

在重离子弹性反应中关于增加大角散射的预言

G. Dussel等

在某些中重重离子弹性散射中，观测到的大角度散射截面增加和类共振行为，一直是各种可能解释的研究课题。但是，没有一种解释能令人完全满意⁽¹⁾。按照能量的考虑，本文给出的结果作为可以显示这类现象的核反应体系的一个标记。

大多数解释的一个共同特点是假设核表面有某种程度的透明。因此，在相互作用势中碰撞系统的轨道将保持不变或核表面波不受阻尼，这个也将为宇称相关的光学势或内波和位垒波之间的干涉提供根据。基于可用的衰变道数目和在能量上它们与弹性散射道相对距离的假设，我们寻求关于核表面透明度的解释。

对于在相对距离 R_c 处的重离子系统($Z_1 A_1 + Z_2 A_2$)的“轨道运动”总能量是

$$E = B_1 + B_2 + V_N + V_C + \frac{\hbar^2 l_c(l_c + 1)}{2 \mu R_c^2} \quad (1)$$

其中 B_i 是核 $Z_i A_i$ 的结合能， $V_N + V_C$ 是库仑势加核势。我们还假设动能恰好等于离心能。这样，无论何时，对于给定的入射能量和由它推出的角动量 l_c ，按照方程(1)计算的数值将小于任何其它反应道的能量值，因为对于它的衰变仅有类共振态存在而无其它的态，所以我们能够期望降低吸收。当弹性反应道和转移反应道在能量上的距离是大的时候，这个透明度窗将更为明显。

按照上面所考虑的形象，对于形成相同的 Z 和 A 的不同组合，我们比较 $E - V_N$ 值，为了使计算不依赖于它的选取，我们扣除核

势。对于所有的组合，这与假设 $V_N \sim$ 常数是等效的。

一旦发现使方程(1)有极小值的核体系 $Z_1 A_1 + Z_2 A_2$ ，用相当于“轨道运动”体系的半径 R_c 计算其它非弹性反应道的总能量，再用方程(1)加上相当于径向运动带走的正的有确定值的能量计算这些非弹性衰变道的能量，用这种方法我们得到了共振态和第一开放道之间能量差 ΔE 的下限。

表I包括了引起总电荷 $8 < Z_1 + Z_2 < 36$ 所有可能的反应的结果。我们仅仅非常明确地给出了极小相当于值量数 $A > 8$ 稳定碎片的那些反应体系。我们并不期望这些体系满足 $V_N \sim$ 常数的假设，所以已经排除了较轻的弹核(或靶核)。我们采用⁽²⁾

$$R_c = 0.5 + 1.36 (A_1^{1/3} + A_2^{1/3}) \text{ fm},$$

尽管总能量依赖于 R_c 的选取，但是，在大多数情形里，能显示这类现象核体系的结果保持不变。

现在能够用我们的解释说明实验上观测到的现象。在大量的有关的数据中，下面我们仅仅举出少数能说明问题的例子。

$nx\alpha$ 离子对之间的反应显示了这一效应。因为这类核有较大的结合能。在表I中我们能够证明， $^{12}\text{C} + ^{16}\text{O}^{(3)}$ ， $^{12}\text{C} + ^{28}\text{Si}^{(4)(7)}$ ， $^{16}\text{O} + ^{24}\text{Mg}^{(8)}$ ， $^{12}\text{C} + ^{32}\text{S}^{(4)(5)(6)}$ ， $^{16}\text{O} + ^{28}\text{Si}^{(6)(7)(10)(11)}$ ， $^{12}\text{C} + ^{40}\text{Ca}^{(4)(6)(10)}$ ， $^{12}\text{C} + ^{24}\text{Mg}^{(12)}$ ， $^{16}\text{O} + ^{20}\text{Ne}^{(13)}$ 和 $^{20}\text{Ne} + ^{24}\text{Mg}^{(14)}$ 等反应对应于极小能量的“轨道运动”体系。已经观测到这类现象的某些其它反应($^{10}\text{B} + ^{12}\text{C}^{(1)}$ ，

(下转28页)

表 I. 对于角动量 l_c , 总电荷 Z 和质量数 A 预言的显示增加大角度截面弹性反应。每个反应下面标出的数表示与第一个激发反应道的能量差 ΔE 。*表示发生的可逆反应。

l_c					l_c						
2	A	15	20	30	40	2	A	15	20	30	40
9	20		$^{11}\text{Be}^{+9}$ 1.0	$^{11}\text{Fe}^{+9}$ 2.7	$^{11}\text{Be}^{+9}$ 1.2					$^{22}\text{O}^{+17}$ 0.0	$^{22}\text{O}^{+17}$ 0.8
10	21			$^{12}\text{Be}^{+9}$ 3.7	$^{12}\text{Be}^{+9}$ 3.8	18	40		$^{26}\text{C}^{+14}$ 0.8		$^{22}\text{O}^{+18}$ 1.6
11	22		$^{12}\text{B}^{+10}$ 0.6	$^{12}\text{B}^{+10}$ 5.9	$^{12}\text{B}^{+10}$ 6.9	19	38		$^{24}\text{N}^{+14}$ 0.3		
13	23		$^{12}\text{B}^{+11}$ 2.8	$^{12}\text{B}^{+11}$ 8.9	$^{12}\text{B}^{+11}$ 10.6	19	39	$^{27}\text{C}^{+12}$ 0.5	$^{27}\text{C}^{+12}$ 0.6(*)	$^{27}\text{O}^{+16}$ 1.2	$^{23}\text{O}^{+16}$ 2.3
13	24	$^{13}\text{C}^{+11}$ 1.3	$^{13}\text{C}^{+11}$ 3.1	$^{13}\text{C}^{+11}$ 0.6		19	41		$^{26}\text{N}^{+15}$ 0.4	$^{26}\text{N}^{+15}$ 1.1	
12	24	$^{13}\text{C}^{+12}$ 3.9	$^{13}\text{C}^{+12}$ 7.4	$^{13}\text{C}^{+12}$ 14.8	$^{13}\text{C}^{+12}$ 15.5	20	40	$^{28}\text{C}^{+12}$ 2.6	$^{28}\text{C}^{+12}$ 0.8(*)	$^{24}\text{O}^{+16}$ 2.7	$^{24}\text{O}^{+16}$ 0.7(*)
13	25	$^{13}\text{C}^{+12}$ 5.2	$^{13}\text{C}^{+12}$ 7.7	$^{13}\text{C}^{+12}$ 9.9	$^{13}\text{C}^{+12}$ 11.2	20	41	$^{29}\text{C}^{+12}$ 2.7	$^{29}\text{C}^{+12}$ 1.8	$^{25}\text{O}^{+16}$ 1.9	$^{25}\text{O}^{+16}$ 0.6(*)
15	26	$^{14}\text{N}^{+12}$ 5.4	$^{14}\text{N}^{+12}$ 5.9	$^{14}\text{N}^{+12}$ 4.3	$^{14}\text{N}^{+12}$ 4.3	20	42	$^{30}\text{C}^{+12}$ 1.9	$^{30}\text{C}^{+12}$ 1.2	$^{26}\text{O}^{+16}$ 3.2	$^{26}\text{O}^{+16}$ 0.7(*)
13	27	$^{15}\text{N}^{+12}$ 4.1	$^{15}\text{N}^{+12}$ 4.6	$^{15}\text{N}^{+12}$ 4.6	$^{15}\text{N}^{+12}$ 3.6	21	42				$^{22}\text{Ne}^{+22}$ 1.6
13	28	$^{15}\text{N}^{+13}$ 2.5	$^{15}\text{N}^{+13}$ 2.4	$^{15}\text{N}^{+13}$ 2.1	$^{15}\text{N}^{+13}$ 1.7	21	43	$^{31}\text{C}^{+12}$ 2.4	$^{31}\text{C}^{+12}$ 0.7(*)	$^{27}\text{O}^{+16}$ 1.2	$^{27}\text{O}^{+16}$ 0.1(*)
14	29	$^{16}\text{O}^{+12}$ 6.9	$^{16}\text{O}^{+12}$ 9.6	$^{16}\text{O}^{+12}$ 8.4	$^{16}\text{O}^{+12}$ 6.6	21	45		$^{30}\text{N}^{+15}$ 0.2	$^{30}\text{N}^{+15}$ 0.7	$^{23}\text{Ne}^{+22}$ 1.7
14	29	$^{16}\text{O}^{+13}$ 1.9	$^{16}\text{O}^{+13}$ 1.9	$^{16}\text{O}^{+13}$ 1.7	$^{16}\text{O}^{+13}$ 1.3	22	44	$^{32}\text{C}^{+12}$ 0.1(*)	$^{28}\text{Si}^{+16}$ 1.7	$^{28}\text{Si}^{+16}$ 2.8	$^{24}\text{Ne}^{+20}$ 0.1
14	31	$^{17}\text{O}^{+14}$ 0.6	$^{17}\text{O}^{+14}$ 0.9	$^{17}\text{O}^{+14}$ 1.8	$^{17}\text{O}^{+14}$ 1.5	22	45	$^{33}\text{C}^{+12}$ 0.3(*)	$^{29}\text{Si}^{+16}$ 1.6	$^{29}\text{Si}^{+16}$ 2.9	$^{29}\text{Si}^{+16}$ 0.5(*)
15	30	$^{16}\text{O}^{+14}$ 3.2	$^{16}\text{O}^{+14}$ 4.0	$^{16}\text{O}^{+14}$ 4.4	$^{16}\text{O}^{+14}$ 4.0	22	46	$^{34}\text{C}^{+12}$ 1.0	$^{30}\text{Si}^{+16}$ 0.8	$^{30}\text{Si}^{+16}$ 3.9	$^{24}\text{Ne}^{+22}$ 0.0
15	31	$^{16}\text{O}^{+15}$ 4.0	$^{16}\text{O}^{+15}$ 5.0	$^{16}\text{O}^{+15}$ 7.5	$^{16}\text{O}^{+15}$ 8.1	22	47				$^{26}\text{Ne}^{+21}$ -0.1(*)
15	32	$^{17}\text{O}^{+15}$ 1.6	$^{17}\text{O}^{+15}$ 1.5	$^{17}\text{O}^{+15}$ 1.2	$^{17}\text{O}^{+15}$ 1.0	22	48	$^{36}\text{C}^{+12}$ 2.0	$^{36}\text{C}^{+12}$ 0.2(*)		$^{26}\text{Ne}^{+27}$ 2.5
15	33	$^{18}\text{O}^{+15}$ 1.7	$^{18}\text{O}^{+15}$ 2.4	$^{18}\text{O}^{+15}$ 3.1	$^{18}\text{O}^{+15}$ 2.7	22	49	$^{36}\text{C}^{+13}$ 1.0	$^{36}\text{C}^{+13}$ 0.5		
16	32	$^{16}\text{O}^{+16}$ 3.2	$^{16}\text{O}^{+16}$ 4.3	$^{16}\text{O}^{+16}$ 7.6	$^{16}\text{O}^{+16}$ 11.9	23	47	$^{35}\text{Cl}^{+12}$ 0.5(*)	$^{31}\text{P}^{+16}$ 1.4	$^{31}\text{P}^{+16}$ 2.3	$^{24}\text{Hg}^{+23}$ 0.7
16	33	$^{17}\text{O}^{+16}$ 0.8	$^{17}\text{O}^{+16}$ 2.1	$^{17}\text{O}^{+16}$ 4.8	$^{17}\text{O}^{+16}$ 7.4	23	49	$^{37}\text{Cl}^{+12}$ 1.2			
16	34	$^{22}\text{Ne}^{+12}$ 0.7	$^{18}\text{O}^{+16}$ 0.1	$^{18}\text{O}^{+16}$ 3.0	$^{18}\text{O}^{+16}$ 3.4	23	51	$^{38}\text{S}^{+12}$ 0.4	$^{36}\text{S}^{+15}$ 1.1		
16	35		$^{22}\text{Ne}^{+13}$ 1.1	$^{18}\text{O}^{+17}$ 0.7	$^{18}\text{O}^{+17}$ 1.1	24	48	$^{36}\text{Ar}^{+12}$ 0.4(*)	$^{32}\text{S}^{+16}$ 1.5	$^{28}\text{Si}^{+20}$ 0.0(*)	$^{24}\text{Hg}^{+24}$ 1.0
16	36				$^{18}\text{O}^{+18}$ 3.4	24	49		$^{33}\text{S}^{+16}$ 1.4	$^{29}\text{Si}^{+20}$ 0.1	$^{25}\text{Hg}^{+24}$ 0.2
17	35	$^{23}\text{Ne}^{+12}$ 0.9	$^{27}\text{Ne}^{+12}$ 0.2(*)	$^{20}\text{Ne}^{+15}$ 0.1(*)	$^{19}\text{F}^{+16}$ 0.7	24	50	$^{38}\text{Ar}^{+12}$ 0.9	$^{34}\text{S}^{+16}$ 1.0	$^{34}\text{S}^{+16}$ 0.6(*)	$^{26}\text{Hg}^{+24}$ 0.9
17	36			$^{21}\text{Ne}^{+15}$ 0.1(*)		24	51			$^{29}\text{Si}^{+22}$ 0.3	$^{26}\text{Hg}^{+25}$ 0.2
17	37		$^{22}\text{Ne}^{+13}$ 1.1	$^{22}\text{Ne}^{+15}$ 2.2	$^{22}\text{Ne}^{+15}$ 1.2	24	52		$^{36}\text{S}^{+16}$ 1.4	$^{26}\text{Hg}^{+26}$ 0.3	$^{26}\text{Hg}^{+26}$ 1.0
18	36	$^{28}\text{Ne}^{+12}$ 0.8	$^{20}\text{Ne}^{+16}$ 0.1	$^{20}\text{Ne}^{+16}$ 4.7	$^{20}\text{Ne}^{+16}$ 11.0	26	53		$^{40}\text{Ar}^{+13}$ 0.2(*)		
18	37		$^{25}\text{Ne}^{+12}$ 0.3(*)	$^{21}\text{Ne}^{+16}$ 1.8	$^{21}\text{Ne}^{+16}$ 1.1	25	51	$^{39}\text{K}^{+12}$ 1.3	$^{35}\text{Cl}^{+16}$ 0.6	$^{27}\text{Al}^{+24}$ 0.0	$^{27}\text{Al}^{+24}$ 0.2
18	38		$^{26}\text{Ne}^{+12}$ 0.9(*)	$^{22}\text{Ne}^{+16}$ 3.4	$^{22}\text{Ne}^{+16}$ 2.2	25	52	$^{40}\text{K}^{+12}$ 0.5(*)		$^{29}\text{Si}^{+23}$ 0.6	$^{27}\text{Al}^{+23}$ 0.4

2/167

表1 (续)

^{12}C				^{12}C			
Z	A			Z	A		
25	53		$^{37}Cl+^{16}O$ 1.0	30	65	$^{53}Cr+^{12}C$ 1.2	
26	52	$^{40}Ca+^{12}C$ 1.4	$^{36}Ar+^{16}O$ 0.4(*)	28	58	$^{28}Si+^{26}Mg$ 3.1	$^{36}S+^{30}Si$ 0.9
26	53		$^{28}Si+^{24}Mg$ 3.1	28	58	$^{28}Si+^{24}Mg$ 4.6	$^{32}S+^{31}P$ 0.3
26	54	$^{38}Ar+^{16}O$ 1.3	$^{30}Si+^{24}Mg$ 0.2	28	58	$^{28}Si+^{26}Mg$ 0.1	$^{33}S+^{31}P$ 0.2
26	55	$^{43}Ca+^{12}C$ 0.2(*)	$^{29}Si+^{26}Mg$ 0.2	29	59	$^{29}Si+^{26}Mg$ 0.8	
26	56	$^{44}Ca+^{16}O$ 0.9(*)	$^{30}Si+^{26}Mg$ 2.9	30	60	$^{30}Si+^{26}Mg$ 3.6	$^{34}S+^{31}P$ 0.8
26	58	$^{46}Ca+^{12}C$ 0.3(*)				$^{55}Mn+^{12}C$ 1.8	$^{32}S+^{32}S$ 0.1
27	55	$^{39}K+^{16}O$ 1.3(*)	$^{28}Si+^{27}Al$ 0.6	28	58	$^{28}Si+^{27}Al$ 1.0	$^{32}S+^{32}S$ 0.4
27	56	$^{40}K+^{16}O$ 0.4(*)	$^{29}Si+^{27}Al$ 0.7	29	59	$^{29}Si+^{27}Al$ 0.7	$^{34}S+^{32}S$ 0.2
27	57	$^{45}Sc+^{12}C$ 0.7(*)	$^{30}Si+^{27}Al$ 0.8	30	60	$^{30}Si+^{27}Al$ 1.0	$^{34}S+^{33}S$ 0.1
27	58		$^{30}Si+^{28}Al$ 0.8	30	60	$^{30}Si+^{28}Al$ 1.0	$^{34}S+^{34}S$ 0.7
28	56	$^{28}Si+^{28}Si$ 1.1	$^{28}Si+^{28}Si$ 3.1	28	56	$^{28}Si+^{28}Si$ 3.7	
28	57	$^{29}Si+^{28}Si$ 1.4	$^{29}Si+^{28}Si$ 3.1	29	57	$^{29}Si+^{28}Si$ 3.8	
28	58	$^{46}Ti+^{12}C$ 0.6(*)	$^{30}Si+^{28}Si$ 2.1	30	60	$^{30}Si+^{28}Si$ 2.1	$^{36}S+^{34}S$ 1.4
28	59	$^{47}Ti+^{12}C$ 0.9(*)	$^{30}Si+^{29}Si$ 2.0	30	60	$^{30}Si+^{29}Si$ 2.0	$^{36}S+^{36}S$ 2.1
28	60	$^{48}Ti+^{12}C$ 0.9(*)	$^{30}Si+^{30}Si$ 2.7	30	60	$^{30}Si+^{30}Si$ 3.1	$^{35}Cl+^{32}S$ 0.0
28	61	$^{49}Ti+^{12}C$ 1.7					$^{39}K+^{29}Si$ 0.0(*)
28	62	$^{50}Ti+^{12}C$ 2.9					$^{38}Ar+^{31}P$ 0.1(*)
29	59	$^{31}P+^{28}Si$ 0.3	$^{31}P+^{28}Si$ 2.6	31	62	$^{31}P+^{28}Si$ 2.7	$^{37}Cl+^{34}S$ 0.5
29	60		$^{31}P+^{29}Si$ 0.6	31	62	$^{31}P+^{29}Si$ 0.7	$^{58}Fe+^{15}N$ 0.8(*)
29	61		$^{31}P+^{30}Si$ 1.2	31	62	$^{31}P+^{30}Si$ 1.4	$^{54}Fe+^{16}O$ 2.3(*)
29	62	$^{50}V+^{12}C$ 1.7					$^{38}Ar+^{33}S$ 0.3
29	63	$^{51}V+^{12}C$ 2.5					$^{38}Ar+^{34}S$ 1.5
30	60		$^{32}S+^{28}Si$ 3.3	32	64	$^{32}S+^{28}Si$ 4.2	$^{44}Ca+^{30}Si$ 0.3(*)
30	61		$^{32}S+^{29}Si$ 0.0(*)	32	64	$^{32}S+^{29}Si$ 1.1	$^{46}Ca+^{30}Si$ 0.0
30	62	$^{50}Cr+^{12}C$ 1.7	$^{34}S+^{28}Si$ 0.7	34	68	$^{34}S+^{28}Si$ 0.5	$^{58}Ni+^{15}N$ 0.1(*)
30	63		$^{34}S+^{29}Si$ 0.7	34	68	$^{34}S+^{29}Si$ 0.6	$^{59}Co+^{16}O$ 1.2(*)
30	64	$^{52}Cr+^{12}C$ 2.4	$^{34}S+^{30}Si$ 2.6	34	68	$^{34}S+^{30}Si$ 2.8	$^{51}V+^{26}Mg$ 0.2