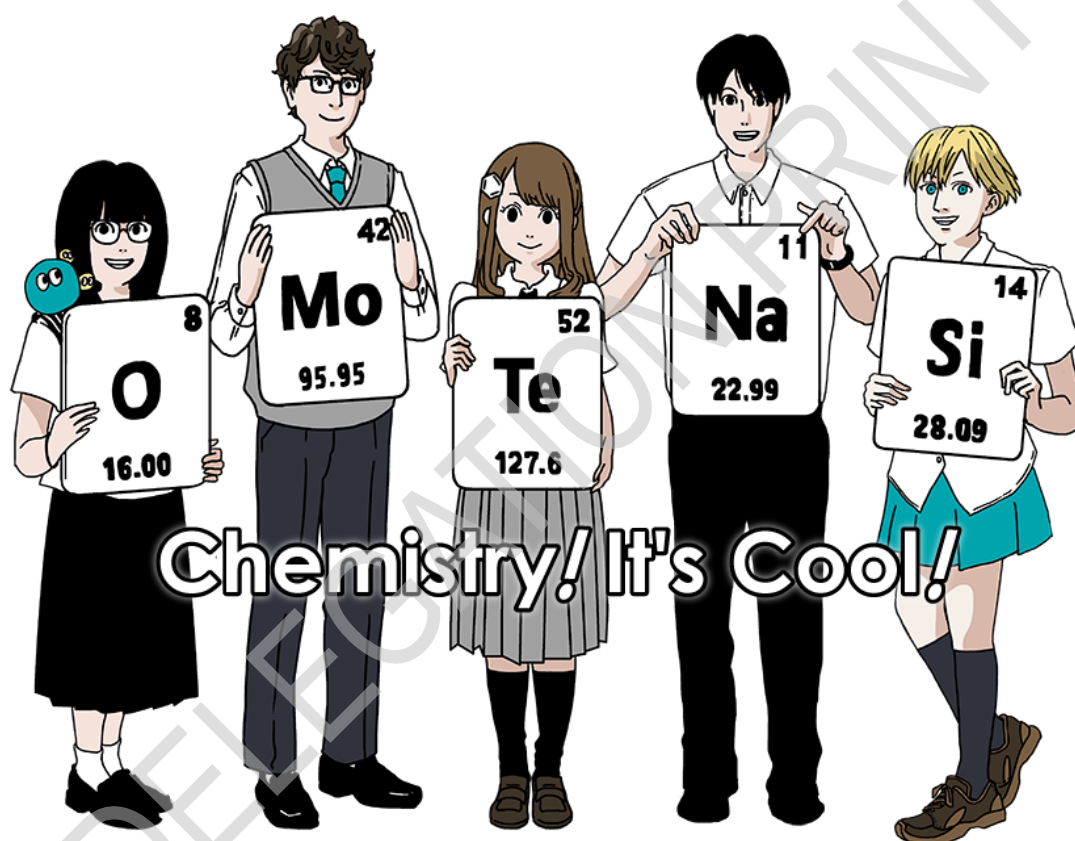


2021 国际化学奥林匹克 日本  
第 53 届 IChO2021 日本  
2021 年 7 月 25 日-8 月 2 日  
<https://www.icho2021.org>





## 通则

- 只能用墨水笔回答问题。
- 只能使用非编程计算器。
- 一共有 **9 道题**。
- 你可以按照任何顺序回答问题。
- 考试时间 **5 小时**。
- 只有在**开始 (START)** 指令发出后, 才可以**开始 (Begin)** 答题。
- 所有结果必须用墨水笔书写在**答题纸**指定的相应答题框中。可以在试卷的背面打草稿。谨记写在答题框外的答案不予评判。
- 相关的计算须写在指定的答题框中。只有写出过程且得出正确答案的才能得满分。
- 在**停止 (STOP)** 命令发出前 **30 分钟**, 监考人员将给予提醒。
- 当**停止 (STOP)** 命令发出后, 必须立即停止答题。若不停止书写, 将导致你的考试无效。
- 为准确理解题意, 可向监考老师索要英文原版试卷。
- 未经允许, 不许离开座位。如果需要帮助 (如计算器有问题, 需要去洗手间, 等等), 请举手, 待监考老师过来。

祝好运!

## 考题和评判信息。

|    | 题目         | 分数  | 百分比 |
|----|------------|-----|-----|
| 1  | 金属表面的氢     | 24  | 11  |
| 2  | 同位素时光胶囊    | 35  | 11  |
| 3  | 朗伯—比尔定律    | 22  | 8   |
| 4  | 锌的氧化还原化学   | 32  | 11  |
| 5  | 神秘的硅元素     | 60  | 12  |
| 6  | 过渡金属的固体化学  | 45  | 13  |
| 7  | 趣玩非苯芳香性    | 36  | 13  |
| 8  | 动态有机分子及其手性 | 26  | 11  |
| 9  | 胶囊的好与恶     | 23  | 10  |
| 总分 |            | 100 |     |

## 物理常数和公式

### 常数

|               |                                                                                                                                                    |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 真空中的光速        | $c = 2.99792458 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$                                                                                                      |
| 普朗克常数         | $h = 6.62607015 \times 10^{-34} \text{ J s}$                                                                                                       |
| 元电荷           | $e = 1.602176634 \times 10^{-19} \text{ C}$                                                                                                        |
| 电子质量          | $m_e = 9.10938370 \times 10^{-31} \text{ kg}$                                                                                                      |
| 电常数 (真空介电常数)  | $\varepsilon_0 = 8.85418781 \times 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$                                                                                      |
| 阿伏加德罗常数       | $N_A = 6.02214076 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$                                                                                                 |
| 玻尔兹曼常数        | $k_B = 1.380649 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$                                                                                                  |
| 法拉第常数         | $F = N_A \times e = 9.64853321233100184 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$                                                                            |
| 气体常数          | $R = N_A \times k_B = 8.31446261815324 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$<br>$= 8.2057366081 \times 10^{-2} \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ |
| 统一的原子质量单位     | $u = 1 \text{ Da} = 1.66053907 \times 10^{-27} \text{ kg}$                                                                                         |
| 标准压力          | $p = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$                                                                                                              |
| 大气压           | $p_{\text{atm}} = 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$                                                                                                  |
| 零摄氏度          | $0^\circ\text{C} = 273.15 \text{ K}$                                                                                                               |
| 埃             | $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$                                                                                                               |
| 皮米            | $1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$                                                                                                                |
| 电子伏特          | $1 \text{ eV} = 1.602176634 \times 10^{-19} \text{ J}$                                                                                             |
| 百万分之一         | $1 \text{ ppm} = 10^{-6}$                                                                                                                          |
| 十亿分之一         | $1 \text{ ppb} = 10^{-9}$                                                                                                                          |
| 万亿分之一         | $1 \text{ ppt} = 10^{-12}$                                                                                                                         |
| 圆周率           | $\pi = 3.141592653589793$                                                                                                                          |
| 自然对数的底数 (欧拉数) | $e = 2.718281828459045$                                                                                                                            |

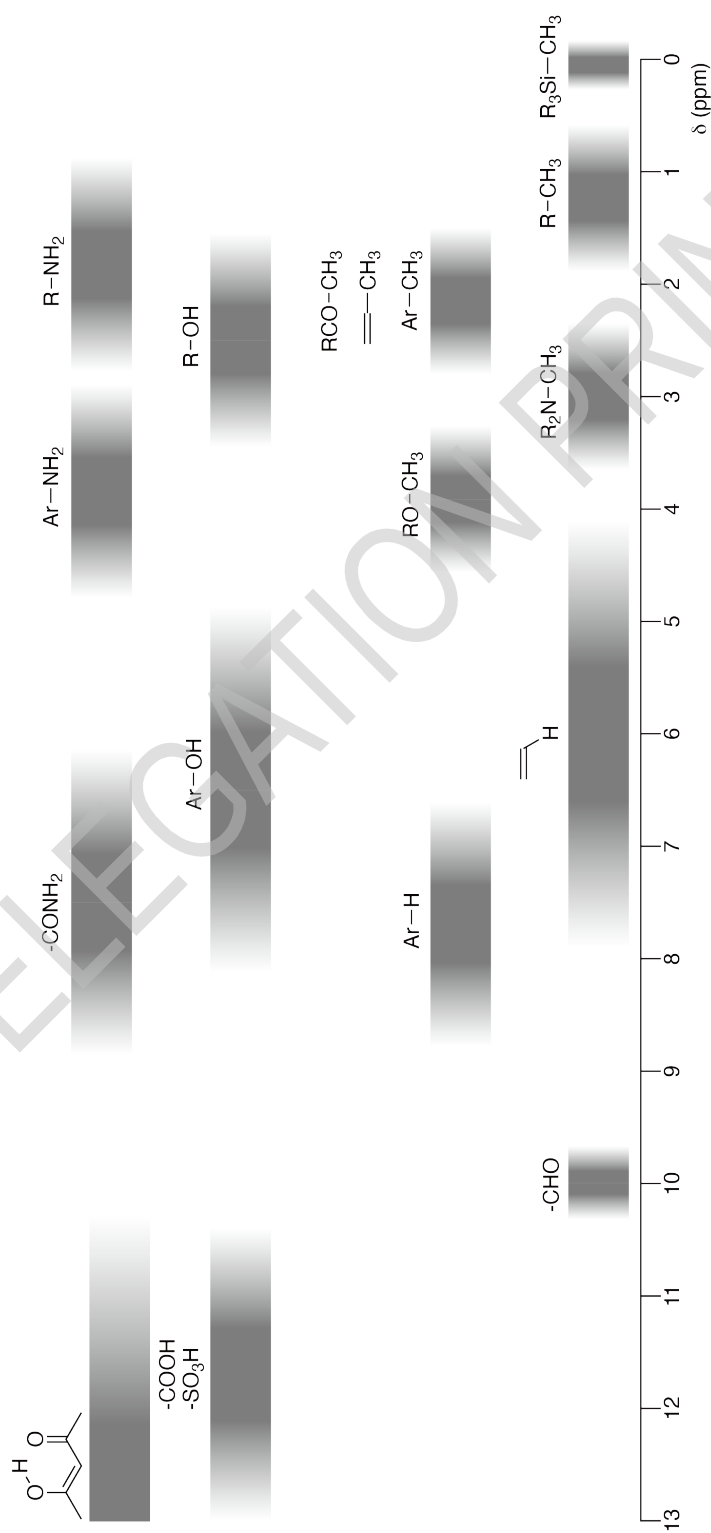
## 公式

|                |                                                                                                                                                        |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 理想气体方程         | $PV = nRT$ , $P$ 是压力, $V$ 是体积, $n$ 是物质的量, $T$ 是理想气体的绝对温度。                                                                                              |
| 库仑定律           | $F = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2}$ ,<br>$F$ 是静电力, $k_e (\approx 9.0 \times 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2})$ 是库伦常数, $q_1$ 和 $q_2$ 是电荷电量, $r$ 是电荷间距离。      |
| 热力学第一定律        | $\Delta U = q + w$ , $\Delta U$ 是内能变, $q$ 是热, $w$ 是功。                                                                                                  |
| 焓 $H$          | $H = U + PV$                                                                                                                                           |
| 基于玻尔兹曼原理的熵 $S$ | $S = k_B \ln W$ , $W$ 是微观状态数。                                                                                                                          |
| 熵变 $\Delta S$  | $\Delta S = \frac{q_{\text{rev}}}{T}$ , $q_{\text{rev}}$ 是可逆过程的热量。                                                                                     |
| 吉布斯自由能 $G$     | $G = H - TS$<br>$\Delta_r G^\circ = -RT \ln K = -zFE^\circ$ , $K$ 是平衡常数, $z$ 是电子数, $E^\circ$ 是标准电极电势。                                                  |
| 反应商 $Q$        | $\Delta_r G = \Delta_r G^\circ + RT \ln Q$<br>对于如下反应<br>$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$<br>$Q = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$ , $[A]$ 是 A 的浓度。 |

|                |                                                                                                                                                                  |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 热交换 $\Delta q$ | $\Delta q = nc_m \Delta T$ , $c_m$ 为与温度无关的摩尔热容。                                                                                                                  |
| 氧化还原反应的能斯特方程   | $E = E^\circ + \frac{RT}{zF} \ln \frac{C_{\text{ox}}}{C_{\text{red}}}$ , $C_{\text{ox}}$ 为氧化态物质的浓度, $C_{\text{red}}$ 为还原态物质的浓度。                                  |
| 阿伦尼乌斯方程        | $k = A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$ , $k$ 是速率常数, $A$ 是指前因子, $E_a$ 是活化能。<br>$\exp(x) = e^x$                                                                  |
| 朗伯—比尔定律        | $A = \varepsilon lc$ , $A$ 是吸光度, $\varepsilon$ 是摩尔吸收系数, $l$ 是光程, $c$ 是溶液浓度。                                                                                      |
| 亨德森—哈塞尔巴尔赫方程   | 对于如下平衡<br>$\text{HA} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{A}^-$ , $K_a$ 为平衡常数,<br>$\text{pH} = \text{p}K_a + \log\left(\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}\right)$ |
| 光子的能量          | $E = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$ , $\nu$ 是光的频率, $\lambda$ 是光的波长。                                                                                                  |
| 几何级数的和         | 当 $x \neq 1$ 时, $1 + x + x^2 + \dots + x^n = \sum_{i=0}^n x^i = \frac{1 - x^{n+1}}{1 - x}$                                                                       |
| 解题可能用到的近似方程    | 当 $x \ll 1$ 时, $\frac{1}{1 - x} \simeq 1 + x$                                                                                                                    |

|                             |                               |                             |                              |                                 |                                |                               |                                 |                             |                                |                             |                                |                               |                                |                                |                               |                                |                                 |                            |                              |                              |                              |                           |                               |                                 |                               |                                |                               |                               |                                |                                |                              |                                 |                               |                                 |                                |                                 |                                |                                 |                               |                                |                               |                            |                                 |                                 |                              |                              |                               |                               |                               |                               |                                     |                                  |                                 |                                |                                 |                                  |                                |                                   |                                |                               |                                |                                  |                                 |                              |                                 |                                      |                                |                                 |                                 |                                 |                              |                                 |                                   |                                   |                               |                                   |                                |                                  |                                 |                                  |                                   |                                |                                |                             |                                |                              |                               |                                 |                                      |                                |                                 |                                 |                                 |                              |                                 |                                   |                                   |                               |                                   |                                |                                  |                                 |                                  |                                   |                                |                                |                             |                                |                              |                               |                                 |                                      |                                |                                 |                                 |                                 |                              |                                 |                                   |                                   |                               |                                   |                                |                                  |                                 |                                  |                                   |                                |                                |                             |                                |                              |                               |                                 |                                      |                                |                                 |                                 |                                 |                              |                                 |                                   |                                   |                               |                                   |                                |                                  |                                 |                                  |                                   |                                |                                |                             |                                |                              |                               |                                 |                                      |                                |                                 |                                 |                                 |                              |                                 |                                   |                                   |                               |                                   |                                |                                  |                                 |                                  |                                   |                              |
|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| 1                           | 2                             | 3                           | 4                            | 5                               | 6                              | 7                             | 8                               | 9                           | 10                             | 11                          | 12                             | 13                            | 14                             | 15                             | 16                            | 17                             | 18                              |                            |                              |                              |                              |                           |                               |                                 |                               |                                |                               |                               |                                |                                |                              |                                 |                               |                                 |                                |                                 |                                |                                 |                               |                                |                               |                            |                                 |                                 |                              |                              |                               |                               |                               |                               |                                     |                                  |                                 |                                |                                 |                                  |                                |                                   |                                |                               |                                |                                  |                                 |                              |                                 |                                      |                                |                                 |                                 |                                 |                              |                                 |                                   |                                   |                               |                                   |                                |                                  |                                 |                                  |                                   |                                |                                |                             |                                |                              |                               |                                 |                                      |                                |                                 |                                 |                                 |                              |                                 |                                   |                                   |                               |                                   |                                |                                  |                                 |                                  |                                   |                                |                                |                             |                                |                              |                               |                                 |                                      |                                |                                 |                                 |                                 |                              |                                 |                                   |                                   |                               |                                   |                                |                                  |                                 |                                  |                                   |                                |                                |                             |                                |                              |                               |                                 |                                      |                                |                                 |                                 |                                 |                              |                                 |                                   |                                   |                               |                                   |                                |                                  |                                 |                                  |                                   |                                |                                |                             |                                |                              |                               |                                 |                                      |                                |                                 |                                 |                                 |                              |                                 |                                   |                                   |                               |                                   |                                |                                  |                                 |                                  |                                   |                              |
| 1<br>H<br>Hydrogen<br>1.008 | 4<br>Be<br>Beryllium<br>9.012 | 9<br>Li<br>Lithium<br>6.968 | 11<br>Na<br>Sodium<br>22.990 | 12<br>Mg<br>Magnesium<br>24.306 | 13<br>Al<br>Aluminum<br>26.982 | 14<br>Si<br>Silicon<br>28.085 | 15<br>P<br>Phosphorus<br>30.974 | 16<br>S<br>Sulfur<br>32.068 | 17<br>Cl<br>Chlorine<br>35.452 | 18<br>Ar<br>Argon<br>39.948 | 19<br>K<br>Potassium<br>39.098 | 20<br>Ca<br>Calcium<br>40.078 | 21<br>Sc<br>Scandium<br>44.956 | 22<br>Ti<br>Titanium<br>47.867 | 23<br>V<br>Vanadium<br>50.942 | 24<br>Cr<br>Chromium<br>51.996 | 25<br>Mn<br>Manganese<br>54.938 | 26<br>Fe<br>Iron<br>55.845 | 27<br>Co<br>Cobalt<br>58.933 | 28<br>Ni<br>Nickel<br>58.693 | 29<br>Cu<br>Copper<br>63.546 | 30<br>Zn<br>Zinc<br>65.38 | 31<br>Ga<br>Gallium<br>69.723 | 32<br>Ge<br>Germanium<br>72.630 | 33<br>As<br>Arsenic<br>74.922 | 34<br>Se<br>Selenium<br>78.971 | 35<br>Br<br>Bromine<br>79.904 | 36<br>Kr<br>Krypton<br>83.798 | 37<br>Rb<br>Rubidium<br>85.468 | 38<br>Sr<br>Strontium<br>87.62 | 39<br>Y<br>Yttrium<br>88.906 | 40<br>Zr<br>Zirconium<br>91.224 | 41<br>Nb<br>Niobium<br>92.906 | 42<br>Mo<br>Molybdenum<br>95.95 | 43<br>Tc<br>Technetium<br>[99] | 44<br>Ru<br>Ruthenium<br>101.07 | 45<br>Rh<br>Rhodium<br>102.906 | 46<br>Pd<br>Palladium<br>106.42 | 47<br>Ag<br>Silver<br>107.868 | 48<br>Cd<br>Cadmium<br>112.414 | 49<br>In<br>Indium<br>114.818 | 50<br>Sn<br>Tin<br>118.710 | 51<br>Sb<br>Antimony<br>121.760 | 52<br>Te<br>Tellurium<br>127.60 | 53<br>I<br>Iodine<br>126.904 | 54<br>Xe<br>Xenon<br>131.293 | 55<br>Cs<br>Cesium<br>132.905 | 56<br>Ba<br>Barium<br>137.327 | 57-71<br>La-Lu<br>Lanthanoids | 58<br>Ce<br>Cerium<br>140.116 | 59<br>Pr<br>Praseodymium<br>140.908 | 60<br>Nd<br>Neodymium<br>144.242 | 61<br>Pm<br>Promethium<br>[145] | 62<br>Sm<br>Samarium<br>150.36 | 63<br>Eu<br>Europium<br>151.964 | 64<br>Gd<br>Gadolinium<br>157.25 | 65<br>Tb<br>Terbium<br>158.925 | 66<br>Dy<br>Dysprosium<br>162.500 | 67<br>Ho<br>Holmium<br>164.930 | 68<br>Er<br>Erbium<br>167.259 | 69<br>Tm<br>Thulium<br>168.934 | 70<br>Yb<br>Ytterbium<br>173.045 | 71<br>Lu<br>Lutetium<br>174.967 | 72-103<br>Ac-Lr<br>Actinoids | 104<br>Th<br>Thorium<br>231.038 | 105<br>Pa<br>Protactinium<br>231.036 | 106<br>U<br>Uranium<br>238.029 | 107<br>Np<br>Neptunium<br>[237] | 108<br>Pu<br>Plutonium<br>[239] | 109<br>Am<br>Americium<br>[243] | 110<br>Cm<br>Curium<br>[247] | 111<br>Bk<br>Berkelium<br>[247] | 112<br>Cf<br>Californium<br>[252] | 113<br>Es<br>Einsteinium<br>[252] | 114<br>Fm<br>Fermium<br>[257] | 115<br>Md<br>Mendelevium<br>[258] | 116<br>No<br>Nobelium<br>[259] | 117<br>Lr<br>Lawrencium<br>[262] | 118<br>Og<br>Oganesson<br>[294] | 119<br>Ts<br>Tennessine<br>[293] | 120<br>Lv<br>Livermorium<br>[293] | 121<br>Po<br>Polonium<br>[210] | 122<br>At<br>Astatine<br>[210] | 123<br>Rn<br>Radon<br>[222] | 124<br>Fr<br>Francium<br>[223] | 125<br>Ra<br>Radium<br>[226] | 126-128<br>Ac-Lr<br>Actinoids | 129<br>Th<br>Thorium<br>232.038 | 130<br>Pa<br>Protactinium<br>231.036 | 131<br>U<br>Uranium<br>238.029 | 132<br>Np<br>Neptunium<br>[237] | 133<br>Pu<br>Plutonium<br>[239] | 134<br>Am<br>Americium<br>[243] | 135<br>Cm<br>Curium<br>[247] | 136<br>Bk<br>Berkelium<br>[247] | 137<br>Cf<br>Californium<br>[252] | 138<br>Es<br>Einsteinium<br>[252] | 139<br>Fm<br>Fermium<br>[257] | 140<br>Md<br>Mendelevium<br>[258] | 141<br>No<br>Nobelium<br>[259] | 142<br>Lr<br>Lawrencium<br>[262] | 143<br>Og<br>Oganesson<br>[294] | 144<br>Ts<br>Tennessine<br>[293] | 145<br>Lv<br>Livermorium<br>[293] | 146<br>Po<br>Polonium<br>[210] | 147<br>At<br>Astatine<br>[210] | 148<br>Rn<br>Radon<br>[222] | 149<br>Fr<br>Francium<br>[223] | 150<br>Ra<br>Radium<br>[226] | 151-153<br>Ac-Lr<br>Actinoids | 154<br>Th<br>Thorium<br>232.038 | 155<br>Pa<br>Protactinium<br>231.036 | 156<br>U<br>Uranium<br>238.029 | 157<br>Np<br>Neptunium<br>[237] | 158<br>Pu<br>Plutonium<br>[239] | 159<br>Am<br>Americium<br>[243] | 160<br>Cm<br>Curium<br>[247] | 161<br>Bk<br>Berkelium<br>[247] | 162<br>Cf<br>Californium<br>[252] | 163<br>Es<br>Einsteinium<br>[252] | 164<br>Fm<br>Fermium<br>[257] | 165<br>Md<br>Mendelevium<br>[258] | 166<br>No<br>Nobelium<br>[259] | 167<br>Lr<br>Lawrencium<br>[262] | 168<br>Og<br>Oganesson<br>[294] | 169<br>Ts<br>Tennessine<br>[293] | 170<br>Lv<br>Livermorium<br>[293] | 171<br>Po<br>Polonium<br>[210] | 172<br>At<br>Astatine<br>[210] | 173<br>Rn<br>Radon<br>[222] | 174<br>Fr<br>Francium<br>[223] | 175<br>Ra<br>Radium<br>[226] | 176-178<br>Ac-Lr<br>Actinoids | 179<br>Th<br>Thorium<br>232.038 | 180<br>Pa<br>Protactinium<br>231.036 | 181<br>U<br>Uranium<br>238.029 | 182<br>Np<br>Neptunium<br>[237] | 183<br>Pu<br>Plutonium<br>[239] | 184<br>Am<br>Americium<br>[243] | 185<br>Cm<br>Curium<br>[247] | 186<br>Bk<br>Berkelium<br>[247] | 187<br>Cf<br>Californium<br>[252] | 188<br>Es<br>Einsteinium<br>[252] | 189<br>Fm<br>Fermium<br>[257] | 190<br>Md<br>Mendelevium<br>[258] | 191<br>No<br>Nobelium<br>[259] | 192<br>Lr<br>Lawrencium<br>[262] | 193<br>Og<br>Oganesson<br>[294] | 194<br>Ts<br>Tennessine<br>[293] | 195<br>Lv<br>Livermorium<br>[293] | 196<br>Po<br>Polonium<br>[210] | 197<br>At<br>Astatine<br>[210] | 198<br>Rn<br>Radon<br>[222] | 199<br>Fr<br>Francium<br>[223] | 200<br>Ra<br>Radium<br>[226] | 201-203<br>Ac-Lr<br>Actinoids | 204<br>Th<br>Thorium<br>232.038 | 205<br>Pa<br>Protactinium<br>231.036 | 206<br>U<br>Uranium<br>238.029 | 207<br>Np<br>Neptunium<br>[237] | 208<br>Pu<br>Plutonium<br>[239] | 209<br>Am<br>Americium<br>[243] | 210<br>Cm<br>Curium<br>[247] | 211<br>Bk<br>Berkelium<br>[247] | 212<br>Cf<br>Californium<br>[252] | 213<br>Es<br>Einsteinium<br>[252] | 214<br>Fm<br>Fermium<br>[257] | 215<br>Md<br>Mendelevium<br>[258] | 216<br>No<br>Nobelium<br>[259] | 217<br>Lr<br>Lawrencium<br>[262] | 218<br>Og<br>Oganesson<br>[294] | 219<br>Ts<br>Tennessine<br>[293] | 220<br>Lv<br>Livermorium<br>[293] | 221<br>Po<br>Polonium<br>[21 |

## <sup>1</sup>H NMR 化学位移





# G0-8

Chinese (China)

---

每一个烷基取代,  $\Delta\delta$  大约为 +0.4 ppm

DELEGATION PRINT