

## 李政道先生與研究生座談

本文係李政道於1991年參加清華大學校慶與物理系研究生之座談記錄，由高涌泉教授校稿，古煥球所長修訂，所有英文儘量改成中文以保持文意暢通。本文經李政道教授授權(9/16/1992)不需經其過目，直接出版。

Q：到目前為止，你最滿意的作品是什麼？

A：最滿意的作品……，很難講……，好比你一生吃飯，那頓飯吃得最滿意，這很難的……，滿意的是一個已經做完的東西。很多東西我都很滿意的，如果你一定要問我的話。（眾笑）若你問我目前最有興趣的是什麼？我最有興趣的是，我現在正在做的東西。

Q：最近這幾年，作數學物理的似乎不太在乎實驗。比如像E. Witten等，他們的工作都是非常數學的……。

A：哦，Witten現在已經不作物理了。（眾人大笑）

Q：不曉得你對這些工作的看法？

A：物理……每個人的看法都不一樣。可是物理呢？它是一個現象科學，它不能脫離自然現象。所以物理不是數學。但可能這個數學將來可以用在物理上。假如目前這個數學，不能預測任何事，不能解釋任何事，所以不是物理。例如Riemannian幾何在Riemann做的時候，它是數學，等經過愛因斯坦的手就成物理了。因為它可以預測東西，它可以解釋兩種質量（註：慣性和重力質量）一樣。所以Witten他那個school is not physics, it's a very interesting

物理雙月刊（十四卷五期）1992年

mathematics。所以現在它不能解釋任何現象。它唯一可以說的是可以quantize gravity。它的可能性太多。因為它那個26度空間與我們的那個4度空間差了22度空間，那22度空間到那兒去了呢？這始終是一個quasi classical solution的問題。所以，它裡面自己有很基本的問題還沒有解決。另外它不能解釋為什麼電子有質量，及為什麼有Weinberg angle……。所以在我的字典裡面，它還不算物理。but it can be very interesting。我是Institute for Advanced Study的董事。Witten是我盡了很大的努力把他從普林斯頓大學拉過來的。他自己告訴我他不想做物理了。我也很鼓勵他，所以他後來拿了Fields Medal。這是很不易拿到的。這人是非常聰明的，我認識他時他還是大學生，跟你們的年紀差不多，可能比你們還年輕一些。所以我是非常欣賞他的，不過他也承認他的東西還不是物理。

Q：談談你對link, knot, braid, Yang Baxter equation, Jones polynomial等數學物理的看法。

A：什麼叫做數學物理？我不知道，你是說數學？

Q：像1990年Fields Medal頒獎給……

A：哦！Fields Medal它是數學的啦！

Q：對！我知道，但……

A：數學家叫數學物理，跟物理學家叫的是絕對沒有關係的。他們數學家並不懂物理。

Q：可是領獎的4人中，有3個人的工作多少跟物理有一些關係。

A：他們希望有關係（眾笑）。這跟可以有關係是不一樣的，他們是希望能夠用在物理上。這就好比計算機是不是有生命一樣。也許將來計算機會跟我們的腦子一樣，這不是不可能的。不過目前這些計算機並不像人的腦子。它裡面最不像的地方就是：我們每個人的腦子有 $\frac{1}{3}$ 的時間是胡來的（註：指睡覺）。現在沒發現那一個計算機是這樣的。所以現在這個計算機不能算是人的腦子。它的方法，思考基本上是很不一樣的。但它也有類似的部分，用計算機來研究神驗是個很大的科學。人的腦子跟計算機有個大的分別，是什麼呢？計算機是單行的，它好像一條線一樣，它只是一個主線，所以要就不出錯，一錯就是大錯，大錯以後就永遠錯，就拼拼命命的錯。但它可以很快。可是我們的腦子不一樣，我們腦子有幾個主線，而副線有無限之多。你在算一個東西的時候，主線在動。它和計算機有點像，它也用邏輯等等。但它副線同時在想的還很多，那些想的都是不太對的。然而它就靠主線把它排出來。睡覺的時候呢，主線就不太活動。所以都是些亂的東西在弄。不過常常你醒過來時，它把幾個本無相關的東西給連了起來，然後主線再來解決。所以我們是一種平行的想法，但我們這平行又跟計算機的平行不同。平行計算機每個平行都要是對的，我們的平行基本上大部份是錯的。因為這個道理我們是combinatorics，我們可以探索這個方向。計算機無論怎麼快還是跟人腦差很多。因為它沒有掌握住人腦這個會犯錯誤的重

要性。雖然有些計算可以 make new combination，但是並沒有什麼計算機它一定會犯錯的。因為發明這種計算機根本沒用。而Witten的工作也是一樣，他想解決的是所有的現象，但還差了一截。這並不表示這個工作是沒有意思的。我覺得很有意思。

Q：我們知道真正物理世界幾乎都是3維空間或是4維時空。但這樣的計算我們常常沒辦法處理。通常我們的做法是取較低維度的時空來做。根據剛才您的意思，這樣做顯然跟實際不太符合。不知您是以怎樣的眼光來看這些工作？

A：這要看什麼情況，並不是我每次都要問：我每一步是不是做物理？所以不能這樣死板板。剛才有位問到Witten。Witten已經做了十多年了。我們現在可以對這十多年來整個弦論的發現給一個判定。到現在是出來了很漂亮，很有意思的數學，也建立了很新的定理。可是這些在物理的觀念上，到底做了些什麼？我必需回答，到目前為止，它沒有預測能力，也沒有解釋什麼。這低維則完全不一樣。第一，低維是有實驗。在凝體物理是有低維的東西。像量子赫爾效應，分數量子赫爾效應都是2維的東西。所以在物理上它有實現的價值。另外，它可以促進你有一些道解。所以它可以幫助你思考高雅問題。

Q：有些物理學家考慮量子力學是不是完整。請問你對這件事的看法？

A：為什麼他們覺得量子力學不完整？我可不可先答第一個問題？你不管人家幹嘛啦，你自己想，量子力學會不會是不完整？量子力學有這樣的問題。它有一個觀察者，也有個對象。對象是被這觀察者觀察的。你們都知道，波函數 $\Psi$ 是x函數描述此對象。 $\Psi$ 的平方就是這個觀察者觀察這個對象在x的或能率。這是不是很清楚？在觀察以前( $t < 0$ )時，它是 $\Psi(x)$ ；觀察以後，假如

這觀察得很精確， $t=0^+$ ，他就把 $P(x)=|\Psi(x)|^2$ 變成一個不是擴散的東西，也就是變成 $\delta(x)$ 這個樣子。假如你不特別準， $Z$ 不是 $\delta(x)$ ，也許它是高斯另佈 $\exp(-x^2/\lambda^2)$ 。跟以前的 $P(x)$ 不一樣了，是不是？By the act of the observation, you change wavefunction abruptly from one thing to another。這是不是很清楚？所以當我們觀察者這個對象時，它就是加給這個對象一個discontinuous behavior: change from one state to another by my action。Obviously, by the reciprocity, the inverse is also true。對不對？可是觀觀察者 $\rightarrow$ 對象是量子力學的，這個反過來的東西觀察者 $\leftarrow$ 對象也一定有。比方說，我這對象是液氦，它的量子態是一個超流體。如果你拿一杯液氦喝下去，會有什麼現象？（眾笑）你當然會死掉了。所以反過來的作用當然是有的。可是這反過來的描述是直覺的。

從前在波爾那個時候，這個觀察者是很大的。比方說，波爾他本身是很高大的，而這個對象是小小的氫原子，所以這反作用可以忽略，因為這個觀察者很大，所以是古典的。可是，我們現在知道，這個對象的量子態可以比你還大。我可以製造液氦使它在超流態，而它的相位比你的人大多了。所以這個反作用一定也是量子力學的。But we don't have the language to express it。所以它是不完整的。那平常人講的，我根本不管，因為他們不瞭解問題所在。所以講了半天也沒講出個道理來。這個道理就是：如何描述量子狀態。It's a quantum effect down to observer, 是有干涉的，相位關係的。We don't have the language and I don't know how to solve it。但是，當然這是個很深的問題，不是簡單的問題。

Q：請問一個研究生，在拿到學位以前，他是應該比

較注重知識的吸收，還是只要埋首於自己的論文，成爲一個專家？

A：知識的吸收和變成專家，在你的思想中好像是兩件事情？

Q：至少在花時間方面……

A：就吸收知識而言，我不認爲你是要拼命去唸任何東西的。要不然，一個人怎麼學這麼多東西呢？普通一個東西的關鍵都是很少的。我來講幾個例子。你們都學過代數也好，力學也好，電學也好，你不要看書，你自己拿出筆來寫，哪些是重要的。你大概能寫出20頁，因為關鍵重要的東西它是不會超過20頁的，可能你字還要寫得很大。（眾笑）也就是transfer of essential thing doesn't take much。因此大部份時間都是花在旁邊拼命走來走去。所以學東西從開始就要有一個方法，這方法就是要學得快。那麼你說怎樣可以很快地學會呢？就是說，爲什麼有些東西你學起來比較慢？所以，我們首先要問的是：什麼東西是值得學的？你把自己過去學的東西回想一下，你會發覺值得學的東西相當少。那麼你問爲什麼你要學一年才學到這麼少的東西呢？這要對你自己有一點了解的，把這個掌握住，你就能學得比較快一些。

知識增進一定要用活的方法，不能用死的方法。一個人一天24小時， $\frac{1}{3}$ 時間是在糊塗的，做夢。還剩16小時。16小時裡面，你可以2個小時增進知識。另外呢？還剩下太多的時間作論文，可以玩一玩，看電影，對不對？增加知識是什麼意思呢？你可以跟你朋友聊。聊天以後你發覺有一樣的東西你可以解釋了。比方我們說，量子力學是不是完全？我這一講，顯然不完全，它丟了一個東西。可是你要是讀書的話，你去唸量子力學是不是完全，你唸一輩子也沒有人講這句話的。知識都是幾分鐘就可以轉移的。If you know what to ask, and the person

knows to answer, 這是兩個關鍵。所以就是說, 假如你們能夠2小時增加知識的話, 我覺得你們相互之間增加知識就很快了。當然, 你是需要一個訓練的, 做論文是個訓練! 我不知道你們是怎麼做論文的。我覺得一天中6 hours if you work out something, that is about it。這是很大的concentration。你不能都做著的東西。你要集中想一個東西。If you concentration 8 hours a day that's very very good。普通的情形我想2小時增加知識, 4小時作論文, 另外2小時作些一般的東西, that is about it。

Q: 你認為你做的研究工作裡面, 遭遇到最棘手的問題是那些? 當時是怎樣克服的? 物理上及心理上的。

A: 我想這有幾個。關於宇稱, 弱交互作用。我星期六的演講會講(註: 4月27日在清華大學的演講: The history of weak interactions), 所以我今天就不講了。不然就重覆了。在上次座談(註: 4月24日陳省身先生, 楊振寧先生, 李政道先生及李遠哲先生一齊給了一場座談會)也有人問怎麼做科學研究。我想每個人的看法不一樣。我自己做的方法是比較簡單的。因為我不大唸文獻, 所以我平常跟人講話的多。相形之下也就直接了當一點。這樣你平常就知道那些領域比較重要。比方說最近我在做的是高溫超導。這用不了跟人家講話, 你看報紙就知道是重要的。你知道那些問題是重要的以後, 你說: 哦! 問題在這兒。當然這問題它沒有解決啦! 所以人家還有些工作。你第一步倒不是要了解人家工作是什麼, 而邊界在那兒。比方說人家在問題的另一邊, 所以他裡面已經做的顯然沒有把這個問題包在裡邊。如果有的話, 這個問題就不是問題了。如果我能夠到別人的邊界就比較清楚。這一開始當然可能攻不進問題, 假如攻進去的話, 我就在人家的前面。比如高

溫超導, 我不知道你們這裡有人聽了我的演講沒有(註: 4月25日在清華大學的演講: The s-channel theory of high  $T_c$  superconductivity) 假如你聽了的話就知道我那個手法是跟人家不一樣的。不一樣這並不表示我的手法比別人家好啦, 不過假如我對的話, 這是我工作而不是人家的工作。所以你自己選那邊重要, 然後重要的東西你就把他演變。一般來說物理是這樣的。假如你有一個方向是對的話, 它這東西自己就有些邏輯出來。好像你發掘古蹟一樣, 假如它裡面有豐富的材料的話, 第一步你就要到那邊, 這是困難的, 你到了那邊就會發現裡面有一套邏輯, 所以你就跟著這邏輯走, 就把這東西克服起來。假如說你做的東西不勉強, 你就知道這個東西好, 如果你每做一步就要加一個假設的話, 這個東西就不一定靠得住。你們都知道, 像愛因斯坦要做廣義相對論, 他也是找了半天才知道為什麼慣性質量 and 重力質量是相等的。而每一個物理的東西它總是先要有一個開始的地方, 那開始的地方一定要從實驗出來。可能它只有一點, 但是, 是重點。

愛因斯坦的廣義相對論也一樣, 若看  $m\ddot{x} = F = mg(x)$ , 這兩個m是沒有理由要一樣的。可是這兩個m對任何的粒子都一樣, 這是什麼意思呢? 若你把這m一除, 則對任何的粒子都是  $\ddot{x} = g(x)$ 。所以你有universal x and t的關係, 這就連到幾何了。所以他的根據就是慣性質量 and 重力質量一樣。它是universal的, 對任何粒子都一樣。也就是任何的粒子都是幾何。如果這樣想是一個比較對的地方, 然後東敲敲西敲敲以後, 突然發現Riemannian幾何, 把它一列東西就跑出來了。像愛因斯坦這樣一個大師他也做了十年。可是到他對了以後, 它這個東西自己就發展起來。於是就出現了perihilion通通都出來

物理雙月刊(十四卷五期)1992年

。不過像這種研究你偶而想想可以，是可遇而不可求的。這是幾百年才出來的，所以我不討論這個。普通一般的呢？比方說前幾年我做一個叫晶格規範理論。那是K. Wilson把一個連續的理論放在晶格上。因為他已經做了相當久了，我就聽他講這個理論。聽完了我想這個東西也許有點道理。不過這東西違反不變論。所以我想也許你可以把它隨便點（粉筆在黑板上亂點）。它可以平均保持是各向同性空間。所以就變成Lorentz不變性。我並不是說這個思想一定怎麼的好。不過這思想是個新的思想，也不是什麼困難的思想。然後你發覺這個觀念立刻自己可以發展起來。我這個簡單的例子就是說，要研究的話，有一個要知道的，就是跟人交流的重要性。不是光光知道人家能夠做什麼，事實上更重要的是人家不能做什麼，跟他知識的邊界在那兒。這點你唸書是唸不出來的。人家寫文章不會告訴我這個不會做那個不會做。他只告訴我這個會做，那個會做。所以你不知道邊界在那兒。那只有面對面討論才會知道。你把那個邊界一摸熟了以後，自己就可以上去了。

比方我剛才跟古先生（註：古煥球所長）談到81年隨機晶格出來以後，我們本來沒有計算機的。所以我們就買個VAX780。買了以後發覺這計算機不夠用，所以我就問問說市面上有什麼計算機？他們說CRAY XII剛出來。但也不夠用。後來我就鼓勵自己的研究群，都是唸理論物理的，我們自己做。現在我們自己做的那個Super-super computer已經是全世界第一的。這個……我沒有帶那個晶片來。現在我們要開創一個計劃叫telraflop，那些做的裡面有很多都是我大陸的學生。每年有很多到美國來，其中部份在哥倫比亞大學。他們什麼都不知道，也從來沒有人做過。但是一回生二回熟，我們現

在已經是全世界第一了。遠遠超過日本，也超過其他的人。

Q：談到計算機，比方說，在物理上，從晶格規範理論甚至到一些統計，凝體物理的問題，都要靠計算機去解決。到下個世紀，計算機佔的份量會不會越來越重？

A：我想當然是越來越重。

Q：我們常用計算機。你剛提到計算機一出錯就一直錯。今天我們拿計算機作理論的計算，如果做錯……

A：那你就查它。所以你不能光做一個。普通查一個程序是很容易的，尤其是用一個很快的計算機。但它一出錯就是大錯，所以有的地方你自己知道怎麼解。你也可以用一個小的計算機來查一個大的計算機。

Q：我們自己做的當然可以，但是我們要查別人算的東西，比如說，人家寫了一篇文章，裡面……

A：你現在講的是那一類的？如果你講的是像算 gyromagnetic ratio of electrom (g-2 factor), Kinoshita算時用了很大的計算機；另外一類，就是算晶格規範理論。現在全世界第一理論群的是我的一組，裡面有我從前的學生叫N. Christ，其他大部分是中國學生。我們自己設計硬體蓋子是我們自己燒的，線也是我們自己配的，晶片是我們跟INTEL要最新的，它還沒有市場，我們就先用了。這計算是相當複雜的，因為它最主要在算很大很大的矩陣。矩陣裡面的元素差不多都是零，然後要inverse它。我們開始做的時候，很多人用商用超級電腦。所以第一步呢，你得重現他們的結果，然後你可以多算一點東西。你可以做別人可以做的任何東西，重視他們所有的結果，而且你證明他們的結果不對，使得他們也承認也許你的對。他假如要挑戰你的話，they have to reproduce the same calculability。當然，我不覺得我們的

會錯。計算機它有普通的單元，單位叫Gflop。Gflop就是一個billion flop就是floating point operation per second。市面上的大約是2 Gflops。我們造的呢，peak是16 Gflops；sustain，也就是constant的，是6.4 Gflops。這已遠遠超過市面上的CRAY-XII by a large factor。因為是我們自己做的，所以24小時不給人家做任何事。那麼，你問這個計算會不會錯？我們自己也查它。自己查就是把起始條件給完全變了。這利用了計算機的特長，它一錯就再錯，再錯就特錯，所以就能自己發現。你差不多要花at least about 20% of time去自己查自己。計算機自己查自己，比我們查自己的factor 2要容易些。比方說乘法，你知道你自己大概運算多少錯一個。通常呢？你每1000個運算裡，就會有一個錯。沒什麼道理的。可能你作到999的時候，突然吃飯去了，回來你就看錯了一行。那你怎麼找自己的錯呢？這是非常難的。找的唯一方法，就是你重覆整個計算without looking at你從前的東西。

這一來的話，每一次都 $10^{-3}$ ，你又來一次的話，在同一個地方再錯的或然率是 $10^{-6}$ ，你做三次的話就是 $10^{-9}$ ，那或然率就很小了。因為軟體的關係，計算機它是這裡一個小錯，那裡一個小錯，所以要檢查是相當難。You have to check everything over。或者兩個人算。兩個人算的話，你要確定兩個人不碰頭。若不碰頭，這個錯是個隨機的錯，而一隨機錯的話，以後不發生。它這很難trace但計算機is much easier, because it's easy to trace。這類型晶格規範。其他比較複雜一點的就是Monte Carlo background calculation。這個background calculation它本身就是Monte Carlo。所以它這個錯跟人的腦子有點像。人的腦子就是whole thing over again，這個跟你自己查你自己的錯

是一樣的。你們每個人都要知道你自己的特點。一定要訓練自己到這種程度。假如你是到 $10^{-1}$ 的話that's very bad。（眾笑）好像每個人走也好，跑也好，總要基本上有點了解自己的速度是什麼。那麼時間久了，就成爲一種習慣了

Q：你是說，我照著同樣的想法一直重覆地算呢？還是……

A：這個錯誤不是你想法的錯誤，它是隨機錯誤。想法的錯誤，你重覆一下，你又錯了。那個沒有用。每個人都有隨機錯誤，這building在我們腦子裡面的。你要找自己的隨機錯誤，這對將來你寫論文很重要。因為everybody no matter how good you are, you make random mistakes, and that you can't help it. The published random mistakes probably like g-2就是很有名的例子。這delays physics by a few years。

Q：你們當初會做超一超級電腦是不是下了很大的決心？

A：沒有下什麼很大的決心。本來我自己想做的，不過我後來因爲有另外一件事，所以就沒有做了。So all I did was to manage this group。不過當初想做的這個決定我記得很清楚。因爲那時候我想做隨機晶格。但那時買得到的計算機都不夠用。剛好我們理論組來了個博士後，是Caltech出來的叫Tony Torano。現在已經不在了。他跟人家學過一陣子如何去做硬體他說這東西不難，所以我就跟他談談。我們先做一個 $SU(3) \times SU(3)$ 的matrix multiplier。那一共花了2000塊美金。而晶片很便宜，才100多塊錢。我有一個朋友在生物系，他買了一個matrix multiplier，是 $SO(3) \times SO(3)$ 的。他花了8萬塊錢。不過我們比他的強多了，可以reproduce everything he did。我們才知道，原來同一個

物理雙月刊（十四卷五期）1992年

principle you can do a lot more and much cheaper。我們是1983年開始做的，一共花了一百四十萬美元對理論組而言，錢並不大，它只是在我那個理論計劃合約書裡面的一個部份而已。

Q：如果你自己想做，但沒有那位博士後幫忙的話，你覺得會不會說……。

A：沒有他告訴我的话，我就不知道要怎麼做。當然我就不會做了。

Q：你自己有沒有想一想呢？

A：怎麼想呢？他跟我講了以後，我才知道它原來是很簡單的東西。

Q：我覺得搞理論物理和做一個計算器之間有一點……。

A：就我剛才講的，增加知識啦；你跟人家說說話，哦！你說這東西可以。可以嘛我們就試試看。很多東西你不能說你到這時間一定要做，因為有些東西是你從來沒有碰見過的。所以無從著手。可是經他一講，原來這基本原理是很簡單的。我們就先試一個很簡單的東西，兩個月就做完了。然後就估計一下，覺得不錯。所以第一步我們就做個小的，是比現在的那個小了64倍。下一步再做個大的。IBM知道我們在做是我們做到16個flop的時候。然後他一下子就跳到我們最後的216 flops。他們是在2年半前做完的。現在還沒有debug，還不work。所以這個東西很難講。我覺得我們之所以成功是很多年輕人把這個就當作是他們的baby。關於研究很重要的就是it has to be your baby。父母對自己的孩子和對別人的孩子是不一樣的。研究東西時，往往人家在這，你跳過去，若是成功的話就是你的baby。所以你對它格外專心。就像寫論文，你說你是做6小時；if this is your baby you think about it……，這時間是很難講的。你們這兒有沒有做父母親的？（眾人搖頭）還是研

物理雙月刊（十四卷五期）1992年

究生都沒有結婚？（眾笑）。這你也許可以想像啦，假如你做了父母，你有了孩子，你說你一天花了幾個小時在裡面呢？算一算也許只花了二個小時，事實上你花的時間是很多的。做研究也一樣，因為你一空下來就想，咦？它這裡面是不是有毛病。你在想的時候表示你跟這個東西還沒有打成一片。跟你做的東西要能打成一片，它才是你的baby。而你這個想法就不會一樣，自然就不問這個問題了。

Q：您在美國那麼多年，就您的了解，他們在養成一個理論物理學家與實驗物理學家之間有什麼差異，或是值得注意的地方？

A：理論物理學家，除了我這些做超級電腦那一組以外，是不太動手的。或是根本不動手，除了寫字。（眾笑）在美國大部分唸物理的， $\frac{1}{4}$ 是華人，另外 $\frac{1}{4}$ 是印度人，日本人及其他人。只有一半是本地的。對於這兒的情況，我比較不清楚。不過在美國的話，差不多每個家裡的地下室都有工作間。從小就動動手的，所以動動手不算是什麼事情。事實上他們唸理論物理的人也會動手。而在中國傳統下長大的，用手的機會比較少了，因為我們是從孔子、孟子學下來的（眾笑），沒有動手這個習慣。可是這並不表示作實驗就吃虧了。我剛才講，這些作超級電腦的很多是中國學生。不過，沒有鼓勵的話，他們不太會做的，因為他們沒有接觸過。事實上，在漢朝以前，中國人是很動手的。

Q：你目前比較感興趣，想去發掘的大問題是什麼？

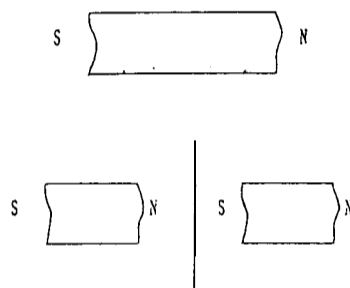
A：想發掘的大問題有幾個，那倒是很容易講。當代的兩個最重要的問題，也可以說是一個問題，就是真空是不是一個物理介質？當代兩個問題第一個問題就是missing symmetry。另一個問題是unseen quark。這個我在講history of weak interaction的時候也會提。我們現在所有的理論是QCD, electroweak, gravitation所有

• 519 •

這些理論都是對稱。所以你知道這對稱就有法子把方程式寫下來。它每一個對應到什麼研究群這你們都很清楚。從前你要研究物理現象的話每個東西都是separate law of physics等於force等於totality。you don't know the force, you don't know the acceleration, you don't know the solution。每個力要各別給的。簡諧振盪就是一個力，重力又是另外一個力，摩擦又是一個力。這是一個framework。在牛頓那個時候，某些力有對稱，某些力沒有對稱。可是你不能講哪個一定要比哪個好。可是現在則是所有的力都有對稱。但差不多所有對稱的量子數都不conserved這是非常稀奇的事情。所有的力：strong, electroweak, gravity都是based on symmetry；可是如果你觀察它的發覺都是錯的。宇稱就是一個例子。強子數也可能是錯的。所以這裡面就表示他有個大的問題，是個missing piece。這個missing piece就是：什麼是symmetry violating force? 這是個大問題。這當然存在。假如不是這樣的話，所有的對稱都是有的。假如都有symmetry的話，那什麼東西都沒有了。所有的質量都沒有了，每個東西都是chiral symmetric，我們人就不存在。所以我們的存在完全都是因為symmetry violating force出來的。可是symmetry violating force從哪來呢？

我們現認為，一個是你的物理定律不是對稱的。可是物理定律顯然是對稱的，that's the basis。一個是你所在的世界不對稱。比方說我們現在拿了一個指南針。指南針它指南。你可能說旋轉對稱不對。我們說：不是。它是因為南邊與北邊各有一個磁極。這就是說，定律還是對稱可是世界不對稱。但是粒子的世界很難講，因為粒子很少，只有幾個。比方說：K可以衰減到 $2\pi$ 也可以衰減到 $3\pi$ ，所以有個東西不對稱。什

麼東西不對稱呢？我們認為是真空。這叫做spontaneous symmetry breaking。19世紀以太就是來自真空是物理介質這個觀念可是以太它是Lorentz不變性。Lorentz不變性是什麼意思呢？無論地球左轉或者你每天早上慢跑，都不能把真空激發。That doesn't mean, vacuum不能跟一個純量場一樣。一個純量場它是Lorentz不變。可以有種種的quantum number; parity strangeness及其它。所以真空很可能是一個物理介質可以被激發。假如這是對的話，那麼我們就可以做實驗。unseen quark的理由也是同樣的。強子都是夸克做的，pion則是夸克和反夸克。我們認為夸克和反夸克之所以看不見的道理，有很多教科書是這樣解釋的：比如說磁鐵（見圖）中間一切，這又



是南極與北極，單極是看不見的。可是單極看不見是什麼道理？這有兩個解釋。一個解釋是根本就沒有單極，那是電流在轉。沒有單極你當然看不見。另外，有一種規範理論可以製造單極。可是那些單極的質量非常重。你的能量不夠，當然製造不出來。但夸克就不一樣。夸克的能量是非常小的。除了t夸克以外，u夸克和d夸克只有幾個MeV，c夸克只有150 MeV，b夸克也只有幾個GeV。所以質量極低。而我們的能量已經超過它。這是第一。第二呢？因為能量越高，夸克的力越小。所以你可以用很高的能量把它砸開。雖然它的質量很小，可是一砸開

物理雙月刊（十四卷五期）1992年



它這東西不會單獨出來，而又是些強子，介子這些東西跑出來。這是什麼道理呢？我們現在的解釋是，QCD的真空把它press進去。所以我們這兩個問題的解釋都涉及真空是part of dynamics。If that's the case then我們可以改變真空。那你怎麼改變真空呢？事實上，我只需要改變一個像10個fm這樣大小的真空。普通原子核的大小是一個fm。現在每個方向都大十倍，這就有1000倍的體積。假如我可以改變它在裡面看到的真空的話，宇稱就可能定恆，而夸克也可能跑出來。假如這是可以作實驗的話，這真空就不是一個孤立的東西。這樣microscopic physics跟macroscopic physics就連起來了。研究真空現在是個大問題。這個問題我從mid 70s就開始做了。一個有關的實驗做Relativistic Heavy Ion Collider。它把鈾跟鈾互砸。現在這機器叫RHIC，隧道已經有了。這機器今年開始在造，大概到1996年可造好。然後你就可以把兩個離子互砸。這砸以前是我們現在的真空，砸了以後，在100 GeV/nucleon的能量之下，這些nucleons almost transparently go through。它們分開後，剩下的真空就跟以前的真空不一樣，這是可以做實驗來試驗的。所以，我覺得這個當代很大的問題之一。

Q：關於RHIC（相對論重離子對撞機）您對它有何期望？

A：第一步當然是要製造QCD的真空激發。這個我想大概在本世紀末就會發現。

Q：您是說要用鈾去撞？

A：U不太容易做。它是用Au去撞。鈾源比較不容易製造。講是講U，事實上是Au。

Q：在你幾次演講裡，發覺你對物理的數量級的掌握都非常重視。你覺得對付一個物理問題時，是否要先知道它的數量概念？

A：這樣總是比較好一點。你去過紐約沒有？

物理雙月刊（十四卷五期）1992年

Q：沒有。

A：想不想去？也許不想去。紐約恐怕太可怕了，那你講個想去的地方。

Q：大陸。

A：OK！那你預備先到哪兒呢？上海？北京？蘇州……你說呢？

Q：北京。

A：好的。北京這個地方你沒去過，不過你可能看過許多照片。我假定你也沒有看過這些照片。所以，第一步你要想，北京是不是跟月亮一樣？顯然不是。因為你知道北京有歷史，有幾百萬人住在那兒。所以你大致有個概念，它大概有多大，你的觀念不一定很準確，但北京不會和月亮一樣，荒涼無人。將來的北京也許會，不過目前的北京絕對不是這樣的。比方說，你問原子有多大？普通你從街上找來一個人問，他根本不知道有多大。他說一厘米這樣就很小了。可是一個厘米來跟 $1 \text{ \AA}$ 比差了 $10^8$ ，所以它當然是不一樣。因此要有一個基礎的觀念，不然的話就是大錯特錯。假如你對粒子物理有興趣，對這些基本的觀念在within of a factor 10都應該有些認識。這個認識是必要的，要不然你說你喜歡物理是沒有根據的。

Q：請問一些有關科學中文化的問題。在臺灣高等教育的教材大多數是原文書。不知在大陸的情況為何？

A：我想研究院的程度，和這一樣，都是以英文為主，尤其是最近12年。

Q：那日本呢？

A：你普通去日本開一個科學會議的話，他們也用英文。我在一個月前，給日本一個叫MITI（科技部）的部長請去。那個會的第一部分，I gave an opening speech about Teraflop。因為他們也想像。他們發覺他們工業界的人沒有中國學生這麼棒。我說的中國學生，也包括台灣學

生，不只是大陸學生。日本人是喜歡鞠躬的。平常物理學家馬馬虎虎也就不鞠躬。像 Fukuyama，我們都是無所謂的。不過，一般的話，比方你們遇見系主任的話，你們就趕快這樣鞠躬（此時，他將右手姆指彎成90度），他就這樣鞠躬（此時，他將左手姆指彎成30度）（眾大笑）。因為MITI控制日本所有的工業、汽車、照相機、電腦，會議那天，很多像SHARP這樣電腦公司的總裁都在，我們走進去，差不多有300多人全部站起來大鞠躬。他理都不理就走下去。我也沒理他們。（眾笑）那次會議，所有的日本人講的完全是日文。當然，他們有同步翻譯。在工業界裡，則完全用日文。而大陸就不一樣。教員、行政人員都很想學英文，所以英文用的多。我自己覺得，這沒有什麼重要的。因為有的國家，比方說法國，我去參加他們的物理學會集會，我一進去，我們就都講英文，因為他們每個人都會講得很好的。可是我一走，他們就都講法文。還好語言對物理沒有什麼太大關係。我在北京有二個研究所，我們語言都是隨便用的。我在國外住了那麼多年，平常講話也就都是英文和中文夾雜的。