福建佛学院

本科毕业论文

色法缘起性空义与量子物理学物质观

年　　级:　2008 级

学　　号:　08069

姓　　名:　释印慈

专　　业:　佛学

指导法师:　振宇法师

二零一二年四月

摘　要

宗教，特别是佛教与科学的关系，并不一定是以冲突为主线的。本文聚焦于色法的缘起性空义与量子物理学物质观的联系，在探讨二者各自的内容及其关系的基础上，尝试展示佛法与科学在真俗二谛意义上的相成。色法的缘起性空义的把握，相比于人无我义难度更大，这部分地是由于人们坚固的日常经验。本文以《大智度论》为主来综述中观视野下的色法缘起性空义，并借助量子物理学对于物质世界认识的进展，破除一般常识经验的障碍，从量子物理学对于物质底层特征的发现及其哲学解读，来阐释色法的缘起性空义。

关键词：佛法与科学，缘起性空，色法，物质观，量子力学

目　录

摘　要 II
目　录 III
第 1 章　绪　论 1
1.1　本论文的背景和意义 1
1.2　本论文的主要方法 3
1.3　本论文的主要内容及结构安排 4
第 2 章 中观对于色法的主要见解 6
2.1 中观的缘起性空义概述 6
2.2 色法因缘和合假有无性 10
2.2.1 色无生 10
2.2.2 色无自体 11
2.2.3 色无自力 14
2.2.4 色无自相 16
2.3 微尘与色法 19
第 3 章 量子物理学的物质观 22
3.1 量子与经典 22
3.1.1 双缝实验与波粒二象性 23
3.1.2 不确定性原则 27
3.2 量子力学的物质观与缘起 30
3.2.1 从认识的角度成立色法的缘起义 30
3.2.2 从构成的角度成立色法的缘起义 34
3.2.3 从生成的角度成立色法的缘起义 38

3.2.3 从作用的角度成立色法的缘起义.....40
第4章 色法缘起性空义的终极意义..... 43
第5章 结 语..... 47
致 谢..... 48
参考文献..... 49

第1章 绪 论

1.1 本论文的背景和意义

宗教与科学之间关系的研究，在我国并不在主流视界之内，但却是这个时代不容忽视的问题。在社会层面上，这关系到社会文化和谐以及宗教和道德建设，而这些因素与社会稳定和人们幸福感有密切联系。在个人层面上，对于一个受过现代自然科学熏陶又具有宗教信仰的人来说，宗教信仰和所受的科学教育之间是否能够获得内在的一致性，和谐共存，是非常值得认真面对的问题。在宗教和科学的交流对话中，不仅宗教能得以从另外的角度审视自身，并获得现代语境下的阐释，科学也可以从中获得更多的伦理启迪和动力，乃至前进方向的灵感火花1。

具体到佛教，清末民初以来，中国佛教面临种种内忧外患，这其中也有一些以科学的名义对佛教发起的非难。面对这种情况，中国佛教界一些人士如太虚大师、欧阳渐、梁启超等，对此进行了多方面的回应。另外，还有一批信仰佛教的科学家和具备科学知识的佛教徒，运用近代科学的有关理论和知识，结合佛教的学理，以通俗易懂的文字沟通佛教与科学的关系，如王季同、尤智表、罗无虚，等等2。陈兵对于 1990 年之前，汉语世界关于佛法与科学的主要探讨和辩论曾有精当的综述3。最近十余年，汉语世界关于佛教与科学的探讨渐增，但能引起严肃学术关注的并不多见4。在将科学与佛法进行对说的时候，由于论说者宗教热情的推动，以及一些情况下佛法教理、相关学科科学素养和严谨态度的缺失，出现了一些有失严谨5，甚至把伪科学当作科学依据的情况6，这对佛教、对大众、对社会是非常有害的。佛法这样的真实法，不需要来自伪科学的“证实”，这只会在真相大白时在大众中给佛教的真实性投下浓重的阴影；学习佛法的人也不需要由伪科学的证实来建立“信心”，这样的“信心”在伪科学被证伪时，可能发生的变化和由此带来的身心冲击令人忧虑。利用一般社会大众对于科学的信赖感，用伪科学去宣扬道德和宗教，是对宗教、道德和科学的三重亵渎，特别是这其中掺杂了经济

利益的时候。

另外，一些探讨过分强调细节对比，这实际上忽视了佛法和科学主要功能的不同和因此而产生的主要关注目标的差异。像“佛观一钵水，八万四千虫”与微生物之类的比对，与佛法或科学的核心都没有关系，它的证实或证伪，严谨地看，不会对任何一方的体系产生重大影响，特别与佛法指向生命终极解放的关怀与走向解脱的核心教义没有直接关系。一些探讨将佛法中的概念，如阿赖耶识等7，没有经过科学标准认同的验证或论证就塞进科学的体系中，进行一种杂糅的机制解释，看似提供了一种可能的、科学化的解释，但却缺乏可被证伪的可能，所以不可能被科学界认同，因而也失去了与科学进行对比说明的意义。而且，过分地依赖某一种对现象进行解释的科学理论来证成佛法或者完成自己的论点，并不是一种很好的策略。因为一旦这种理论本身被证伪，则所有的工作也失去意义，甚至陷入更加尴尬的境地。“这种比较大都有失简单化，并未溯本求源，对二者作出较全面的辨析和评价8。”这反映了大多数讨论的问题所在。在西方，一些相关的探讨其实更加深入和严谨，而且有一些确实受过严格科学训练的人参与其中，如作为美国科尔盖特大学物理和天文学教授的曼斯菲尔德。他在中观与相对论、中观与贝尔不等式及其验证试验等方面的论文论述得相当深刻9。

一个佛教徒，当然会认可佛教的价值，佛法的究竟，以及对于众生的究竟安乐无可替代的意义。从佛教的角度看，在这个科学大行其道的时代,不论是一种弘法的策略考虑还是对于佛法本身作时代解读的需求，佛法与科学的对话都非常有意义。但是应该清楚地意识到，佛法本身是自洽的，有完备的教证二法，从根本上说，佛法本身不需要来自科学的证明。只有在因应社会和一些个体需求，使佛法价值能得以更好地体现的前提下，这种对话交流对佛教和他所服务的众生才有意义。而站在科学的角度，虽然它一直在受到包括哲学、宗教在内的种种影响，但是科学本身有它自我校验的机制，有它的内在规律，科学实际也不需要佛法来背书。承认彼此的相对独立性，互相尊重，深化彼此的认识，是这种

对话交流得以持续深入的必要条件。在这种对话交流中，应该特别注意尊重对方，不应该因为急于证明某个偏好的结论而对科学的结果或者理论假设做任意、过度的引申，或者把偏好的理论中一些实体概念强推给对方。这虽然在某些受众群中会收一时之效，但只会引起严肃学者的反感，难免伪科学和愚民的嫌疑。而且一旦遭到批驳，很难有辗转之处，只会起到反作用，对佛教、佛法、佛教徒的形象反而都不利，对佛法住世的作用，也是负面因素为多。在这种对话交流中，应该维护佛法和佛教的尊严，为佛教做百年计、千年计，不应该图廉价的支持而为佛教遗患。

1.2 本论文的主要策略

佛法与科学的交流和对比研究，首先应当明确目的，然后恰当选择策略，并在此基础上，选择合适的话题和角度。寻求真义应该是能被普遍接受的出发点和基本动机，作为佛教徒，可能还会有宗教角度的考量。在对比研究中，即便要用科学来证实佛法，也要注意策略上的把握，应该把主要论据安立在无可辩驳的事实基础上，而不是本身尚命运未卜的其它科学理论上。如果要用佛法来指导科学研究的方向，或者提出一些基本理论假说，就必须能在此假说的基础上，能够逻辑自然地导出与现有一切相关事实不悖的结果——最好是定量的，并给出可以接受证伪或证实的推论。

对于佛法与科学的关系，印顺法师曾以缘起性空的二谛加以概括。即科学所知，虽然有很多是超乎我们日常经验的，但它在缘起现象上仍然是不容否认的，是世俗谛的范畴。虽然并非究竟真实的第一义谛，但是它与佛法的胜义谛从根本上并不是矛盾的，应该承认它对应于世间的确实性。甚至科学的进步也是走向佛法真理的一条新途径。如“诸行无常”说明的是一切事物都在因果法则下不断地迁流变化，其中没有什么永恒不变的东西。这一真理由于近代科学进步，已经更容易为人所理解了，这说明了科学与佛法相融贯的一面10。佛教的基本立场是从世俗中

领悟胜义，而胜义又不碍世俗，以此成立情智和谐、真俗相成的人生观。佛教信仰者应该以大乘菩萨的入世精神和爱人爱群的胸怀学习和运用科学技术知识，并以此解除众生因物质贫乏而带来的苦痛与罪恶；同时，也要以佛法来实现人类的充分觉悟，完成人格和道德的提升11。这样的判断和定位理性、准确，避免了牵强的比附和生搬硬套，非常切当而又不逾越各自本位，也是本文所认可的策略：从作为当代世俗表述的科学事实及相关理论出发，领悟佛法所说缘起性空的正义，并说明这种智慧对于生命终极关怀的意义。

1.3 本论文的主要内容及结构安排

到今天为止，科学最值得称道的成就，还是在自然科学方面的、关于物质的认识。所以关于佛法与科学的话题，自然也更多地集中在此。在诸多可待选择的话题中，近年来一些探讨不约而同地把对比研究的另一端放在了量子物理学上。这不仅仅是因为它尖端、深奥，甚至有些玄妙，更重要的原因是，它几乎是全部自然科学中最底层、最基础的部分，奠定了科学中物质观的基调。本文选择量子物理学对于物质的发现和理解，来与佛法中色法的缘起性空义加以比较研究。

缘起是佛法不共一切其他宗教与学说的根本特色，也是佛法最核心的内容，这在《阿含》中表现得特别明显[12]。而大乘佛教共尊的《大般若经》则偏重一切法空义。至龙树，综贯《阿含》与《般若》，将全体佛法以缘起性空义一以贯之，涵盖世出世间一切现象及本质，有情的流转与还灭，以及解脱道和菩萨道的实践。由于历史和文化的原因，较为纯粹的中观学在中唐以后的汉传佛教中淹没无闻，直到民国后才随着佛教复兴运动得以一定的恢复和发展。近几十年来，随着佛教在西方的进一步传播，中观佛教或中观哲学更多地引起了有思辨和哲学传统的西方的关注[13]。中观兴起时代的佛教典籍，有一些现在只存于汉语的藏经中，如《大智度论》等，这是汉语系佛教在佛法研习方面潜在的优势[14]。由于卷帙较多，《大智度论》对于中观学的很多方面得以较详细地展开，对缘起性空

义这样核心的教义，更是以不同的方便纵横开阐。在一切法的缘起性空义中，对于一些人来说，色法的缘起性空义，甚至比人无我更难以领会一些，这是日常经验的障碍造成的。本文首先将主要依据《大智度论》探讨中观学中色法的缘起性空义，进而介绍量子物理学中的物质观，并展示后者将如何帮助把握色法的缘起性空义，一如科学对于把握色法无常所能提供的帮助。

第 2 章 中观对于色法的主要见解

2.1 中观的缘起性空义概述

中观的纲要在二谛[15]，即世俗谛和第一义谛。说二谛的目的，在于依俗谛得第一义谛，得第一义谛入涅槃。这如《中论》所说[16]：“诸佛依二谛，为众生说法，一以世俗谛，二第一义谛。若人不能知，分别于二谛，则于深佛法，不知真实义。若不依俗谛，不得第一义；不得第一义，则不得涅槃。”二谛就是缘起性空。缘起就是一切法都是“此有故彼有，此无故彼无”的[17]，任何一法都没有不依他法自成、独立、恒常的可能，这就是无自性义，也就是性空。因为没有这种自性，也就没有常识认识中，基于这种自性见而形成的“物自体”或者“自相”的感觉、观念所对应的那种真实。一切法并不存在那种实在的真实有，唯假名有，宛然有而毕竟空，毕竟空而宛然有，空有相成不相夺，这就是缘起之中道。所以《中论》说：“因缘所生法，我说即是空，亦为是假名，亦是中道义”。缘起就是不离因缘而有，而非自成。而我们常识的直觉中，总是感觉到“这个”、“那个”，这后面就是根深蒂固的自成感，把法感受为有自体的。而周遍观察一切法，会发现确如《中论》所说：“未曾有一法，不从因缘生，是故一切法，无不是空者”。缘起法当然没有自成独一恒常的自性，就是在这种意义上说无自性，说性空，并不是无有自体的、如幻的因缘假有也全无。如果有常识认识中浮现的那种有自性的存在，那这种存在就不得不是常在与独存。如果是自成、独存、常在的，那么一切世出世间的因果都不得建立。反而只有无真实自性的情况下，一切现象才得以依因待缘而呈现，如幻如化，唯名唯假。无一丝一毫的自性，而因果染净宛然得成。《中论》所谓：“以有空义故，一切法得成；若无空义者，一切则不成。”在笔者看来，在这种意义上，所谓性空的另外一种等价的表述，就是“缘起是没有任何障碍的”——真实有、自体有所隐含的自性，才会障碍此有彼有、此无彼无的缘起。无此自性，即是性空。缘起

性空非但不像一些人理解、想象的互相有所障碍，反而是不可分割、不相舍离、互助互成的，正如观空法师所说：“有则同有，无则俱无[18]”。可以说，在一法上，缘起、性空也是“此有故彼有，此无故彼无”的。而一般常识认知中，总是以为见闻觉知的“对象”是真实自性有。这种常识层面上的真实，叫作俗谛。一切法非无，而真实自性实不有。非有而执以为实有，以缘起正见来彻破，一切法自性空自然现前。这种净智所相应的真实，叫作第一义谛。第一义谛并不在一般常识认识范围内，所以佛陀通过常识意义上的真实，开显净智所相应的性空，引凡入圣，这是佛陀安立二谛的根本目的。

一切存在的现象是如何产生的？如何成为存在的？这是人人心中曾出现的问题，也是哲学和宗教必须回答的问题。中观对于自性的析破，也常以此为重点。一切存在是缘起的，缘起的存在必然不可能是有自性生的。但自性生恰是常识中对“生”的认识。自性生的不可能在《中论》中是以四门不生来概括：“诸法不自生，亦不从他生，不共不无因，是故知无生。”《大智度论》卷六对此曾举镜中像做详细解说：

“如镜中像者，如镜中像非镜作，非面作，非执镜者作，亦非自然作，亦非无因缘。何以非镜作？若面未到，镜则无像，以是故非镜作。何以非面作？无镜则无像。何以非执镜者作？无镜、无面则无像。何以非自然作？若未有镜，未有面，则无像；像待镜、待面然后有。以是故非自然作。何以非无因缘？若无因缘应常有；若常有，若除镜、除面、亦应自出；以是故非无因缘。诸法亦如是，非自作，非彼作，非共作，非无因缘。云何非自作？我不可得故，一切因生法不自在故，诸法属因缘故，是以非自作。亦非他作者，自无故他亦无，若他作则失罪福力。他作有二种：若善、若不善；若善应与一切乐，若不善应与一切苦。若苦乐杂，以何因缘故与乐？以何因缘故与苦？若共，有二过故，自过、他过。若无因缘生苦乐，人应常乐，离一切苦；若无因缘，人不应作乐因，除苦因；一切诸法必有因缘，愚痴故不知。譬如人从木求火，从地求水，从扇求风；如是等种种各有因缘。是苦乐，和合因缘生：先世业

因，今世若好行、若邪行缘，从是得苦乐；是苦乐种种因缘，以实求之，无人作，无人受，空五众作，空五众受。无智人得乐，淫心爱着，得苦生嗔恚；是乐灭时，更欲求得。如小儿见镜中像，心乐爱着，失已破镜求索，智人笑之；失乐更求，亦复如是，亦为得道圣人所笑。以是故，说诸法如镜中像。”

四种自性生是不可能的。简单地说，一切现象都需要其他条件才能现起，所以不是自生：“一切因生法不自在故，诸法属因缘故，是以非自作。”而自他是相对而言的，自生不可能，他生也不可能：“亦非他作者，自无故他亦无。”而共生，则会同时犯自生和他生两种过失：“若共，有二过故，自过、他过。”无因生，是违背一切世间现象的，以苦乐为例，如果没有因果的必然性的话，人应该常乐无苦：“若无因缘生苦乐，人应常乐，离一切苦。”而实际上，“一切诸法必有因缘，愚痴故不知。”

缘起是佛法的根本义，是一切佛教宗派所共许的。但是在以日常经验为基础的自性见的影响下，这种缘起观，常常被理解成有自性的缘起，却体会不到，有自性就没有缘起，有缘起就没有自性。这种有自性的缘起观的典型表现，就是认为有一一别体的因、缘，聚到一起，生起了别体的果法。这其实是上面所破四种自性生中的他生或共生。有这样自性见的人，不容易理解这为什么有过，于是《大智度论》卷六中进一步破自性实有的他缘不能生果：

“问曰：镜中像从因缘生，有面、有镜、有持镜人、有明，是事和合故像生；因是像生忧喜，亦作因，亦作果，云何言实空不生不灭？答曰：从因缘生，不自在故空；若法实有，是不应从因缘生。何以故？若因缘中先有，因缘无所用；若因缘中先无，因缘亦无所用。譬如乳中若先有酪，是乳非酪因，酪先有故；若先无酪，如水中无酪，是乳亦非因；若无因而有酪者，水中何以不生酪？若乳是酪因缘，乳亦不自在，亦从因缘生：乳从牛有，牛从水草有，如是无边，皆有因缘。以是故因缘中果，不得言有，不得言无，不得言有无，不得言非有非无。诸法从因缘

生，无自性，如镜中像。如偈说：若法因缘生，是法性实空；若此法不空，不从因缘有。譬如镜中像，非镜亦非面，亦非持镜人，非自非无因。非有亦非无，亦复非有无，此语亦不受，如是名中道。以是故，说诸法如镜中像。”

如果因缘是有实在自性的，就会有因中有果、因中无果两类过失，使得因果关系遭到破坏。“若法实有，是不应从因缘生。何以故？若因缘中先有，因缘无所用；若因缘中先无，因缘亦无所用。”对这些过失的析破，否定的当然不是缘起现象中的因果关系，而是否定了一般对因果错误的认识中所包含的法有自性的前提。所以正确成立因果的唯一可能，就是诸法是无自性的：“诸法从因缘生，无自性，如镜中像。”

正确地理解了诸法自性生的不可能，明白了缘起的意蕴，其实中观般若的核心意趣已经如在掌中了。从缘起出发，一切世出世间都能得以正确的建立。佛法以有情苦的解脱为关怀的中心，所以佛说缘起，也多是以有情世间的流转还灭来阐明，这就是十二缘起支的流转门和还灭门，建立了世出世间紊然不乱的因果。其实，不只是十二支，一切佛法，都是缘起的展开，都是缘起的说明。如佛初转法轮[19]，说的内容是四圣谛。四圣谛中，苦集相生的此有故彼有，由道还灭的此灭故彼灭，不就是在讲缘起吗？其实，“缘起法是世间的一切。缘起的因果事相，众生已经是雾里看花，不能完全了达，缘起法内在的法性，更是一般人所不能认识的。佛陀悟证到缘起的真相，彻底的开显了甚深的法性，就是三法印（三种真理）。从缘起生灭的非常上，显示了刹那生灭的‘诸行无常’。缘起是有情为本的，从缘起和合的非一上，开示了众缘无实的‘诸法无我’。从缘起的非有不生的寂灭上，阐明了无为空寂的‘涅槃寂静’。缘起法具体的开显了三法印，是即三即一而无碍的。……缘起以有情为本，所以《阿含经》特别侧重了有情无实的诸法无我。如果深刻而彻底的说，有情与法，都是缘起无自性（我）的，这就到达了一切法空的诸法无我。这不是强调，不是偏重，只是《阿含经》‘空诸行’的圆满解说。……龙树论特别的显示一切法空，就是缘起的一实相印[20]。”

2.2 色法因缘和合假有无性

色法，《俱舍论》的定义为“变碍故名为色[21]”。这个概念基本上与自然科学中物质的概念可以对应。上面所概述的缘起性空义，是普遍适用于一切有为、无为，有漏、无漏诸法的，色法当然莫之能外。不过，对于一些人来说，由于日常经验提供的支持是这样“坚实”，以至于认识色法空甚至比人我空还要难。如《大智度论》卷三十五说：“我不可以五情求得，但忆想分别生我想无而谓有；又意情中无有定缘，但忆想分别颠倒因缘故，于空五众中而生我想，若闻无我则易可解。色等诸法现眼所见，若初言空无则难可信。今先破我，次破我所法[22]。”

《大智度论》不仅为一部分人提出了先学人我空，后学法我空的方便[23]，更从不同的角度，反复破析色法的自性有，开显色法的缘起性空义。就其总义，则如《大智度论》卷九十一说：“性无者，是色从一切四大和合，假名为色，是中无定一法名为色，如先破色中说。是色从因缘和合生故，即是无性，若无性即是性空。”就种种执取不同，则有种种分破。

2.2.1 色无生

如前通说一切法无自性生，四生不可得，色法自莫能外，自然可以结成色无生。不过，破自性生有多门，除四生外，《大智度论》卷八十还说：

“如色初、后、中生不可得，即色生色不可得，离色生色不可得，生不可得，生生不可得，如先破生中说。生不可得故，色亦不可得，色不可得故，色生不可得。二法不可得故，色如幻、如梦，但诳人眼。若色有生必有尽，以无生故亦无尽。色真相即是般若波罗蜜相，是故说色不可尽，般若波罗蜜亦不可尽。受、想、行、识，檀波罗蜜乃至一切种智，亦如是。”

这是从破色的自性生相不可得，来自然地推出：既然色法的生相不可得，色法“自身”当然也不可得。生相是生、住、异、灭四相之一。

此处破色法的自性生相，其实主要是从三时破：色法是在生相没灭的时候出现的，还是在生相灭后出现的？如果是生相没灭的时候出现的，所生的色法已经在了，还要生相做什么？色法出现了，就是生的作用已经过去了，应该没有生相了。生相是就色法的生起说的。如果一定说生相还在，应该还会生出色法才对，这样就有无穷过。如果色法在生相已灭之后出现，生相已灭去，色法还没出现，谈什么“生”呢？不仅生相没起到生的作用，色法也不会生起才对。如果说就在生的一刹那，色法生起，生相灭去，那也是不可能的。因为一推究，自性有的色法和生相二者，要不就是同时存在，要不然就不是同时存在，没有第三种可能。难道还会生相灭得剩一半，色法也生起了一半，还有一半色法没生起吗？生相渐没，色法渐生，不过是一种抽象的言谈，生相只要还能生，就是生相全在，被阉割了的生相不再是生。“生时生”的意象，只是一个模糊的错觉而已，也是看似通达的一条死路，一但认真起来，就会发现根本不可能。《大智度论》卷三十一说：“若已生，生无所用；若未生，生无所生法。”这与《中论》中：“生非生已生，亦非未生生，生时亦不生，去来中已答”是同一意趣。《七十空性论》中也有类似的偈颂：“已生则不生，未生亦不生，生时亦不生，即生未生故24。”

色无生，则无有如一般认识中的实体色法，也就破除了一般的错误的物质观念。《大智度论》卷五十三说：“是故说色无生为非色，色性常自无生，非今智慧力故使无生。如有人破色令空，犹存本色想。譬如除厕作舍，今虽无厕，犹有不净想；若能知厕本无，幻化所作，则无厕想。行者如是，若能知色从本已来初自无生者，则不复存色想；是故言色无生为非色，乃至一切种智亦如是。”

2.2.2 色无自体

色无生，其实已经从根源上排除了色法有自性的可能。但是在常识的认知中，总觉得看到的、触到的、尝到的、嗅到的，是实在的物体，或者来自实在的物体。实际上，那个“实在的物体”，只是我们在认识中，

将各种感官感觉“贴在”一个子虚乌有的“实体”的“表面”上，所捏合成的一种意象而已。如果打个比方的话，这与计算机 3D 建模贴图过程有些相似。我们的认识，离不开感觉器官：眼见色，耳闻声，鼻嗅香，舌尝味，身觉触，这些感官认知对象，没有哪个是那个“实体”。“实体”观念从何而来？如果“是被眼睛所知觉的，那么这个观念必然是一种颜色，如果是被耳朵所知觉，那么它必然是一种声音，如果是被味觉所知觉，那么它必然是一种滋味；其它感官也是如此。但是我相信没有人会说：实体或是一种颜色，或是一个声音，或是一种滋味。因此实体观念如果确实存在，它必然是从反省印象得来的。但是反省印象归结为情感和情绪；两者之中没有一个能够表象实体。因此，我们的实体观念，只是一些特殊性质的集合体的观念，而当我们谈论实体或关于实体进行推理时，我们也没有其他的意义[25]。”实体观念实际上“只是一些简单观念的集合体，这些简单观念被想像结合了起来，被我们给予一个特殊的名称，借此我们便可以向自己或向他人提到那个集合体。……构成一个实体的一些特殊性质，通常被指为这些性质被假设为寓存其中的一种不可知的东西（同上）。”

《大智度论》卷十八说：

“复次，菩萨观一切法皆无相，是诸相从因缘和合生，无自性故无。如地，色、香、味、触四法和合故名地，不但色故名地，亦不但香、但味、但触故名为地。何以故？若但色是地，余三则不应是地，地则无香、味、触；香、味、触亦如是。复次，是四法云何为一法？一法云何为四法？以是故，不得以四为地，亦不得离四为地。问曰：我不以四为地，但因四法故地法生，此地在四法中住！答曰：若从四法生地，地与四法异。如父母生子，子则异父母。若尔者，今眼见色，鼻知香，舌知味，身知触，地若异此四法者，应更有异根、异识知。若更无异根、异识知，则无有地。”

所谓的别体的色法，只是从色香味触的和合中，得到的错误意象而

已。一切色法都是依因待缘而得以现起，求别实体而不可得。若有别实体，则与色香味触异，那这个别实体，是通过什么感觉器官被认识的呢？根本没有一个不取色香味触直接认识色法“物自体”的器官，所谓别有实体的地法，只是错误的计执。除了色香味触，除了四大，没有别体色法可得，如《大智度论》卷三十一所说：“以智分别，各各离散，色不可得。若色实有，舍此诸法，应别有色，而更无别。是故经言：所有色皆从四大和合有；和合有故皆是假名，假名故可散。”色法只是缘起假名，因缘具足时，以色香味触的形式通过根识的作用为我们所认知，不起自性见的计执则不妨为无谬的世俗安立。色香味触，也是依待根识等认知器官和能力以及其它因缘而得以呈现的缘起现象，也并无自性可得。

这种破别自体的方法，实际不仅限于无情色法，破人我也一样可用，《大智度论》卷十二、十四都有运用。如《大智度论》卷十四说：“问曰：定有众生，何以故言无？五众因缘，有众生法；譬如五指因缘拳法生。答曰：此言非也！若五众因缘有众生法者，除五众，则别有众生法，然不可得；眼自见色，耳自闻声，鼻嗅香，舌知味，身知触，意知法，空无我法；离此六事，更无众生。诸外道辈倒见故，言眼能见色，是为众生；乃至意能知法，是为众生；又能忆念能受苦乐，是为众生；但作是见，不知众生实。”

此处所用的破法，与前色法无自体是一样的，只是一般情况下，人们意识不到这种计有我的不合理性。“五指因缘拳法生”，是《大智度论》中经常出现的一个譬喻，指、拳各有别体，表示种种别体因缘而有别体果法生。此处特别强调别体果法的不可得。《大智度论》卷九十九对此有述破：“问曰：何以故无拳法？形亦异，力用亦异；若但是指者，不应异，因五指合故拳法生；是拳法虽无常生灭，不得言无。答曰：是拳法若定有，除五指应更有拳可见，亦不须因五指。如是等因缘，离五指更无有拳。”

有别体的拳法，这是一种普遍而典型的见解。所举的原因，也是容

易得到普遍认同的：拳的形态和功能，都不同于指，怎么能说没有别体呢？就色法推广而言，色法和它的组成部分，不管是形态还是功能，都是有差异的，所以色法异于它的组成部分，而有别自体。问题在于，如果拳法定有别自体，切掉五指，应该也有拳法可见，然而并非这样。说明离五指无别体的拳法可得。同样的逻辑，可以例于一切色法：并没有完全别异于构成因素的别体色法可得。

这是异常深刻的。一般常识的直觉认知中，总觉得一一色法，如书籍、文稿、显示器、键盘、杯子等等，是有一一别自体的，是自成独一的。即便理性推度，认识到是有一定原因条件而成的，也会直觉地体会为有一个完全不同于原因条件的别体法。这就是自性见在果法上的体现。自性见是违背缘起的，是破坏“此有故彼有，此无故彼无”的依存关系的，所以一仔细推敲，这样的别有实自体的果法，就出现了问题。缘起，不是说一一完全独立于、别异于其他法的因、缘，聚合一处，生起一个别体的、独立于、别异于其他法的果法。这是自性生的四生中他生的见解。实际上，真实的缘起义，是说诸法都是一种“此有故彼有，此无故彼无”的关系的存在，所以没有人们想象的、投射的那种别自体的法，所以缘生即是无生。从因缘生的果法，是“若果从缘生，不即不异因，是则名实相，不断亦不常”的（文献 16）。

别体果法既不可得，一一有别自体的因缘当然也不可得，因为那些也都是其它因缘的果。所以一切法，包括色法，无别自体可得，即是无自性，无自性故空。

2.2.3 色无自力

色无别体，是从色法没有完全别异于因缘、特别是构成因素的角度，来说明色法没有那种有自性的“体”。色无自力，是从色法所表现的功能上来说明，没有离开了诸和合因缘，仍然存在的属于某一色法的有自性的“自力”。纵然已经不得不承认色法没有自性有的别自体，但人们还常常认为色法自身的功能是不可否认的。《大智度论》卷第六十二中对此分

析到：

“凡夫人不知和合因缘生诸法，故言色有力，如合众缕以为绳，不知者谓绳有力；又如墙崩杀人，言墙有力；若各各分散，则无有力。般若波罗蜜，知和合相，不说一法有力，不说言无力，是故名摩诃波罗蜜。……譬如八圣道分，正见是道，若无七事佐助，则不能办事，亦不名正见。是故佛说一切诸善法，皆从因缘和合共生，无有一法独自生者。……一切法无生无灭，无所得相。如我、众生，十方求索不可得，但有假名，实不生。……如色等诸法，生相不可得故不生。二法摄一切法：若众生、若法。此二法因缘和合生，但有假名，无有定性；若法无定性，此法即是无生。是二法无生故，当知色等诸法亦无生。众生法无性，无所有，空，离，不可思议，不灭，不可知，亦如是。……先说一切法从因缘和合生，各各无自力。般若波罗蜜，知诸法各各无自力，故无自性，无自性故空。般若波罗蜜从诸法生，故无自力，无自力故，亦同诸法毕竟空。是故说众生及法，力不成就故，般若波罗蜜力亦不成就。”

在明确色无自体后，色无自力更进一步破除以执有自性功能的方式，对实有自性色法的隐蔽计执[26]。如果离开了诸和合因缘，某一色法独立、不待他的功能，是根本不可得的。不仅色法如此，一切法皆如此。比如八圣道中的正见，离余七支不能成就其作用，同时也就失去了它“自己”的意义。一切功能作用，“皆从因缘和合共生，无有一法独自生者”。众生、法是这样，乃至般若波罗蜜多概莫能外，都需要因缘和合显现作用，根本没有属于独立自体的功能可言。一切诸法，都是“因缘和合生，但有假名，无有定性”的。既然一切诸法都没有独立不依待他的功能，当然也就没有自性可言：“诸法各各无自力，故无自性，无自性故空。”

无自性功能这个角度，是特别有意义的。这是人们直觉认识中挥之不去的一种感受，也是整体论所计执的关键之一。实际上，还原论也一样计执于有自性功能。虽然中观在破一异计执的时候，有时以分析、还原的角度，来指出一合相实自体的不可得，有时以缘起现象的无谬，来

说明整体现象的宛然而有，但缘起性空观，既不是还原论，也不是整体论。这二者在正确的缘起观看来，都没有逃出一异的戏论。这二者的诤论，是一般物质观所必然面对的。而缘起性空所说的，是有自性的一异求之不可得，一和异都会面临种种困难，而且二者实际是自性见这同一类计执的不同表现而已。缘起法是“此有故彼有，此无故彼无”的关系的存在，是根本离于一异的计执的，说一说异都是在破坏了依存的缘起的意象上展开的，所以基于有自性的一异的整体论和还原论，都不是缘起性空观认可的立场。

2.2.4 色无自相

虽然分析破斥了色法有别自体、某一具体色法有不依于他的功能的错误看法，但在自性见的笼罩下，人们会自然地继续执着色法有其如见闻觉知所了的自相，实际不然。《大智度论》卷三十一说：

“问曰：汝言一切法空，是事不然！何以故？一切法各各自相摄故。如地坚相，水湿相，火热相，风动相，心为识相，慧为知相；如是一切法，各自住其相，云何言空？答曰：性空，自相空中已破，今当更说。相不定故不应是相，如酥、蜜、胶、蜡等，皆是地相，与火合故，自舍其相，转成湿相；金、银、铜、铁与火合故，亦自舍其相，变为水相；如水得寒成冰，转为地相；如人醉睡，入无心定，冻冰中鱼，皆无心识，舍其心相，无所觉知；如慧为知相，入诸法实相，则无所觉知，自舍知相。是故诸法无有定相。”

一般总觉得一切色法有定实相可得，实际上，色法和其他一切法，都没有一个确定不变的相可得，“相不定故不应是相”。对色法所取的相，是与认识能力、认识方式、心理背景等密切相关的。如《大智度论》卷四十三说：

“复次，一切法无相相为实。譬如身，不净充满，九孔常流，无有净相；而人无明故，强以为净，生烦恼，作诸罪。如小儿于不净物中，

取净相以为乐，长者观之而笑，知为虚妄。如是等种种取相，皆为虚妄。如颇梨珠，随前色变，自无定色；诸法亦如是，无有定相，随心为异，若常、无常等相。如以瞋心，见此人为弊；若瞋心休息，淫欲心生，见此人还复为好；若以憍慢心生，见此人以为卑贱；闻其有德，还生敬心。如是等有理而憎爱，无理而憎爱，皆是虚妄忆想；若除虚诳相，亦无空相，无相相，无作相，无所破故。是色从种种因缘和合而有，譬如水沫，如幻、如梦；若菩萨于色中取一异相，即失般若波罗蜜，色性是无相相故。”

从这个意义上，色法的“自相”，是说不上“自”的。色法有缘起的假名相，但这假名相是没有定相的，呈现出什么样的相，是与认识的主体感官和心识的堪能、认识的心理背景等诸多因素密切相关的，“无有定相，随心为异”。当用“自相”这个词的时候，其中的“自”，或是强调不待他义，或是强调与他法本质上的别异，实际上内心都是在执法有自成的特性。这种观念，从根本上是违背缘起的。对此，《大智度论》卷三十一说：“复次，众法和合，故一法生，是一法空，如是等一一法皆空。今和合因缘法，展转皆亦空，一切法各各自相空，以是故，名为自相空。”和合因缘所生诸法，是没有别自体，也没有自相可言的。若求觅色法的定实相，推度下去，只会发现无相可取。如《大智度论》卷七十中举例说：“复次，诸法无定相，如树，根、茎、枝、叶和合故名为树，树无定相故无所破。”《大智度论》卷八十六中更是点明了无定相即无自性的意义：“须菩提问：世尊！何等性中不动？佛答：色性中不动，乃至大慈大悲等性中不动。何以故？是诸法性，众因缘生故不自在、无定相，无定相故无所有。诸法者，所谓色等法。因是色法故说无为，是故无为法亦无所有。”定实相，实际就是自在相的另外一种表述，本质上就是有自性的意思。一般不能或不肯认识到这一层，所以执有“自相”。

如果诸法有自相，有定相，那会有很多过失。《大智度论》卷三十一略举其三世过：“复次，若谓诸法定相，是亦不然！所以者何？如未来法相，不应来至现在，若至现在，则舍未来相；若不舍未来相入现在者，

未来则是现在，为无未来果报；若现在入过去，则舍现在相；若不舍现在相入过去，过去则是现在。如是等过，则知诸法无有定相。”如果法有定相，则破坏过现未。而一切世俗谛的存在，都是时空关系中的存在，所以破坏过现未，就破坏了一切世间缘起相。

或有以为无相也是一种相，一种存在的确定的相。实际上，把无相说成一种相，只是由名计实，全无可取。无相就是对实有自性的相的否定，反计有无相这种定实相，就成了自语相违了。《大智度论》卷十八对此破斥外人问难道：“问曰：不应言无相，何以故？于诸法无相即是相。若无无相，则不破一切法相，何以故？无无相故。若有是无相，则不应言一切法无相！答曰：以无相破诸法相，若有无相相，则堕诸法相中；若不入诸法中，则不应难！无相皆破诸法相，亦自灭相。譬如前火木，然诸薪已，亦复自然。是故圣人行无相无相三昧，破无相故。”

如上已从色无生、色无自体、色无自力、色无自相等几个方面，遮破对色自性有的计执。在破除自性有的前提下，可以安立色法的假名有。《大智度论》卷十二说：“假名有者，如酪有色、香、味、触，四事因缘合故，假名为酪。虽有，不同因缘法有；虽无，亦不如兔角、龟毛无；但以因缘合故，假名有酪。”

色等诸法无有定相可取，并不意味着世俗的崩坏。实际上，“佛破世间常颠倒，不破世间（《大智度论》卷七十）。”圣人可以假名用诸法，虽用诸法而不取相，如《大智度论》卷三十一说：“复次，圣人于诸法不取相亦不着，是故圣法为真实；凡夫于诸法取相亦着，故以凡夫人法为虚妄。圣人虽用而不取相，不取相故则无定相，如是不应为难！于凡夫地着法分别：是圣法，是凡夫法；若于贤圣地，则无所分别；为断众生病，故言是虚、是实。如说：佛语非虚非实，非缚非解，不一不异，是故无所分别，清净如虚空。”

2.3 微尘与色法

关于物质，古今中外都有基于分割色法而形成的物质基本构成单元的观念。很显然，这样一种推论，与常识经验中色法的可分割性是密切相关的。碎裂的石头，劈断的木头，都可以给一个有基本推理能力的人以这样的启迪。色法的分割是否有极限，是否存在最微小的基本单元，是任何一种物质观都要面对的问题。而与古希腊哲学关系密切的自然科学的发展，在今天更将这个问题在科学和哲学两个方面推向深入。另外，有些人尽管接受了诸法从因缘生，但是却执着从不正确的因缘生，比如恒常的微尘等。如《大智度论》卷八十说：“能如是观因缘法者，不见有一法定自在无因缘而生，一切法不自在，皆属因缘生。有人虽见一切法从因缘生，谓为从邪因缘生。邪因缘者，微尘、世性等。是故说，不见法无因缘生，亦不见法从常因缘微尘、世性生。”所以，尽管从强调无自性以及因缘和合假名有的角度，已经对色法缘起性空义有了较详尽的阐说，这里仍将进一步厘清中观，特别是《大智度论》中对于微尘的看法。

对于微尘的定义，《大智度论》卷七十中举外人的说法：“有人说：世间初边名微尘，微尘常法不可破，不可烧，不可烂，不可坏，以微细故。”不管是德谟克利特的原子观，还是我们意识中朦胧的物质最小结构基本单位，其实推敲起来，都具备这些特点：不可分割，不可毁坏。可分割，可毁坏的，是它的聚合状态。接受可见闻觉知的宏观色法是由微尘聚成的人，一般都默认色法的真实性的基础，在于微尘的真实。如果微尘没有实在自性可得，没有所被执取的那种坚实，则一切微尘所成的色法自然也没有实自性。所以对于这一类执着，《大智度论》从微尘无有自性破，如卷第三十六中说：“若微尘有形、无形，二俱有过。若无形，云何是色？若微尘有形，则与虚空作分，亦有十方分；若有十方分，则不名为微尘。”

这就是自性见下分割物质寻觅极微时面临的两难：一方面很难设想物质总是可以一次又一次地分割下去，但是另一方面也很难设想，这种

分割必然有朝一日到一个终点。设想了这样的终点，就会面临更严峻的困境：这极微是否有形，是否占据空间。如果不占据空间，凭什么叫它色法，应该叫虚空才对；如果占据空间，说明它还有可分割的余地，为什么说它是极微，说它是分割的终点。《大智度论》卷八十九也有类似的问难："一切色皆在虚空中，皆有十方。若微尘是色，则有十分；若有十分，云何是极微？若如汝说微尘无分者，则非色，何以故？出色相故。"这样的两难，带来的是对于隐含的出发前提的否定：有微尘自性可得。

有人说有天眼的人能见到微尘，怎么说微尘不可得呢？《大智度论》卷八十九举云："问曰：微尘细故，五情所不能得，圣人得天眼则见。答曰：天眼见虽细，是色相故，应当有分；若无分则非色，非色则天眼不见。以是故，天眼亦虚诳妄见；是故圣人以慧眼观世间，则得道。"天眼所见，还是世俗谛所摄，缘起现象则不无，真实自性则不有。无漏智慧中，没有这样、那样的微尘可得，因为微尘是没有实体、没有自性的。这如《大智度论》卷四十二说："诸凡夫人见微尘和合成地，谓为实地，余有天眼者，散此地，但见微尘；慧眼分别破散，此地都不可得。"

《大智度论》对于微尘的层次也有所剖析，受过现代科学教育的人对此应该有似曾相识的感觉。卷三十六中说："是众微尘，有大、有中、有小；大者游尘可见，中者诸天所见，小者上圣人天眼所见；慧眼观之则无所见。所以者何？性实无故。若微尘实有，即是常，不可分裂，不可毁坏，火不能烧，水不能没。"这里特别指出了认识能力与微尘的关系，而对于实智慧来说，无有真实微尘可见，因为没有真实性可言；并且指出，如果微尘有实自性，就应该是常而不灭的，一切方法都不能破坏的。今天科学的认识能力之下，没有任何一种微观粒子具有这样的特性，所以微尘无有自性，对此后文会详明。

至此，已经破斥了有自性的微尘。微尘无有自性，微尘和合因缘所成诸色法，又如何有自性可得？这如《大智度论》卷三十一所说："色等亦是假名破，所以者何？和合微尘假名为色故。"虽然求微尘真实不可得，

乃至求色法真实不可得，但其世俗谛上则无妨假名。《大智度论》卷三十六说：

“诸法性空，但名字，因缘和合故有名字。如山河、草木，土地、人民，州郡、城邑，名之为国；巷里、市陌，庐馆、宫殿，名之为都；梁柱、椽栋，瓦竹、壁石，名之为殿；上中下分和合，名之为柱；片片和合，故有分名；众札和合，故有片名；众微和合，故有札名。……离是因缘名字，则无有法。今除山河、土地因缘名字，更无国名；除闾里、道陌因缘名字，则无都名；除梁椽、竹瓦因缘名字，更无殿名；除三分柱因缘名字，更无柱名；除片因缘名字，则无分名；除札因缘名字，则无片名；除众微因缘名字，则无札名；除中微尘名字，则无大微尘名；除小微尘名字，则无中微尘名；除天眼妄见，则无小微尘名。如是等种种因缘义故，知诸法必空。”

需要特别注意的是，这里清楚地从正面说明了相当于现代科学中基本粒子概念的小微尘，也是因缘而成：如果没有天眼妄见的因缘，则无小微尘名。由于一切法乃至小微尘，无非因缘和合假名字有，故世俗谛唯假名。而有见坚固者，甚至会以为名字有实义。《大智度论》卷三十六对此进行分破：“问曰：若法毕竟空，何以有名字？答曰：名字若是有，与法俱破；若无，则不应难！名字与法俱无有异，以是故知一切法空。”

色法缘起性空义的大概，已陈述于前。但对于受过自然科学教育、崇尚科学的人来说，只从佛法和一般经验的角度观察，总难免有些不易信服。故下文将略析量子物理学的发展对物质观带来的影响，及其事实、理论、哲学中所蕴含的色法缘起性空义。

第 3 章 量子物理学的物质观

3.1 量子与经典

量子的概念，来自普朗克在研究黑体辐射时提出的“能量子”，假定电磁场和物质交换能量是以不连续的形式实现的，能量子的大小同辐射频率成正比，比例常数称为普朗克常数（h），从而得出黑体辐射能量分布公式，成功地解释了黑体辐射现象。那恰巧是 1900 年，一个新世纪的开始。从那以后，量子力学发展起来，彻底改变了经典物理学对于世界的认识。17 世纪，牛顿奠定了经典物理学的基础，它具有独立的空间和绝对的时间概念，以及隐含决定论与因果性的运动定律，这个体系在两个世纪内未受到物理学家或哲学家的根本性挑战。经典物理学本质上是与人的日常经验相一致的。日常经验形成了我们对于物质、运动以及时空的看法：固体是坚固的，所有精确的钟表的时间都是保持同步的，物质碰撞前后的质量是保持不变的，自然界是可以预测的。可是，在量子世界，比如亚原子层面，事情变得不同了：固体物质实际绝大部分是中空的，时间是相对的，质量在碰撞前后将会获得或失去，即便输入完备的信息，结果也变得不确定了。值得稍加强调的是，正如爱丁顿在二十世纪二十年代所描述的：固体物质大部分是由虚空构成的，形成这种图像的革命远比相对论革命更为基本[27]。而且，我们的经验告诉我们：外部世界是连续的，是确定的，是定域的，而且一直都是如此；我们对于外部世界的知识，只是在对对错错的过程中，不断逼近那个绝对客观、确定的外部世界的真实属性;不仅外部世界本身是与我们认识无关的存在，而且外部世界的一切属性都是与我们的认识过程无关的、确定的。这些，在量子物理学里，都不再是理所当然。光子和电子的双缝衍射实验，以及不确定性原则，可以带给人关于量子世界和经典宏观世界差别的感性认识。

3.1.1 双缝实验与波粒二象性

当一列波，比如光，投射到一个有两条狭缝的挡板上，狭缝相距很近，平行光的光波会同时传到狭缝，就成了两个振动情况总是相同的波源，它们在档板后面的空间相互叠加，就发生了干涉现象，在屏上形成明暗相间的干涉条纹。这是经典物理学年代已经熟知的，但是站在经典物理学的立场，微观粒子的双缝实验结果却是不可理解的。

在物理学开始涉入量子世界之初，受经典物理学教育成长起来的物理学家们，一直试图使用与日常经验相一致的经典物理学的概念来解释量子现象，所以有了原子结构的太阳系模型和玻尔模型，有了电子轨道的概念。可是这样的努力，虽然似乎帮助人们理解了一些量子物理的现象，但是实际上却将量子世界与经验世界的差别更显著地凸显出来。就双缝实验而言，正如费曼指出的[28]，微观粒子的双缝实验，绝对不可能用经典的方式去解释，它位于量子力学的核心位置。实际上，它包含着所有量子力学的神秘之处。

以电子的双缝干涉为例。在没有受过量子力学洗礼的头脑中，关于电子的意象，一般是一个带负电荷的微观粒子，好像是个非常非常小的球，或者如假设那样，是点电荷，是原子结构的一部分，是构成宏观物质的基本组成固件。不妨带着这样的意象开始。电子双缝实验中，如果遮住一条缝，那么在检测屏上，只是出现一条亮带，这没有问题，经典物理学和我们的常识都觉得这很正常。可如果双缝都开放，那么在检测屏上，就会出现明暗相间的多条干涉条纹，而不是单纯粒子特性下，应该表现出来的两条亮带。这是经典物理学无法理解的。干涉是波的特性，波是非定域的，与定域性的粒子有着非常显著的差别。粒子和波特性的差别，可以从我们的日常经验里，一个铅球和池塘中荡漾开去的同心圆水波的对比中，得到感性认识。而电子，在经典物理学看来，无疑是一种粒子。电子的本质究竟是粒子还是波？对于经典物理学来说，它不可能既是粒子又是波，或者说，它不可能既有粒子的特性又有波的特性。

实际上，量子力学发展史上，波还是粒子的两难，是起源于关于光本质的探索。由于一系列理论和实验方面的进展，光作为电磁波的本质，从十九世纪开始被广泛接受。但是爱因斯坦关于光电效应的研究，却揭示了光的粒子性，更确切地说，是电磁波的粒子性。德布罗意将这种类波属性推广到一切微观、宏观的物体，提出物质波的理论，并推导出其波长可表达为普朗克常数与其动量的商。这种物体有时表现出波的特征有时表现出粒子特征的性质，被称为波粒二象性。从物质波理论的角度看，由于普朗克常数很小，而宏观物体的动量一般相对较大，所以其波长会很小，与宏观物体尺度相比几乎可以忽略，从而表现出强的粒子性，波动性表现极不明显。微观粒子的动量一般较小，粒子尺度和波长尺度基本相若，波动性表现得较为明显，不可忽略。电子的双缝干涉，是对这一理论的证实。

但是电子双缝实验所揭示的，远不仅于此。所谓波粒二象性，在电子身上意味着什么？是作为粒子的电子像波一样在空间荡漾、弥散开吗？是电子的前面有个引导的波吗？在双缝实验中，电子的行为到底是怎样的？作为构成原子一部分的电子,尽管知道它有时表现出波的特性，但认为每个具体的电子必定通过两条狭缝之一的想法似乎仍然是很自然的。在经典的观点看来，如果电子是具有波特性的粒子，那么，可以通过在狭缝上设计某种检测手段，来确定在电子双缝干涉实验中，每个电子都是先通过了哪条狭缝，然后又发生干涉。然而，一旦这样实施，确定了电子通过了哪一条狭缝，显示屏上呈现的，就不再是干涉条纹，而是两条狭缝所对应的两条亮纹，对应于典型的粒子行为，干涉消失了。电子似乎不仅知道狭缝开了一条还是两条,懂得在开一条时表现粒子性，开两条时表现波动性，而且，还似乎知道是否有人在观察它们，并据此调整自己的行为。不论其背后的本质如何，从现象上看，可以说，对电子行为的认识结果，是与我们认识的方法和过程有密切关系的。离开具体的认识过程，电子并没有确定、独立的可供认识的相可言。在经典物理中，仪器对客体的作用比客体本身的物理量小得可以忽略，即使不能

忽略也能通过对过程的分析将它剔除，但在对原子客体的观察中，仪器对客体的作用与客体的物理量相若，其作用过程又是非连续的，所以不可能将仪器的作用剔除，这样，观察结果中就必然包含了观察仪器的作用，而不是代表客体本身的现象，对客体的描述也必然只能是观察下的客体的描述，而不可能是对没有观察的孤立客体本身的描述。所以对客体的任何描述都依赖一定的观察，没有观察，就没有可描述的确定的现象。这不是说，没有观察，现象世界就不存在，而是说，没有观察，确定的客体现象就不存在[29]。这是量子力学哥本哈根学派一个特征观点。

在电子双缝实验中，由于根深蒂固的实在粒子观念，人们很容易心里默认电子的干涉，是发生在通过不同狭缝的不同电子之间。如果减慢电子的发射速度，直到每次发射一个电子，如果电子真的如同粒子一样一次只通过一条狭缝，那么干涉不会发生，因为每次只有一个电子。持续记录之后，在显示屏上出现的应该是两条亮带，对应于典型的粒子特征。可是，单电子双缝干涉实验却彻底摧毁了这幅图景。实际上持续记录得到的结果，却是干涉条纹。从波粒二象性的角度看，这表明在没有检测究竟通过哪条缝的情况下，单个电子在双缝实验中，表现出波的特性。

电子可以展现出粒子的一面，也可以展现出波的一面，它的本来面目是什么？在哥本哈根学派核心人物玻尔看来，谈论电子“本来”是什么是没有意义的。对于我们来说，唯一知道的只是每次观测到的电子是什么。每次我们观察它，它只展现出一面，这里的关键是我们如何观察它，而不是它究竟是什么。抛开具体的观察来谈电子本来的状态，是没有意义的。对于双缝实验来说，在没有观察的时候去断言电子要么通过这条缝，要么通过另一条缝是错误的。

对于波粒二象性的理解，实际上哥本哈根学派是指出了问题的本质的[30]：这是由于我们用与我们日常经验一致的经典物理学语言来描述量子现象造成的。我们常识中熟悉的图景、概念，是基于宏观的、经典物理

学的现象得来的，我们无法直接想象完全不同于此的对象。借用经典图景的波和粒子来描述亚原子粒子，与其说是一种描述，不如说是一种比喻。玻尔说：“把传统的物理属性硬加给原子客体就导致了一个本质上的含糊性要素。这点在关于电子和光子的粒子性质和波性质的两难局面上是明显的。在那里我们必须和两个彼此对立的图景打交道，每个图景都指向经验证据的一个本质方面[31]。”而一个真正理解量子理论的人“即使做梦也永远不会称呼量子论是二重论。他们把量子论看成是原子现象的统一描述，尽管当应用到实验上它必须露出不同面孔，因而必须译成日常语言。”粒子和波，只是随顺我们日常经验和经典物理学的概念而已。量子过程能用波和粒子两种图景想象出来，二者的数学表述是完全等价的32。但这并不意味着经典的粒子或波概念正确地描述了量子过程。

波粒二象性甚至可以归结为一个语言问题，是在量子理论出现的早期，因为经典物理学和新兴的量子力学的碰撞、交汇，习惯于日常经验和经典物理学语言的物理学家们要用日常和经典语言描述量子现象时遇到的语言问题。这是一种权宜的表述或“翻译”。语言的问题，也可以说是认知的问题。海森堡对此有清晰的认识：“我们的语言不能够描写原子内部发生的过程，这一点并不奇怪，因为语言本来就是为描写日常生活经验而发明出来的，而这些经验是涉及到极其多的原子过程组成。再者，修改我们的语言，使其能描写这些原子过程是很困难的，因为字句只能描写我们能形成思维图景的东西，而这个本能也是个日常经验的结果。幸运的是，数学不受这个限制，因而就有了可能发明一个数学结构——量子论——它对处理原子过程似乎是完全够好了；可是为了想象（使它看得出），我们必须只满足于两个不完备的类似——波图景和粒子图景（文献 32）。”后来发展起来的量子理论，小心地避开了与日常生活经验的比较，所以是更合适的。当然，对于一般大众来说，也是更加难以用清晰的图像去理解的。

3.1.2 不确定性原则

在我们日常经验和经典物理学里，一个物体以某个速度通过某点，是我们常用的一种描述，意象清晰而明确。在量子力学里，这种常识经验又遭到了破坏。1927 年，海森堡提出了不确定性原理。该原理表明，一个微观粒子的正则共轭物理量（如位置和动量，或时间和能量，还有方位角与动量矩等），不可能同时具有确定的数值，其中一个量越确定，另一个量的不确定程度就越大。测量一对共轭量的误差（标准差）的乘积必然大于常数 h/4π。在这个理论出现之初，很多实验物理学家认为海森堡的这个理论是对他们实验技巧的一种挑战，是在说他们的实验精度不够高，不能同时精确地测定微观粒子的位置和动量。这种看法在中国也曾占据上风，所以不确定性原则的另外一种接受度曾经很高的中文译法是“测不准原理”。实际上，这个原理反映了微观粒子运动的基本规律：像电子这样的微观粒子不会同时具有精确的动量和精确的位置。它被认为是在量子力学中一切测量理论的基本概念。这就是量子力学和经典物理学的确定性思想相分离的地方，让人不由想起《大智度论》里的话：“既到微尘，则不可分别（卷八十四）。”

在阐述方面，海森堡更强调这样一种基调：假如一个物理概念是无法测量的，它就是没有意义的。换句话说，谈论任何物理量都是没有意义的，除非首先描述测量这个物理量的方法。他在提出不确定性原则的论文一开头就说：“如果谁想要阐明‘一个物体的位置’（例如一个电子的位置）这个短语的意义，那么他就要描述一个能够测量‘电子位置’的实验，否则这个短语就根本没有意义。”一个电子的动量，只有测量时才有意义。电子并没有什么绝对客观的动量等着去被认识，我们能谈论的，只有它的测量动量，而这又和我们的测量手段密切相关。脱离了观测手段，谈论一个电子的绝对客观的动量是没有意义的。要精确地测定电子的位置，我们引入的观察方法就会使得电子的动量更加不确定，反之亦然。“我们用所谓不确定性关系能够表达离开物理学的过去形式的偏差。……这个不确定性表述使人们十分清楚，用牛顿力学概念前进不了

多远，因为在一个（经典）力学过程的计算中，主要的是要同时知道在一个特定时刻的位置和速度，而这正是量子论认为是不可能的[33]。”玻尔则更多地从波粒两种图景可使用的局限性对它进行阐释：不存在同时具有确定位置与动量的电子，电子的位置和动量，就像它的粒子特性和波特性一样，以一种此消彼长的方式共存。他说：“这个原理表达的是，确定两个变数（成对出现的所谓正则共轭量）必然要受到得此失彼的限制。这个限制不仅显得是量子力学数学表示中有成对正则共轭量不可对易的数学关系的直接结果，而且是直接反映被观测体系和测量仪器之间的相互作用。可是全面认识到这后一点的重要性涉及到不含糊地应用经典物理概念来说明原子现象的可能范围问题（文献 31）。”

习惯于日常经验和经典物理学的人，容易把不确定性原则理解成为本来有确定的状态，但是因为测量改变了这样的状态，所以只能得到与测量相关的一些结果。魏扎克特别对此有所澄清：“人们有时把可测量的数量的不确定性和客体受观测活动的干扰关联起来。这种说法是引人误解的。因为它给人的印象是，在未被观测之前客体有某些性质，这些性质是被观察活动所破坏。可是这样解释就意味着倒退到量子力学以前的思想方法了。我们应该正确地说，一个给定性质被赋予一个客体的可能性的前提，是存在一个测量安排允许我们确定这个性质。如果用一个新量具转而去测量和此前测量到的物理量互补的物理量，则此前测得的物理量有确定数值的条件已不再存在。老的实验条件换成新的实验条件所必需的措施引起的物理干扰就叫做‘通过观察对客体的干扰’。这样，这个表达就有了一个清楚的意义，不是那个虚构的‘不受干扰的’客体，而是通过观察已经知道了的客体受到了一种新的观察[34]。”兰迪则认为，玻尔在这个原理面前，强调的是现象解释，而对“真有”粒子存在这一点不做任何坚持：“在不确定性原则的冲击下，粒子的经典概念垮台了。物理学不再能接受任何时刻存在具有确定的位置和动量的粒子这个观念，然后再承认这些数据永远不能通过实验来证实，就好像由于自然界忽然想入非非存心作怪。这个不一致性经玻尔用不确定性原则的下一表

述（指互补原理）回避了[35]。”

由于量子力学建立之初，哥本哈根学派的贡献非常突出，所以此处对该派有所介绍，特别是他们的哲学视角。从本体论上看，哥本哈根解释是用经典物理学的概念理解微观现象，也就是将量子力学的基本概念建立在经典物理学概念的基础上。所谓互补原理，就是要找出在量子物理学里运用经典物理学概念的限制范围，或者说怎样把经典物理学概念加以改造，使其能够适用于微观物理学。在量子力学理论体系中，在抽象的理论层次上表述量子实在图景统一的是数学。薛定谔首先提出用波函数来描述微观粒子，并迅速为物理学界接受，而且也经受了近百年的实验检验。量子力学以数学语言成功地描述了微观粒子的演化规律。但数学概念本身不具有物理意义，它们所提供的物理图景是非直观、非直接的，只有将它们与现象学层面的概念进行比较时才能获得自己的意义，如线性算符对应测量所得的物理量、波函数系数的平方被认为是动力学变量相对应的概率。在这方面的某些争论到现在也没有彻底结束。“对于量子力学来说，首先到来的是形式系统，并且在还没弄清它的真实含义以前，就已经很好地固定了[36]。”海森伯指出：期望数学过渡到对现象的直观描述，那么必须满足于不充分的类比，这些类比就是由波动图像或粒子图像提供给我们的。而微观粒子的动量、位置等特征量要呈现在人们的经验里，必须同宏观尺度的仪器，经典物理语言的解释结合在一起。玻尔对此也深有同感，他明确指出：“一切经验最终必须通过经典概念表达出来，这是物理观察的本性[37]。”用佛教的语言说，人类一切观察的直接认识内容，就是色声香味触——人的五根所对的五种尘境。

量子力学数学形式的表征和经验事实的显露之间有一个不可约化的距离，即在希尔伯特空间中被特征化的波函数的演化与实验中被观察到的事实不具同一性，这就是对量子力学解释时所遇到的困难。这个问题常被描述为系统从量子叠加态（或称为量子相干性）到宏观可观测状态之间转变的问题，也常以量子测量问题的形式出现。量子的态就是指粒子在空间中的状态，如能量、自旋、运动等等。量子的态可以用波函数

描述，所以波函数又被称为态函数。量子的态是可以线性叠加的，比如双缝干涉，干涉光的波函数就是透过缝隙的两束光的波函数的叠加。叠加态就是有几种本征态叠加在一起的粒子状态，这时这个状态是不确定的，只有当一个“测量”被进行的时候，才会呈现一个被测量到的状态，可能是它的任何一种本征态。哥本哈根学派最早使用了“波包塌缩”这个词来描述这种转变。在量子理论中，被测粒子和观测仪器构成的系统状态可以用一个波函数来描述，哥本哈根学派找不到一个令这个系统从量子叠加态转变为经典可观测状态的纯物质性触发因素，最后只能归因为观察者，特别是观察者的意识引发了波包塌缩。这部分假设实际是缺乏必然性的，也无法提供具体过程解说，并不具备强的解释力。从科学美学的角度看，也不够简谐，这也是关于量子力学其他解释后来不断出现的主要原因。

3.2 量子力学的物质观与缘起

3.2.1 从认识的角度成立色法的缘起义

某一孤立系统的量子叠加态，实际上是该系统一切可能态的总和，这当然不是任何确定的状态。就它“自身”，用佛教的话来说，可以说是没有确定的自相的，“相不定故不应是相（《大智度论》卷三十一）”。这种情况下，谈这个系统的状态，是没有意义的，因为一个孤立系统并不在认识的范围内。认识过程意味着相互作用的发生。而与一切不发生作用的孤立系统，谈它存在不存在都没有意义。如萨根所说：“一条看不见的、无实体的、浮在空中的、喷着没有热度的火的龙，与根本没有龙之间有什么区别呢[38]？”我们认可的存在中，不存在真正孤立的系统。一切我们认可的存在，都存在于与其它事物的相互作用和关联中。可以说，因为相互作用和关联，所以可以在世俗谛上谈论事物的存在：彼此依存的存在，此有故彼有的存在，也就是缘起的存在。现实世界中，离开了相互作用和关联的存在，只存在于不严谨的、错误的意象中，也就是自性见下错误的意象。而依赖于其它因缘，在我们认识中呈现出的某种现

象，又有什么自性、自相可言？用《大智度论》的语言来描述，就是“无有定实相可取（卷八十）”。

在量子力学的解释中，最令人头痛的事情莫过于宏观叠加态的缺乏问题。宏观系统也能够用量子力学描写，可以用薛定谔方程求解它的演化过程。根据量子力学，自然界原则上存在宏观量子干涉，因为宏观不同态的相干叠加明显被线性的薛定谔方程所预言。然而，在现实生活中，我们却几乎不曾看到过它们的存在，正如“薛定谔猫佯谬”所质疑的那样：如果量子力学是正确的，那么为什么我们在日常生活中没有看到过一只死活叠加的猫[39]？贝尔说:“在量子测量理论中，量子态相干性的消失，是哲学讨论的基石[40]。”一些不满意对量子测量的“波包塌缩”问题做主观论解释的物理学家，相继提出了系综解释、隐参量理论、多世界解释等等。最后，终于导致了量子测量的退相干解释。

退相干解释说[41]：一个量子物理学系统， 由于与其环境不可避免的相互作用， 使得系统所处的、由某个观察量的多个本征态相干叠加而成的状态，不可逆地消去了各个干涉项，使系统的行为表现得就像经典物理学系统一样。量子相干叠加态只有在与世隔绝的情况下才能够一直维持下去。然而事实上，宇宙中没有任何物体是完全孤立的，每个真实的系统，不论是量子的还是经典的，都与外部环境密切相关，是开放的系统。外部环境可以是空气中的分子、原子，也可以是辐射中的光子，如宇宙微波背景辐射。它们就像一个个“观测者”，通过不断撞击系统进而和处于量子叠加态的系统集体态发生耦合作用。这种不可避免的耦合作用所产生的自由度的关联——即量子纠缠，是导致系统集体态之间的相位关联不可逆地消失，从而破坏系统奇特的量子叠加性，促使处于叠加态的系统波函数塌缩到一个统计混合态的原因所在42。原子数越大的体系，退相干过程就越快，所以一个微观粒子可以很好地保持着相当程度的相干性，而宏观物体很难观测到量子相干性的影响。过去从能量-动量的角度看，认为微观系统是娇气的，经不起外界的一点扰动，现在，从退相干效应的角度看，反而宏观系统才是真正娇气的，它们在一瞬间就

会丧失了量子相干的性质。退相干现象不仅仅是因环境存在自发而生，当观察者进行量子测量时，也会发生不同程度的退相干：完全的资讯获取（投影式测量），会导致完全的退相干；而通过量子非毁坏性测量以达部分的资讯获取，退相干程度上就会是部分的。比较而言，退相干没有把关键问题归结为诸如意识这类在现阶段极难纳入严谨理论推导和实验检验的因素，而是对于所阐释的过程，给出了符合科学传统和认识规范的数学表达，哥本哈根解释能做到的一切它也都能做到，而且对于退相干过程有定量的描述，更容易证伪，因此退相干解释近来得到科学界更普遍的认同。如果允许掺杂佛教术语来表达的话，退相干解释和哥本哈根解释的共同点，是都认同系统从量子叠加态到某一确定的经典物理学状态的转变，依赖于与“自体”之外的某法发生相互作用，不过前者认为，这种相互作用，可以用色法之间的相互作用来说明，而后者认为，心法（意识）的参与是必要的。所谓经典物理状态，最终表现为五根所缘的色声香味触中的一种或其组合，可被人所认识。从佛法的角度看，二者都承认，能被认识——也就是可以许为世俗谛存在——的色法，是依赖于他法的。虽然在细节上有差别，但在可被认识的色法待缘呈显的缘起义上，二者是一致的。当然，缘起的即是性空的，这一中观根本观点如前已述。

从中观的角度看，对退相干有必要做出一些哲学意义上的强调：处于纯粹叠加态、没有丝毫退相干发生的系统并不是一种物理上有真实意义的存在，而是一种数学形式，是对系统做了理想化（自性化）处理的模型；因为纯粹的叠加态要求绝对的孤立，而这是不可能的，也是一切处求觅都不可得的；一切色法都存在于相互作用和依存中，依存即是色法存在的唯一方式，而不是一般意识中所拟想出的一个个独立存在的个体之间，存在着作为附属和点缀的相互联系；相互联系、此有故彼有的依存才是本质，与他法无关的可以独立存在的色法是错误的意象，独立性只是缘起差别性的一种附着了自性见的错误扩展，由此出现有自性的一异问题。在缘起现象上，某一物体或系统从一个纯粹的叠加态向经典

物理学状态转变的开始并不存在,有这个开始意味着存在纯粹的叠加态，存在绝对的孤立，而这是迄今没有找到任何确定例证的，宇宙微波背景辐射和无远弗届的引力使得色法之间的联系和相互作用没有可以例外之处。绝对的孤立，没有与他法的相互作用，也就谈不上存在。任何一个物体或物质系统，都处在于退相干的过程或结果中，这是色法间依存的存在方式决定的。此有故彼有的诸法，是没有自相可言的，一般常识认知中一个个有确定自相的物体意象，不论是宏观的还是微观的，都是意识把色法从依存这种唯一存在方式中造作地隔绝出来所执取的错谬相、自性有的相。色法没有自性，没有自相，是根本性地关系的存在，是缘起的。“某一色法”（如果没有深刻意识到这某“一”色法是依存中的“一”，是关系中的“一”，那这种随顺常识观念的说法就包含色法可独立于其它因缘的根本错误）所依待而存的因缘，也是关系的存在，缘起的存在，也是无有自相的。如是周遍观察，发现一切关联、依存的诸法“无有定相，不可着、不可说相故”，于是“不见色等一切法；但从因缘和合，假有其名，无有定实，云何言有？”，“但自于无所有中，忆想分别，妄有所得”；领会缘起正义，知道错误的认知模式的错误所在，一切色法无有自相，无有自体，无有自性，一切自性、自体、自相相应的意象都是错谬虚妄相，无论所指的是和合坏散，还是其形色等等，于是能“观一切法不合、不散，无色、无形，无对、无示、无说，一相所谓无相”，因为“诸法自相空，无所取、无所舍”；由“一相无相，相常自空”，而能入般若波罗蜜中，所谓“自性不与自性合，是名一相无相般若波罗蜜，菩萨应学”（依次出《大智度论》卷三十九、八十七、九十四、十八、八十六、十一、八十六）。虽如此，却又不会堕入拨一切实无的自性无见中，而是在正确的缘起观察下，不取定实，可以安立假名有，可以用与世间同样的名言来表述色法，但言虽随世俗，而心不违实相。这如印顺法师所说：“性空者从认识的来源上，指出他的错误：五根识及意识的刹那直观，直接所觉到的是有错误成分的（这与实有论者分道了）。实有、独有、常有，根本就不对。所以影响意识，影响思想，起诸法实有生灭的妄执。

佛法寻求自性不可得，即是破除这根本颠倒，不是否认生灭，只是如外人妄执实有的生灭不可得。所以实有的生灭不可得，病根在自性见。如贯彻自性不可得，就是达到一切法性本空了。从性空中正观一切，知道诸法的如幻相，如幻生灭相。感觉与理性的矛盾，就此取消。不坏世间的如幻缘起，而达胜义性空，这就是二谛无碍的中观。世间的学者，在感觉中不能通达无自性空，所以在理性中，即不能了解幻化缘起的生灭相。结果，重理性者，放弃感觉的一边，重感觉者，放弃理性的一边，二者不能相调和。唯有佛法，唯有佛法的性空者，才能指出问题的症结所在，才是正见诸法的实相者（文献 20）。”

3.2.2 从构成的角度成立色法的缘起义

上面从认识的角度来以量子力学成立缘起义，这就如第 2 章所说色无自相一样，对于能够把握其关要的人，已经足够，色法缘起义、无自性义、空义，尽在其中。但仍会有人执着实有一一色法自体，只是去认识色法自体时需要诸缘成就而已。而且，很多人会执着构成物质的基本粒子是有一一自体的，所以由基本粒子构成的微观、宏观的物质都应该有自体。实际上，善会者自知，既无自相，何来自体？但为这样一类计执，不妨从构成的角度以量子力学来说明色法的缘起义，重明色法没有自体。

一般来说，我们日常接触到的物质，多或由分子或由离子或由原子构成，分子由原子构成，离子是原子得失外层电子所形成，所以对于分子和离子来说，原子是基础。而原子则由原子核和电子组成。原子核由质子和中子构成，电子则到今天为止，仍被认为是基本粒子，即没有下一层的组成成分，没有内部结构。质子和中子，则由夸克构成。夸克迄今也仍然具有基本粒子的身份。这就是我们日常所接触到的物质的主要构成，它们的主要基本砖块，是电子和夸克。

在认识到质子和中子由夸克构成之前，人们曾这样认为：电子、质子可能还有中子，仍然可看作是真正的原子，德谟克利特意义上的原子，

也就是物质的最后的不可分割的构成单元。它们与一切其它粒子的不同之点是，它们是决不能改变的，因此它们的数目也总是守恒的。正因为如此，人们称它们为基本粒子。一切物质被认为最终都应该由电子、质子和中子组成。电子偶的产生和正电子的实验证明表明，这种设想是错误的[43]。电子既可以产生，也可以湮灭；因此它们的数目决不守恒；它们不是原来意义上的基本粒子。而且，现在所发现的所谓的基本粒子，都不是常住不灭的，不可变易的。相反，任何一个粒子，都能与其他一些粒子相互作用，发生状态的改变，或者相互作用的粒子消失而出现别的粒子，或者相互作用的粒子一起湮灭而以某种方式释放出能量，等等。现在仍是基本粒子身份的电子是如此，已经失去基本粒子身份的质子、中子更是如此。从这个意义上说，基本粒子已经失去了严格意义上的“基本”的属性。《大智度论》卷八十四说：“分别、筹量破坏一切法，乃至微尘，是中不得坚实。”可坏的，就是无常的；无常的，就是无自性的；无自性即是性空。

或许会有认为从无常推导出性空固然有力，可建设性不够，对于缘起义成立不够有力。这是“颠倒了解空性，解空性者，谓即见为缘起之义[44]”，若法无自性，就意味着法是缘起的，如第 2 章所论述。如果说一定要正面建立基本粒子/微观粒子的依存义，以成立缘起义的话，对于电子，不妨从量子电动力学做一观察，这是量子场论中最为成熟的一个分支。在量子电动力学中，电子被看成是一个被“虚”光子、电子-正电子对等所包围的点，而从不是一个能够独立存在的粒子。有一个电子，就一定有它周围环绕的虚粒子，它们是乍生乍灭的，存在时间极短，但绝不是基于理论的拼凑而杜撰的。尽管这样的光子存在时间少于 10-15 秒，但是它们一直在电子周围不断地跳进跳出，结果是在每个电子周围都存在着“真正”的光子云。实际上，基于此计算得到的电子磁矩的结果，与实验结果的吻合达到了迄今科学史上数一数二的高精度，比没有考虑虚粒子的情况更为精确。而且，如果没有这些乍生乍灭的虚粒子，电子与其它带电粒子之间基于光子传递（或说电磁波）的相互作用也无法理

解，无法进行，电子也就失去了它作为带电粒子的特征。实验和理论都告诉我们，电子的一些性质，是依赖于它的环绕粒子的。电子不再是经典理论和一般想象中的裸粒子，它始终被一团虚粒子云包围着。我们通过拼凑一些性质，归于一个假设的粒子，来形成的“一个电子”的意象，并不是一个能合乎实验结果的模型。真空中一个孤零零的电子，并不是量子电动力学给出的描述，电子是不可能独自存在的，而是必须依于它的环绕粒子而得以存在，是此有故彼有的，是关系的存在。不是先分别有独立的电子和独立的虚粒子，然后二者发生联系，而是电子和它周围的虚粒子是根本性依存的。这是它们存在的方式，也是电子能表现出电子特征和功能所不可或缺的。这就是量子电动力学在电子的描述中所蕴含的缘起义。

夸克的情况更让人印象深刻。夸克有六种，构成质子和中子的是其中两种。到现在为止，物理学家没有观察到任何一个独立存在的夸克。独立自由的夸克是不可能稳定存在的，它会以极快的速度衰变成光子或轻子，它的这种特性从π介子、超子等不稳定粒子中清楚看出。强子（包括质子、中子等）相撞会转化成光子或轻子，也就是夸克都转化成了光子或轻子。夸克也不具备想象中基本粒子的不可坏、不可变的特征，不具备想象中一切物质基本单元的坚实性。我们无法分离出单独的夸克，一个夸克总是以和其它一定数目的夸克在一起构成其它粒子的形式存在的。以质子为例，三个夸克组合成质子形成“质子引力场”，这种引力场能使夸克不衰变，就象中子进入原子核，组成“原子核引力场”而不再衰变一样，所以夸克必须被禁闭在质子内才能稳定。这被称为夸克禁闭，也称色禁闭。既然夸克无法单独存在，物理学中是如何确定夸克的“存在”呢？这是通过深度非弹性电子——质子散射实验，发现质子里面有点伏结构，即硬核，这就是质子内部的夸克。夸克禁闭和夸克之间的相互作用有关。在量子色动力学中，夸克除了具有“味”的特性外，还具有三种“色”的特性。这里“色”和“味”并非指夸克真的具有颜色和味道，而是借这些词形象地比喻夸克的一些物理属性。量子色动力学指

出，一般物质，包括质子、中子，是没有白“色”以外的“色”的，组成重子的三种夸克的“颜色”分别为红、绿和蓝，因此叠加在一起就成了白色的。夸克受到来自色荷的强力的束缚，带色荷的夸克被限制必须与其他夸克在一起，使得总色荷为零，而不可能从核子中单个地分离出来。带色荷的粒子之间的相互作用，被称为强相互作用。强相互作用力会随夸克彼此间距离的增加而增大，因此没有夸克可以从原子核中向外迁移获得真正的自由。这些夸克会永久地被结合在一起，因此不可能找到单个稳定的夸克。而随着夸克间距离变小，强相互作用力会减弱，这就意味着约束在质子等内部的夸克，在彼此距离足够小时，将近乎自由地进行运动，这被称为夸克的“渐近自由”。由于从没有直接观察到单独存在的夸克，也没有办法把质子、中子打开，把夸克从其中分离出来，一些物理学家质疑夸克的“真实性”。从佛法的角度看，这是再明确不过的彼此依存的例证。夸克不仅会衰变，不常住，而且不可能独立存在，只有在彼此的作用、依存中表现出它的存在，只有非常明显的、无法误解的“此有故彼有，此无故彼无”的存在方式。用佛法的语言说，小微尘——基本粒子的缘起义显露无遗。基本粒子是缘起的，这就将缘起的烙印深深地印入了一切色法中。

《大智度论》卷十二中，有一段哲学意味非常深邃的关于极微的分析：“若有极微，是中有色、香、味、触作分；色、香、味、触作分，是不名极微。以是推求，微尘则不可得。如经言：色若粗若细，若内若外，总而观之，无常无我。不言有微尘，是名分破空。”极微，是说一切色法最基本的组成，它的属性也应该是最基本的，即它应该有且仅有一种单一属性，否则诸多性质组合在一起才构成其特征性质的极微，就不是真正的极微，因为那些性质，就是构成它的特征属性的组分。在这点上成立极微的此有故彼有义，成立极微的无自性义。《金刚经》上说：“一合相者则是不可说，但凡夫之人贪着其事[45]。”一合相，就是因缘假合，知其缘生如幻则无咎，否则以为实有那样一个个体即是妄取其相。这不仅在宏观对象上适用，由诸多性质拼起来的极微的意象，也是一合相，而

把它当作自成独立的实体、捏成一个坚实整体来进行思维运作，就是贪着其事。正是极微所具有的诸多属性，否定了对极微自性的执取。以此例于夸克等基本粒子，完全可以用同样的哲学来观察：有自性的基本粒子，并不存在。是种种基于关联表现出的性质，拼凑成了我们对“它”的认识结果，那就是它的缘起，觅其自性了不可得的缘起，唯名的缘起。

3.2.3 从生成的角度成立色法的缘起义

上面随顺一般的思维习惯,从构成观的角度对物质的本质做了分析。所得到的结论，是色无自体——如我们所执取为真实自性有的一一可独立存在的基本粒子并不存在，存在的基本粒子是植根于依存这种存在方式的缘起的存在。基本粒子如此，由基本粒子构成的一切物质，也自然没有真实自体可言。实际上，构成观是更接近经典物理学和我们日常经验认识的物质观，在多数人那里，它的逻辑起点是建立在自性见基础上的，这也是析空观并不受大乘佛教推崇的原因。析空到最后，如果得到一个不可破坏的微尘或者基本粒子，那是证成了自性有，可是不论在大乘佛教的论理中，还是在量子物理学的实验和理论里，这样的基本粒子都并不存在，而只有“此有故彼有，此无故彼无”的基本粒子，印证了“法假”，也可以说是析空观可以走向毕竟空的现代进路。

随着量子力学的发展，使人们得以从构成观的物质论里跳出来，而从生成观的角度看待物质46。在高能或者超高能的强子碰撞过程中，可以产生数目非常大的末态粒子，这种过程称为多重产生。在这种过程中产生的大量末态粒子，显然不可能是数目只有两个的初态粒子的构成部分。这是生成论非常直接的证据。更深刻的支持，来自于量子力学的退相干理论。在退相干理论看来，微观对象的粒子性，测量结果的经典性质等等，都是由退相干过程产生出来的，没有根据说在此之前就存在着那样的性质。量子力学用波函数φ（薛定谔方程）或者说φ场（量子场论），去描写任何微观或者宏观的系统。量子力学里的波函数具有干涉的性质。由于受到环境不可避免的影响，使系统发生退相干效应，失去了

波函数的相干性，它就表现为一个经典物理学系统。一般说来，宏观系统的这种退相干时间是非常短的，所以我们常常看到的宏观系统能够用经典力学恰当地描写。而微观系统的退相干时间比较长，在退相干显著达成之前，它们是以场的形式存在着，直到退相干完成之后才表现出粒子的性质。不论微观宏观的物质，实际上都可以直接从退相干的过程，得以描述它们如何是缘生的，而不必非得先把物质现象建立在层级搭建的结构上，然后再去观察最底层基本粒子的缘起不可得，最后再推出色法缘起性空的结论。在这种本质的、更直接的生成论架构里，基于构成论的观念而提出来的基本粒子、极微、物质是否无限可分等概念和问题，已经不再是非常适当的。退相干的发生，是由于色法之间的相互作用、相互依存，如前所说，这是明白不过的缘起义。

退相干所阐述的物质通过相互作用的生成，就是缘生，缘生即无生，即无有一一法的有自性的别自体从其自体生（自生）、从别体的他法生（他生）、从自体和其他有别自体的因缘生（共生），也不是没有原因自然就如此。缘生否定了被四生归摄的一切自性生，也就是我们日常认识、日常语言中一般所指的生，故说无生。一切微观宏观物质都是在与其他物质不可分割的本质联系中得以生起的，这其中没有丝毫自性可得。有一一别体相的物质，只存在于错误的认识加工中。必须清楚地意识到，当认识中单独呈现了某一物体的时候，这其实是我们惯常的错误认识方式导致的错误结果，实际上“这个”物体却是依靠着与“其它”物体不可斩断、不可剥离的相互作用才得以生起，得以存在，得以被认识的，并没有如意识中呈现的孤零零、与其它法没有任何关系的独立自成的“这个”，有独立真实自体的“这个”。《中论》说：“若法从缘生，不即不异因，是则名实相，不断亦不常。”

前文曾引《大智度论》中“除天眼妄见，则无小微尘名”等文，其实可以看作是《大智度论》版的量子测量问题，是对量子测量的缘起义的说明。从中观的角度看，量子物理学中的量子测量问题，实际就在解说一切微观、宏观物质是如何得以成为缘起存在，是如何的一种缘生。

缘生既得以成立，而缘生即无生，于是从量子物理学的角度成立了色法的缘生义，就成立了色法的无生义。退相干解释对此的说明更加简谐，所以此处取其为例加以说明。

3.2.3 从作用的角度成立色法的缘起义

以上从量子物理学的物质观出发，分别由认识、构成、生成的角度，指出色法的缘起义，强调了色无自相、色无自体、色无生。应该说，量子物理学物质观中所蕴含的色法缘起性空义，已经表达的足够了。可自性见是与无明不相舍离的，物质有一一真实作用、功能的观念，已经被我们的日常经验强化到挥之不去的程度。这其实是自性见在物质观上比较坚实的一个堡垒。这里从量子物理学对于色法之间相互作用的知识出发，加以分析，揭示量子物理学中所蕴含的色法没有自体功能作用的意蕴，即前所说色无自力。

我们所认识到的物质的各种属性，是通过感觉器官与物质对象或者测量仪器的相互作用来获得基本资料的。所以，一切物质的种种属性，归根到底是各种相互作用的结果和表现。比如红色，是人通过眼与某一波长范围内的光的相互作用为基础形成的认识，并给所有发出、反射这个波段光的物质，都贴以“红色的”属性标签。物理学认为一切物质之间的复杂的相互作用，可以归结为四种基本相互作用：强相互作用、弱相互作用、电磁相互作用、引力相互作用。在四种相互作用中，人们对电磁相互作用的基本规律最为了解，所以以它为例来做分析。

电磁相互作用是带电物体或具有磁矩物体之间的相互作用，是一种长程力，力程为无穷。宏观的摩擦力、弹性力以及各种化学作用实质上都是电磁相互作用的表现。其强度仅次于强相互作用，居四种基本相互作用的第二位。对电磁相互作用描述最为精确的理论是量子电动力学。根据量子电动力学，电磁相互作用是通过交换电磁场的量子（光子）而传递的（即光子的发射和吸收），它能够很好地说明正反粒子的产生和湮没，电子、μ子的反常磁矩等等，理论计算与实验符合得非常好。带电

粒子可以发射和吸收光子，它们之间的电磁作用通过光子场传递，电磁场是量子化的光子场。正反带电粒子对可以湮没而转化为光子，它们也可以在电磁场中产生。在原子中，电子是带负电荷的粒子，原子核中的质子是带正电荷的粒子。一般日常生活所主要接触到的放射性以外的现象，除了引力之外，基本都来自于电磁相互作用。更形象地说，是电子与电子通过传递光子而发生的相互作用。如量子电动力学的主要缔造者费曼所说:“自然界中几乎所有大量的明显的变化都归因于这三种基本作用的单调的重复变化：一个光子从一个地方到一个地方的运动，一个电子从一个地方到另一个地方的运动，以及一个电子与一个光子的相互作用[47]。”简单描述眼与红光（即波长在 620～760 纳米区段的光）的相互作用为例：红光进入眼，这主要涉及光子从一个地方到一个地方的运动；在视网膜上，光子与视锥细胞视紫蓝质中的电子发生光化学反应，这主要涉及到电子与光子的相互作用，后面的情况不详细分析。我们所认取的红色，其色法根源来自这样一个光子与电子的相互作用。由于对于电子的缘起性空义已有分析在前，此处以光子为主要目标。光子是传递电磁相互作用的媒介粒子，四种基本相互作用都有相应的传递相互作用力的媒介粒子。实际上，光子的缘起无自性是很容易被发现的：在一个电子的周围，虚光子一直在以乍生乍灭的形式不断地在与电子的相互作用中生灭。只需要从外部借一点点能量，或者一个很小的推动力，“虚”光子就可以逃逸出来，成为“真正的”光子。当原子中的一个电子从激发态落入一个较低的能量状态时，其多余的能量将传递给一个光子，使其自由地飞离。当另一个电子吸收它时，光子消失，并将能量传递给这个电子。两个电子之间的排斥，就是通过这样交换光子进行的，这也是我们感觉很坚固的物体所具有的那种坚固感的来源：不过是手上的电子和固体上电子的排斥而已。这中间，只是若干光子的缘生缘灭伴随的电子状态变化。哪里是红色的自性？哪里是坚实感的自性？哪里有自性有的属性和作用？

虽然为了表述和理解的方便，上面处处都用光子这个词来描述光，

但光不是如一般所想象的一直以粒子形式存在着、传播着。确切地说，光子只是在光同物质相互作用的时候产生出来或者被吸收的。离开了相互作用、依存，谈光子是没有意义的。作为电磁相互作用媒介的光子，只在相互作用的层面上存在，是缘起的，没有自性的，电磁相互作用自然是缘起的。电子、光，都是缘起的，它们之间的相互作用也是缘起的，所谓电子与光的相互作用中，哪里有作用的自性可得呢？而正是电子与光的相互作用，或者电子与电子间通过交换光子的相互作用，构成了除了万有引力作用之外，我们几乎所有的日常经验对象间的作用。这些作用，被五根以色声香味触来认识。日常生活中几乎所有色法的功能作用，都是我们通过色声香味触来搭建起来的。电子与光相互作用的缘起无自性，就决定了这些色法的相互作用的缘起无自性，这些色法的功能的缘起无自性。电磁相互作用以及这种作用的媒介粒子都是缘起无自性的，其它三种相互作用也同样如此，不复赘述。一切色法之间的相互作用，不出这四种基本相互作用，故一切色法之间的相互作用，以及基于此建立的属性和功能，都是缘起无自性的。

至此，已从佛法自身和量子物理学出发，分别从色无生、色无自体、色无自力、色无自相的角度，论述了色法的缘起性空义。这一切论述、证成，都绝不是智力的游戏、玄谈的资本，而是与佛法的终极关怀相一致的，以下当明。

第 4 章　色法缘起性空义的终极意义

佛法不是以逞智识为能事的，一切破析、建立，都是为了破愚痴暗发智慧明，令有情离苦，令有情安乐。对于色法缘起性空义的种种观察和阐述，也是为这一根本目的服务的。《大智度论》卷八十九中说：“微尘，如先说，但有名无实。微尘无故，一切法名字和合故，更有假名，无有实定，而众生妄生贪着；贪欲、瞋恚因缘故，起恶业，无量阿僧祇劫，在三恶道受苦。若诸法实定，尚不应作贪欲、瞋恚罪因缘，何况虚诳无实！若能舍虚诳名相，不着空法者，则受涅槃常乐。”在色法缘起性空义的层层剖析中，通过破所执无性，令众生舍虚诳名相；通过安立唯名的缘起，令众生不着空法。如是观察，渐离深惑，于佛法中得增益安乐。

色法如此，心法也如此，《大智度论》卷八十四说：“是般若波罗蜜中一切法，内外、大小，思惟、筹量，分别、推求，乃至如微尘不得坚实，既到微尘，则不可分别；心心数法，乃至一念中，亦不可分别。是般若波罗蜜中，心、色二法破坏，推求不得坚实，以是义故，名般若波罗蜜。”这指出执着有一念心这类心念基本单元的观念与执着微尘是一样的错误，破刹那心与破微尘是类似的逻辑与观察方法。所以，熟悉中观破除色法实执所用观察方法的本质，对于破除心法实执也同样具有重要意义。色、心、心所，及基于此三的不相应行，赅括了一切有为法，皆无自性，而无为法是因有为而立，如前文所引：“因是色法故说无为，是故无为法亦无所有。”如是观察一切色心有为无为诸法，都是缘起如幻无有毫厘自性，而在见闻觉知的直觉中有种种谬执现起，执为真实，成为惑本。如印顺法师所说：“直觉到此时此空的此物，是‘这样’。这‘这样’的直感，为认识的根源，影响于意识的理性思考；所以意识的高级知识，也不离自性见，总是把事相认为实有的（否则就没有），一体的（否则就别体），安住的（否则就动）（文献 20）。”《七十空性论》以“诸法因缘生，分别为真实，佛说即无明，发生十二支”来说明这种问题。问

题的解决，则以“见真知法空，则不生无明，此即无明灭，故灭十二支”总摄。这个过程中，论理及实修是不可强分为二的，如印顺法师所说：“性空者说缘起性空，特别是指出众生的错误所在，要听者反省自性的不可能。为离诸见所以说空，以遮为显，并不是教人不离见而执著空。……修学性空者，未达现证，即自性见未破时，重视自性空，在理解自性有的不可能中，信受种种法相，时时呵责自心的妄见，渐渐引生二谛无碍的似悟。如到现觉无自性空，即能出俗，正见幻化的缘起相。到那时，一切如实建立，不会作自相实有的观念，堕入断常了。……性空者从探究真实下手，深入究竟，洞见真实自性根本不可得；在胜义中，一切名言思惟所不及，离一切戏论，称之为空。性空者明见一切的一切，不能在胜义真实有、微妙有中立足；世俗还他世俗，诸法是如幻缘起的，相依待而假名如是的。缘起的生，可以生而不违反灭。缘起相待，是有相对的矛盾性的；相对非孤立，而又不相离的，假名一切都成立。……性空的缘起，根本不是一般人所想像的如此或如彼。所以性空者如实建立，不落于常，不落于断。性空者以胜义空著名；而实特别与常识的世俗相融合。真不碍俗，性空者才能名符其实（文献 20）。”

一切法缘起性空，而其观智培养，则不妨据所执显隐强弱安立次第，这如《大智度论》卷四十一释三假中所说：“众微尘法和合故，有粗法生；如微尘和合故有粗色，是名法波罗聂提（波罗聂提即“假”）。从法有法故，是粗法和合有名字生；如能照、能烧，有火名字生；名色有故为人，名色是法，人是假名，是为受波罗聂提；取色取名，故名为受。多名字边，更有名字，如梁、椽、瓦等名字边，更有屋名字生；如树枝、树叶名字边，有树名生，是为名字波罗聂提。行者先坏名字波罗聂提，到受波罗聂提；次破受波罗聂提，到法波罗聂提；破法波罗聂提，到诸法实相中。诸法实相，即是诸法及名字空般若波罗蜜。”这是说以名假、受假、法假的次第顺序，渐次观破，乃至入诸法实相。

为论题所限，本文专注于色法，所探讨的内容主要与中观学中深见的一部分相关，而实际上龙树菩萨所倡导的中观学指导下的佛法实践，

并不像一些说法中说的那样偏于深见，而是悲智双运的，是真俗不二的，是具足深观与广行的。缘起性空的深义，其意义不仅在于提供了契入实相的道路，而且，以其指导佛法实践时，菩萨的大行成为一种理所当然、顺理成章的事，从中道慧观可以自然地生起菩提心。如《大智度论》卷三十二说：“尽知一切诸法因缘和合，但有名字实相不可得。菩萨作如是观，知一切有为皆是虚诳，心息无为。……自念我虽知诸法虚诳，众生不知是事，于五道中受诸苦痛，我今当具足行六波罗蜜。”以及《大智度论》卷九十一中说：“菩萨行般若波罗蜜时，不见众生及法，但诸因缘和合，假名众生。菩萨住二谛中，为众生说法，不但说空，不但说有；为爱着众生故说空，为取相着空众生故说有，有无中二处不染，如是方便力为众生说法。众生现在我身及我尚不可得，何况当得阿耨多罗三藐三菩提。……无所依止而能发大庄严，大庄严故不生三界，亦拔众生令出三界，而众生不可得，不缚不解故，一切法空。”无所依止而能发大庄严，是说不取一法有定实，而能随缘发起，成就一切自他现后利乐，即《金刚经》所说：“应无所住而生其心。”这在《大智度论》中有很多说明和具体的实践引导，如《大智度论》卷七十四说：“菩萨善巧学十八空，虽观空而能行诸功德；虽知涅槃无上道，而怜愍众生故，修集福德；虽知一切法相不可说，而为众生种种方便说法；虽知法性中无有分别一相无相，而为众生分别是善是不善，是可行是不可行，是取是舍，是利是失等。若菩萨虽观毕竟空，而能起诸福德，是名不离般若波罗蜜行。”这种悲智双运的大行，是从善巧学空而来。因深见无有实法可得，而安住正念正知，触事无碍。《大智度论》卷九十一说：“菩提中亦无有法可得，亦无实定法令众生着而不可度，但众生痴狂颠倒故，着是虚诳法。是故菩萨发大庄严，不转于阿耨多罗三藐三菩提。作是念：我必当得阿耨多罗三藐三菩提，非不得。得已，用实法利益众生；利益众生故，众生从颠倒得出。”

中观的深见是这样的深彻而又圆融，那么在菩萨广大行的具体实践中，具中观深见的行人是否就不须次第了呢？并非如此，《大智度论》针

对整个菩萨道的修行是建立了井然的次第的，这如该论卷五十三所开显的二道五菩提。印顺法师的著作中，如《印度之佛教》、《般若经讲记》等，对此也有阐述。因为这部分内容不是本文的主要关注对象，不再赘述，若欲广览，可从龙树诸论等求之。

第5章 结 语

本文以《大智度论》为主，综述了中观学中色法的缘起性空义，并通过对量子物理学物质观的剖析，指出了其事实、理论和哲学意义中蕴含的色法缘起性空义，是一次依托现代物理学进展的“依俗契真实[48]”的尝试。

对于佛法与科学的关系，在一些个体那里，不是问题；但是在社会这个层面上，这是一个极有意义的话题。正确认识二者关系，不仅可以消除社会对佛教的误解，改变人们对佛教的态度，而且，如果对于量子力学及其背后的哲学意义有一定了解，对于把握色法的缘起性空义这类佛法深义也会有相当帮助。但是通过科学的帮助来把握佛法，并不是必须的、必要的，不过在这个时代，可能是重要的。站在佛法的本位来说，佛法并不需要科学的证实，而站在个人解脱的立场，甚至可以说并不需要科学，但是，这个时代一些学习佛法的人需要，这个时代佛教的普及需要。

一个佛教徒对于佛法与科学关系的个人认知，经过一段时间的认识深化，很可能因为个人世界观、价值观达到一种内在的和谐，而表现为以佛法为主体的融摄，这很正常，无可厚非。但与此同时，作为一个开放社会、多元文化时代的公民，应该有聆听、参与二者平等对话的心胸和气度。科学是高扬理性大旗的，而理性本来就是佛教的一面旗帜，只是因为它的超前，这一部分在几千年的流传中，特别是在汉传佛教，没有得到普遍的、良好的发扬。当科学越来越走向深入，佛法中理性因素越来越被重视，两种理性传统的交流也越来越有必要，越来越成为必然。

致　　谢

本文的完成，离不开学院诸师长的谆谆教导、恩师的耳提面命和同行善友的砥砺切磋，在此谨致衷心的感谢！

参考文献

1 N. Pearcey, C. Thaxton, *The Soul of Science: Christian Faith and Natural Philosophy,* Crossway Books, 1994

2 何善川，中国佛教对近代科学主义的回应，河南师范大学学报（哲学社会科学版），2003

3 陈兵，佛学与科学融通之省思，法音，1999

4 朱清时，物理学步入禅境，第二届世界佛教论坛论文集，2010

5 钟茂森，太空物理学的新发现与佛法，http://www.fjdh.com/wumin/2009/04/15315556761.html

6 (1) 江本胜，猿渡静子，水知道答案，南海出版公司，第 2 版，2009；(2) 水知道答案是伪科学，http://discovery.163.com/special/waterisfool/；(3) K. Setchfield, *Review and analysis of Dr. Masaru Emoto's published work on the effects of external stimuli on the structural formation of ice crystals*, http://is-masaru-emoto-for-real.com/; (4) Gary Greenberg. *There's no evidence water can understand human speech*, Letters to the editor, The Maui News, Feb. 2006; (5) 左巻健男，水はなんにも知らないよ（《水什么也不知道》），2007；（6）《水知道答案》谎言背后的经济利益，《时代周报》，2011，11，http://time-weekly.com/story/2011-11-30/120755.html；（7）这个工作中包含大量科学研究方面的基本漏洞和错误，有关结果和结论也并未被任何严肃的同行评议的科学学术刊物所刊载，科学界也不认为这种包含大量低级错误和漏洞的研究有任何学术讨论价值，所以即便是关注公众利益对此事件从科学角度做出分析的学界人士，也是在一般大众媒体而不是严肃学术刊物上发表评论，故此处所引文献大多出自大众媒体而非学术刊物。

7 杨新宇，量子力学与唯了别学，第五届佛学与科学研讨会论文集，1999

8 王萌，试析当代佛教与科学对话现象，宗教学研究，2003

9 (1) V. Mansfield, *Relativity in Maadhyamika Buddhism and modern physics*, Philosophy East and West, 1990, Vol. 40, 59; (2) V. Mansfield, *Madhyamika Buddhism and Quantum Mechanics: Beginning a Dialogue*, International Philosophical Quarterly, 1989, Vol. 29, 371

10 印顺，般若经讲记，台北正闻出版社，1992

11 印顺，中观今论，台北正闻出版社，1992

12 如《杂阿含》53 经（大正 2），一婆罗门“白世尊曰：沙门瞿昙，何论何说？佛告婆罗门：我论因说因。又白佛言：云何论因？云何说因？佛告婆罗门：有因有缘集世间，有因有缘世间集；有因有缘灭世间，有因有缘世间灭。”

13 (1) T. E. Wood, *Nagarjunian Disputations: A Philosophical Journey through an Indaian Looking-Glass,* University of Hawaii Press, 1994; (2) Nagarjuna (Author), J. L. Garfield (Translator), *The Fundamental Wisdom of the Middle Way: Ngrjuna's Mlamadhyamakakrik,* Oxford University Press, USA, 1995; (3) J. Hopkins，*Meditation on Emptiness*，Wisdom Publications, 1996; (4) T. R. V. Murti, *Central Philosophy of Buddhism: A Study of Madhyamika System,* Abm Komers, 2003

14 印顺，初期大乘佛教之起源与开展，台北正闻出版社，1992

15 印顺，印度之佛教，台北正闻出版社，1992

16 龙树，中论，青目释，鸠摩罗什译，大正 30

17 参见《杂阿含》301 经（大正 2）：“佛告跋陀迦旃延：世间有二种依，若有、若无，为取所触；取所触故，或依有、或依无。若无此取者，心境系着使不取、不住，不计我，苦生而生，苦灭而灭，于彼不疑、不惑，不由于他而自知，是名正见，是名如来所施设正见。所以者何？世间集如实正知见，若世间无者不有；世间灭如实正知见，若世间有者无有。是名离于二边说于中道。所谓此有故彼有，此起故彼起。谓缘无明行，乃至纯大苦聚集；无明灭故行灭，乃至纯大苦聚灭。”及《杂阿含》262 经（大正 2）：“阿难语阐陀言：我亲从佛闻，教摩诃迦旃延言：‘世人颠倒依于二边，若有、若无。世人取诸境界，心便计着。迦旃延，若不受、不取、不住、不计于我，此苦生时生、灭时灭。迦旃延，于此不疑、不惑、不由于他而能自知，是名正见，如来所说。所以者何？迦旃延，如实正观世间集者，则不生世间无见；如实正观世间灭，则不生世间有见。迦旃延，如来离于二边，说于中道，所谓此有故彼有，此生故彼生。谓缘无明有行，乃至生、老、病、死、忧、悲、恼苦集。所谓此无故彼无，此灭故彼灭。谓无明灭则行灭，乃至生、老、病、死、忧、悲、恼苦灭。”

18 宗喀巴，缘起赞句义略解・见深义眼，兀曲解，观空译，中国佛教协会印

19 《杂阿含》379 经，大正 2

20 印顺，中观论颂讲记，台北正闻出版社，1992

21 世亲，阿毗达摩俱舍论，玄奘译，大正 29

22 龙树，大智度论，鸠摩罗什译，大正 25

23 这在《中论•观法品》中也有体现，并为月称、宗喀巴等所继承，如《入中论》及《菩提道次第广论》所说。《大智度论》卷三十一则说明，这样的次第，是为一部分人所设：“为小智钝根故，先说众生空；为大智利根者，说法空。”

24 龙树，七十空性论，法尊译，中国佛教协会印

25 休谟，人性论，郑之骧注，关文运译，商务印书馆，1980

26 林国良，成唯识论的物质观与量子力学的物质观，上海大学学报，2002

27 A. S. Eddington, *The Nature of the Physical World*, Kessinger Pub., 2005

28 R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics*, Addison-Wesley, 1965

29 李莉，对量子力学互补性诠释的理解，自然辩证法通讯，1995

30 卢鹤绂，哥本哈根学派量子论考释，复旦大学出版社，1984

31 玻尔，原子物理学和人类知识，商务印书馆，1978

32 海森堡，量子论的物理原理，科学出版社，1983

33 W. Heisenberg, *The Physicist's Conception of Nature*, A. J. Pomerans, trans. New York: Harcourt, Brace, 1958

34 C. F. Weizsäcker, *The World View of Physics*, University of Chicago Press, 1952

35 A. Landé, *Quantum Mechanics*, New York, Pitman Pub. Corp., 1951

36 玻恩，关于因果和机遇的自然哲学，商务印书馆，1964

37 玻尔，玻尔哲学文选，商务印书馆，1999

38 卡尔·萨根，魔鬼出没的世界，李大光译，吉林人民出版社，1998

39 J. Gribbin, *In Search of Schrodinger's Cat*, Random House, 1984

40 J . S. Bell, *On Wave Packet Reduction in the Coleman-Hepp Model*, Helv. Phys. Acta., 1975, Vol. 48, 93

41 W. H. Zurek, *Decoherence and the Transition from Quantum to Classical*, Physics Today, 1991, Vol. 44, 36

42 李宏芳，量子力学的退相干解释及哲学，自然辩证法通讯，2005

43 海森堡，物理学和哲学，商务印书馆，1981

44 宗喀巴，菩提道次第广论，法尊译，莆田广化寺，2005

45 金刚般若波罗蜜经，鸠摩罗什译，大正 8

46 关洪，从现代物理学看构成论到生成论的转变，自然辩证法研究，2002

47 R. P. Feynman, *Quantum Electrodynamics*, Westview Press, 1998

48 印顺，成佛之道，台北正闻出版社，1992