

基本粒子与对称性

〔英〕L. 赖德 著

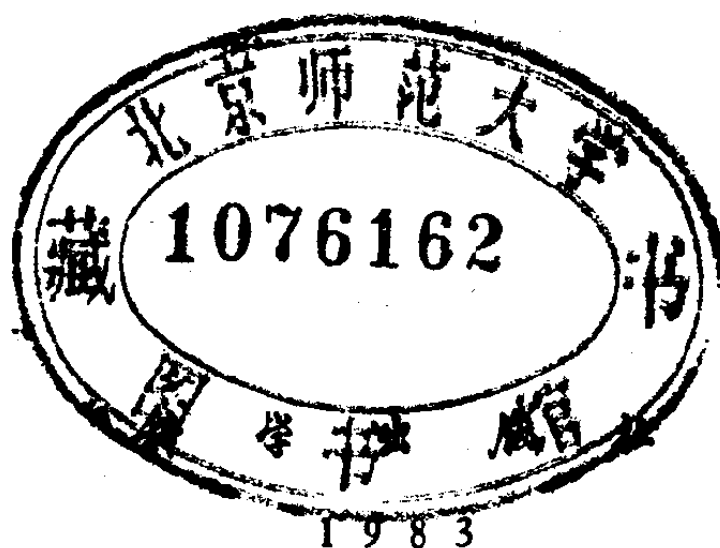
科学出版社

基本粒子与对称性

〔英〕L. 赖德 著

宋孝同 何 建 盛立刚 译

J411.157/02



内 容 简 介

本书以对称性和相互作用为中心，全面地阐述粒子物理学的基本概念和发展，全书共分十三章，主要内容有：同位旋、么正对称和夸克模型、手征对称、流代数、CP破坏以及弱电统一规范理论。

本书叙述简明扼要，物理图象清楚，只使用了最低限度的数学，避免涉及量子场论。读者只要熟悉初等量子力学、狭义相对论和一些核物理知识，就能阅读。

本书可供大专院校物理专业师生和有关专业工作者参考。

Lewis Ryder

ELEMENTARY PARTICLES AND SYMMETRIES

Gordon and Breach, 1975

基本粒子与对称性

[英] L. 赖德 著

宋孝同 何 建 盛立刚 译

责任编辑 夏墨英

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1983 年 4 月 第 一 版 开本：787×1092 1/32

1983 年 4 月 第一次印刷 印张：9 5/8

印数：0001—6,500 字数：205,000

统一书号：13031·2207

本社书号：3017·13—3

定 价 1.50 元

中 译 本 前 言

本书全面系统地阐述粒子物理学的基本概念和方法，在材料编排和写法上有一定特点。例如，在内容上由浅入深，循序渐进，处处突出对称性和相互作用这一主题；在概念的引进和结论的推导中，尽量不涉及量子场论和繁复的数学运算，力求简明扼要地讲清楚物理内容。因此，读者只要具备原子物理学、狭义相对论和量子力学的初步知识，就可学习本书。

本书英文原版出版于 1975 年，自然不会包括近几年来这个领域内的最新进展。例如，新发现的重轻子 τ ，大量带粲的介子以及 γ ， γ' ... 粒子等等。此外，在实验方面，新近发现了胶子存在的实验证据。在理论方面，有三代夸克轻子对称理论、强作用量子色动力学理论以及强、电、弱相互作用大统一理论，等等，这些请读者查阅新的文献。即使如此，本书也已提到弱电统一规范理论， J/ψ 粒子的发现，粲夸克和强子的 $SU(4)$ 对称性等。当然，原书也存在一些不足之处，例如，由于篇幅所限，本书对粒子物理的实验方面介绍较少，对一些问题的叙述也过于简略。此外，作为一本教材，习题太少也是不足之处。但总的说来，本书绝大部分内容是目前粒子物理中最基础的部分，深度也比较适中，而且在写法上物理概念清楚，叙述简明扼要，适合高等院校物理系师生和有关工作者学习和参考。

宋孝同于 1977 年底曾译出本书的初稿，并在杭州大学印成讲义作为教材试用。与此同时，淮北煤炭师范学院何建、盛立刚等也译出了本书，并由葛旭初、李复林同志作了校阅。现

由宋孝同参照两份译稿加以校订整理定稿，并增写了四个附录。

由于译者水平所限，错误在所难免，请读者批评指正。

序 言

本书是以最近五年来在英国肯特 (Kent) 大学物理系给三年级学生讲授的教材为基础编写而成的。书中运用学生所熟悉的语言,介绍了“亚核物理”的一些最新重大进展,同时略去了量子电动力学以及与量子场论有关的内容;书中虽然提到了狄拉克方程,但并不要求读者熟悉它。书中还力图把详细的数学内容和公式压缩到最低限度,以期凡是熟悉初等量子力学、狭义相对论和一些核物理知识的读者都能理解本书的内容。

总的说来,本书描述了基本粒子的对称性和它们之间的相互作用,特别着重讲解同位旋和么正对称性,最近十多年来的发展已证明了这方面的成功。此外,还讨论了手征对称、流代数、CP 破坏以及弱相互作用和电磁相互作用的统一规范理论。在我看来,这些课题在近代基本粒子理论的发展中是最有意义和最有代表性的。本书并没有涉及到强相互作用动力学的领域;有兴趣的读者可参考其它书籍。

每章末都列出了参考书目,以供进一步阅读。虽说并不是完全的,但愿能使读者对所论问题有更广泛和深入的理解。

(以下从略)

路易斯·赖德

基本粒子性质表

(本表数据主要参考 REVIEW OF PARTICLE PROPERTIES (1980))

一、稳定粒子表

自旋	L_e	L_μ	L_τ	质量 (MeV)	平均寿命(秒)	主要衰变方式
----	-------	---------	----------	----------	---------	--------

光子

γ	1	0	0	0	0($<6 \times 10^{-22}$)	稳定
----------	---	---	---	---	---------------------------	----

轻子

e^-	1/2	1	0	0	0.51	稳定($>5 \times 10^{31}$ 年)	
ν_e	1/2	1	0	0	0($<60\text{eV}$)	稳定	
μ^-	1/2	0	1	0	105.7	2.2×10^{-6}	$e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu$
ν_μ	1/2	0	1	0	0($<0.57\text{MeV}$)	稳定	
τ^-	1/2	0	0	1	1784 ± 4	$<2.3 \times 10^{-12}$	$\mu^- \bar{\nu}_\mu$ $e^- \bar{\nu}_e$ 强子+中性粒子

介子

B 自旋	I	S	C	质量 (MeV)	(质量) ² (GeV) ²	平均寿命(秒)	主要衰变型	分支比
$\pi^\pm$ 0 0	1	0		139.6	0.019	2.6×10^{-8}	$\mu^\pm \nu_\mu$ $e^\pm \nu_e$	100% 1.2×10^{-4}
π^0 0 0	1	0		135.0	0.018	0.8×10^{-16}	$\gamma\gamma$ $\gamma e^+ e^-$	98.8% 1.2%
K^+ 0 0	1/2	1	0	493.7	0.244	$(1.2371 \pm 0.0026) \times 10^{-8}$	$\mu^+ \bar{\nu}_\mu$ $\pi^+ \pi^0$ $\pi^+ \pi^+ \pi^-$	64% 21% 6%
K^0 0 0	1/2	1	0	497.7	0.248	50% K_L^0 , 50% K_S^0		
K^{0*} 0 0	1/2	-1	0	497.7	0.248			
K^- 0 0	1/2	-1	0	493.7	0.244		$\mu^- \nu_\mu$ $\pi^- \pi^0$ $\pi^- \pi^+ \pi^-$	64% 21% 6%
				$(m_{K^\pm} - m_{K^0} = -4.01 \pm 0.13)$				
K_S^0 0 0	1/2		0			0.9×10^{-10}	$\pi^+ \pi^-$ $\pi^0 \pi^0$	69% 31%
K_L^0 0 0	1/2		0			5.2×10^{-8}	$\pi^0 \pi^0 \pi^0$ $\pi^+ \pi^- \pi^0$ $\pi^- \mu^+ \nu_\mu$ $\pi^+ \mu^- \bar{\nu}_\mu$	21% 13% 27%
							$\pi^- e^+ \nu_e$ $\pi^+ e^- \bar{\nu}_e$	39%

η	0	0	0	0	0	548.8	0.301	(0.85 ± 0.12) KeV	$\gamma\gamma$ $\pi^0\gamma\gamma$ $3\pi^0$ $\pi^+\pi^-\pi^0$ $\pi^+\pi^-\gamma$	38% 3% 30% 24% 5%
$D^\pm$	0	0	1/2	0	1	1868.3 ± 0.9	3.491	$(2.5^{+3.5}_{-1.5}) \times 10^{-13}$	$D^+ \rightarrow K^-\pi^+\pi^+$ $K^0\pi^+$ $e^\pm$ 任何粒子	$(3.9 \pm 1.0)\%$ $(1.5 \pm 0.6)\%$ $(9.8 \pm 1.4)\%$
D^0 $\bar{D}^0$	0	0	1/2	0	1	1863.1 ± 0.9	3.471	$(3.5^{+3.5}_{-1.7}) \times 10^{-13}$	$D^0 \rightarrow K^-\pi^+$ $K^-\pi^+\pi^0$ $K^-\pi^+\pi^+\pi^-$ $K^0\pi^+\pi^-$ $e^\pm$ 任何粒子	$(1.8 \pm 0.5)\%$ $(12 \pm 6)\%$ $(3.5 \pm 0.9)\%$ $(4.4 \pm 1.1)\%$ $(9.8 \pm 1.4)\%$

重 子

B 自旋	I	S	质量 (MeV)	$(\text{质量})^2$ (GeV) 2	平均寿命(秒)	主要衰变 方式	磁矩 $(\frac{e\hbar}{2m_p c})$	分支比
p 1 1/2	1/2	0	938.28	0.880	稳定 ($> 10^{30}$ 年)	稳定	2.7928456 ± 0.0000011	
n 1 1/2	1/2	0	939.57 $(m_p - m_n = -1.29343 \pm 0.00004)$	0.883	0.92×10^3	$p e^- \nu$	$-1.91304184 \pm 0.00000088$	100%
A 1 1/2	0	-1	1115.6 $(m_A - m_{\pi^0} = -76.86 \pm 0.08)$	1.245	$(2.632 \pm 0.20) \times 10^{-10}$	$p \pi^-$ $n \pi^0$ $p e \nu$ $p \mu \nu$	-0.614 ± 0.005	64% 36% 8.1×10^{-4} 1.6×10^{-4}

B 自旋		I	S	质量 (MeV)	(质量) ² (GeV) ²	平均寿命(秒)	主要衰变 方式	磁矩($\frac{e\hbar}{2m_p c}$)	分支比
Σ^+	1 1/2	1	-1	1189.4	1.415	0.8×10^{-10}	$p\pi^0$ $n\pi^+$ $\Delta e^+\nu$	2.33 ± 0.13	52% 48% 2×10^{-5}
Σ^0	1 1/2	1	-1	1192.5	1.422	$< (5.8 \pm 1.3) \times 10^{-20}$	$\Delta\gamma$		100%
Σ^-	1 1/2	1	-1	1197.3	1.434	1.5×10^{-10}	$n\pi^-$ $ne^-\nu$ $n\mu^-\nu$ $\Delta e^-\nu$	-1.41 ± 0.25	100% 1.1×10^{-3} 0.5×10^{-3} 0.6×10^{-4}
Ξ^0	1 1/2	1/2	-2	1314.9	1.729	2.90×10^{-10}	$\Delta\pi^0$	-1.20 ± 0.06	100%
Ξ^-	1 1/2	1/2	-2	1321.3	1.746	1.64×10^{-10}	$\Delta\pi^-$	-1.85 ± 0.75	100%
Ω^-	1 3/2	0	-3	1672.2	2.796	0.82×10^{-10}	$\Xi^0\pi^-$ $\Xi^-\pi^0$ ΔK^-		只见过 28 次
Λ_c^+	1 1/2	0	0	2273 ± 6	5.17	$\sim 7 \times 10^{-15}$	$\Delta\pi^+\pi^+\pi^-$ $pK^-\pi^+$		见到 (2.2 ± 1.0)%

二、介子表*

非 奇 异 介 子

	J^P	IG	S	质量 (MeV)	宽度 Γ (MeV)	(质量) ² (GeV) ²	衰变方式	衰变分支比 %
$\pi^\pm(140)$	0^-	1^-	0	139.6	0.0	0.0195	见稳定粒子表	
$\pi^0(135)$				135.0	7.95 ± 0.55 eV	0.0182		
$\eta(549)$	0^-	0^+	0	548.8	0.85 ± 0.12 KeV	0.301	见稳定粒子表	
$\rho(770)$	1^-	1^+	0	776 ± 3	158 ± 5	0.602 ± 0.123		100
							$\pi\pi$	0.024
							$\pi\gamma$	0.004
							e^+e^-	0.007
							$\mu^+\mu^-$	
$\omega(783)$	1^-	0^-	0	782.4 ± 0.2	10.1 ± 0.3	0.612 ± 0.008	$\pi^+\pi^-\pi^0$	90
							$\pi^+\pi^-$	1.4
							$\pi^0\gamma$	8.8
							e^+e^-	0.007
$\eta'(958)$	0^-	0^-	0	957.6 ± 0.3	0.28 ± 0.10	0.917	$\eta\pi\pi$	65.6
							$\rho^0\gamma$	29.8
							$\omega\gamma$	2.7
							$\gamma\gamma$	1.9
$\delta(980)$	(0^+)	1^-	0	~ 980	~ 50	0.962	$\eta\pi$ $K\bar{K}$	见到 见到
$\phi(1020)$	1^-	0^-	0	1019.6 ± 0.1	4.1 ± 0.2	1.040 ± 0.004	K^+K^- $K_L K_S$ $\pi^+\pi^-\pi^0$	48.6 35.2 14.7
							$n\gamma$	1.5
							e^+e^-	0.032
							$\mu^+\mu^-$	0.025

* 符号: J = 自旋, P = 宇称, I = 同位旋, $G = G$ 宇称, $S =$ 奇异数。括号表示实验不肯定。

续 表

	J^P	I^G	S	质量 (MeV)	宽度 Γ (MeV)	(质量) ² (GeV) ²	衰变方式	衰变分支比 %
$A_1(1100)$	1^+	1^-	0	$\sim 1100-1300$	$\sim 300-400$	1.44	$\rho\pi$	~ 100
$B(1235)$	(1^+)	1^+	0	1231 ± 10	129 ± 10	1.52 ± 0.16	$\omega\pi$	见到
$f(1270)$	2^+	0^+	0	1273 ± 5	178 ± 20	1.62 ± 0.23	$\pi\pi$ $2\pi^+2\pi^-$ $K\bar{K}$	83.9 2.9 2.8
$D(1285)$	(1^+)	0^+	0	1284 ± 10	27 ± 10	1.65 ± 0.03	$K\bar{K}\pi$ $\pi\pi\eta$	10 ± 2 49 ± 6
$\phi(1300)$	(0^+)	0^+	0	~ 1300	$200-400$		$\pi\pi$ $K\bar{K}$	90 10
$A_2(1310)$	2^+	1^-	0	1311 ± 5	102 ± 5	1.73 ± 0.13	$\rho\pi$ $\eta\pi$ $\omega\pi\pi$ $K\bar{K}$	70 14.6 10.6 4.8
$E(1420)$	(0^-)	0^+	0	1418 ± 10	50 ± 10	2.01 ± 0.08	$K^*\bar{K} + \bar{K}^*K$ $\eta\pi\pi$	见到
$f'(1515)$	(2^+)	0^+	0	1516 ± 12	67 ± 10	2.30 ± 0.10	$K\bar{K}$ $\pi\pi$	主要见到 见到
$\omega(1670)$	(3^-)	0^-	0	1666 ± 5	166 ± 15	2.78 ± 0.28	$\rho\pi$ 3π	见到
$g(1700)$	(3^-)	0^-	0	1700 ± 20	200 ± 20	2.89 ± 0.34	2π 4π	24.0 72.1

$J/\psi(3100)$	1^-	0^-	3097 ± 1	0.063 ± 0.009	9.598 ± 0.000	e^+e^- $\mu^+\mu^-$ 强子	7 ± 1 7 ± 1 86 ± 2
$\chi(3415)$	0^+	0^+	3414 ± 4		11.655	$2(\pi^+\pi^-)$ $\pi^+\pi^-K^+K^-$ $\gamma J/\psi(3100)$ $3(\pi^+\pi^-)$	4.6 ± 0.9 3.7 ± 0.9 2.7 ± 1.0 1.9 ± 0.7
P_c 或 $\chi(3510)$	$A(1^+)$	0^+	3507 ± 4		12.299	$\gamma J/\psi(3100)$ $3(\pi^+\pi^-)$ $2(\pi^+\pi^-)$	31.5 ± 5.2 2.7 ± 1.2 2.0 ± 0.6
$\chi(3550)$	$N(2^+)$	0^+	3551 ± 5		12.610	$\gamma J/\psi(3100)$ $2(\pi^+\pi^-)$ $\pi^+\pi^-K^+K^-$	15.4 ± 2.4 2.4 ± 0.6 2.1 ± 0.6
$\psi(3685)$	1^-	0^-	3685 ± 1	0.215 ± 0.040	13.579 ± 0.001	e^+e^- $\mu^+\mu^-$ 强子	0.9 ± 0.1 0.8 ± 0.2 98.1 ± 0.3
$\psi(3770)$	1^-		3768 ± 3	25 ± 3	14.198 ± 0.094	e^+e^- $D\bar{D}$	0.0013 ± 0.0002 主要
$\psi(4030)$	1^-	0	4030 ± 5	52 ± 10	16.241 ± 0.210	e^+e^- 强子	0.0014 ± 0.0004 主要
$\psi(4160)$	1^-	0	4159 ± 20	78 ± 20	17.297 ± 0.324	e^+e^- 强子	0.0010 ± 0.0004 主要
$\psi(4415)$	1^-	0	4415 ± 6	43 ± 20	19.492 ± 0.190	e^+e^- 强子	0.0010 ± 0.0003 主要
$r(9460)$	1^-	0	9458 ± 6	~ 0.060	89.454 ± 0.0006	$\mu^+\mu^-$ e^+e^-	2.2 ± 2.0 2.5 ± 2.1
$r(10020)$	1^-	0	10016 ± 14	< 12	100.320	$\mu^+\mu^-$ e^+e^-	见到 见到

	J^P	I^G	S	质量 (MeV)	宽度 Γ (MeV)	$(\text{质量})^2$ (GeV) 2	衰变方式	衰变分支比 %
--	-------	-------	-----	----------	-------------------	----------------------------	------	---------

奇异介子

$K^+(494)$	0^-	$1/2$	1	493.71		0.244	见稳定粒子表	
$K^0(498)$				497.71		0.248		
$K^*(892)$	1^-	$1/2$	± 1	891.8 ± 0.4	50.3 ± 0.8	0.795 ± 0.045	$K\pi$	~ 100
$Q_1(1280)$	(1^+)	$(1/2)$	± 1	~ 1280	~ 120	1.64 ± 0.16	$K\pi\pi$	主要
$Q_2(1400)$	(1^+)	$1/2$	± 1	~ 1400	~ 150	1.96 ± 0.21	$K\rho$	见到
$K^*(1430)$	(2^+)	$1/2$	± 1	1434 ± 5	100 ± 10	2.06 ± 0.14	$K\pi$ $K^*\pi$ $K^*\pi\pi$	49.1 27.0 11.2
$K^*(1785)$	(3^-)	$1/2$	1	1785 ± 6	120 ± 20	3.19 ± 0.22	$K\pi\pi$	主要

非奇异粲介子

D^+	0^-	$1/2$	0	1868.3		3.491	见稳定粒子表	
D^0				1863.1		3.471		
$D^{*+}(2010)$	1^-	$1/2$	0	2008.6 ± 1.0	< 2.0	4.034	$D^0\pi^+$ $D^+\pi^0$ $D^+\gamma$	64 ± 11 28 ± 9 8 ± 7

$D^{*0}(2010)$	1^-	$1/2$	0	2006.0 ± 1.5	<5	4.024	$D^0\pi^0$ $D^0\gamma$	55 ± 15 45 ± 15
----------------	-------	-------	---	------------------	------	-------	---------------------------	----------------------------

三、重子表

非 奇 异 重 子

	J^P	I^G	S	质量 (MeV)	宽度 Γ (MeV)	(质量) ² (GeV) ²	衰变方式	衰变分支比 %
p	$1/2^+$	$1/2$	0	938.3		0.880	见稳定粒子表	
n				939.6		0.883		
$N'(1470)$	$1/2^+$	$1/2$	0	$\sim 1400-1480$	120—350	2.16 ± 0.29		$N\pi$ $N\pi\pi$ $\sim 50-65$ ~ 25
$N'(1520)$	$3/2^-$	$1/2$	0	1510—1530	100—140	2.31 ± 0.19		$N\pi$ $N\pi\pi$ ~ 55 ~ 45
$N'(1535)$	$1/2^-$	$1/2$	0	1520—1560	100—250	2.36 ± 0.18		$N\pi$ $N\eta$ $N\pi\pi$ ~ 40 ~ 55 ~ 15
$N'(1670)$	$5/2^-$	$1/2$	0	1660—1690	120—180	2.79 ± 0.26		$N\pi$ $N\pi\pi$ ~ 40 ~ 60
$N'(1688)$	$5/2^+$	$1/2$	0	1670—1690	110—140	2.85 ± 0.22		$N\pi$ $N\pi\pi$ ~ 60 ~ 40
$N''(1700)$	$1/2^-$	$1/2$	0	1670—1730	70—120	2.89 ± 0.20		$N\pi$ $N\pi\pi$ ~ 10 ~ 90

续 表

	J^P	I^G	S	质量 (MeV)	宽度 Γ (MeV)	(质量) ² (GeV):	衰变方式	衰变分支比 %
$N''(1780)$	$1/2^+$	$1/2$	0	1650—1860	50—350	3.17 ± 0.51	$N\pi$ $N\eta$	~ 20 10—20
$N(1860)$	$3/2^+$	$1/2$	0	1770—1860	180—330	3.46 ± 0.57	$N\pi$ ΔK	25 ~ 5
$N(2190)$	$7/2^-$	$1/2$	0	2120—2180	< 400	4.80 ± 0.55	$N\pi$ $N\eta$	~ 15 ~ 2
$N(2200)$	$(9/2^-)$	$1/2$	0	2130—2270	200—350	4.84 ± 0.55	$N\pi$ $N\eta$	~ 10 ~ 2
$N(2650)$	$(11/2^-)$	$1/2$	0	~ 2650	~ 360	7.02 ± 0.95	$N\pi$ $N\pi\pi$	
$N(3030)$	(?)	$1/2$	0	~ 3030	~ 400	9.18 ± 1.21	$N\pi$ $N\pi\pi$	
$\Delta(1232)$	$3/2^+$	$3/2$	0	1230—1234	110—120	1.52 ± 0.14	$N\pi$ $N\pi^+\pi^-$	~ 99.4 ~ 0.6
$\Delta(1650)$	$1/2^-$	$3/2$	0	1600—1650	120—160	2.72 ± 0.23	$N\pi$ $N\pi\pi$	~ 32 ~ 65
$\Delta(1670)$	$3/2^-$	$3/2$	0	1630—1740	190—300	2.79 ± 0.33	$N\pi$ $N\pi\pi$	~ 15 ~ 85
$\Delta(1890)$	$5/2^+$	$3/2$	0	1890—1930	250—400	3.57 ± 0.47	$N\pi$ $N\pi\pi$	~ 15 ~ 80
$\Delta(1910)$	$1/2^+$	$3/2$	0	1850—1950	200—330	3.65 ± 0.42	$N\pi$ $N\pi\pi$	20—25 > 40

$\Delta(1950)$	$7/2^+$	$3/2$	0	1910—1950	200—340	3.80 ± 0.44	$N\pi$ $N\pi\pi$	45
$\Delta(2420)$	$(11/2^+)$	$3/2$	0	2380—2450	300—500	5.86 ± 0.73	$N\pi$	~ 10
$\Delta(2850)$	$?^+$	$(3/2)$	0	~ 2800 —2900	~ 400	8.12 ± 1.14	$N\pi$ $N\pi\pi$	
$\Delta(3230)$	$?$	$(3/2)$	0	~ 3200 —3350	~ 440	10.43 ± 1.42	$N\pi$ $N\pi\pi$	

奇 异 重 子

							见稳定粒子表	
							$\Sigma\pi$	100
Λ	$1/2^+$	0	-1	1115.6		1.24		
$\Lambda(1405)$	$1/2^-$	0	-1	1405 ± 5	40 ± 10	1.97 ± 0.06		
$\Lambda'(1520)$	$3/2^-$	0	-1	1519.5 ± 1.5	16.5 ± 1.5	2.31 ± 0.02	$N\bar{K}$ $\Sigma\pi$ $\Lambda\pi\pi$ $\Sigma\pi\pi$	46 ± 1 42 ± 1 10 ± 1 0.9 ± 0.1
$\Lambda''(1670)$	$1/2^-$	0	-1	~ 1600 —1680	20—40	2.79 ± 0.07	$N\bar{K}$ $\Lambda\eta$ $\Sigma\pi$	15—25 15—35 20—60
$\Lambda''(1690)$	$3/2^-$	0	-1	1690 ± 10	50—70	2.86 ± 0.10	$N\bar{K}$ $\Sigma\pi$ $\Lambda\pi\pi$ $\Sigma\pi\pi$	20—30 20—40 ~ 25 ~ 20
$\Lambda'(1815)$	$5/2^+$	0	-1	1820 ± 5	70—90	3.29 ± 0.15	$N\bar{K}$ $\Sigma\pi$ $\Sigma(1385)\pi$	55—65 5—15 5—10