

# 電算機程式設計課程對於物理學習成果的影響

陳世雄

大漢技術學院

(投稿日期：89年9月1日 接受刊登日期：90年8月17日)

摘要：本研究的參與者為七十八位五專二年級同一科系學生。以隨機方式將學生分為實驗組和控制組兩班。在實驗班，教授物理課程並教導學生電算機程式設計以解物理問題。在控制班，則僅授以物理學。設定上學期期末考成績為應變數，並用複迴歸來分析資料。結果顯示：班級、下學期期中考成績兩項自變數對應變數的影響都達統計顯著水準 ( $p < 0.05$ )；但下學期前測成績、上學期期末考成績兩項自變數對應變數的影響，則未達統計顯著水準 ( $p > 0.05$ )。最後所得複迴歸模式的調校判定係數  $Ra2 = 0.304$  達統計顯著水準 ( $p < 0.001$ )。此結果顯示學生在學習物理時若能結合電算機程式設計課程，則學生們可獲得較好的物理成績。

關鍵字：電算機程式設計、輔助、物理教學

## 壹、前言

當我們在 Internet Explorer 的 <http://www.yahoo.com/> 中的搜尋欄鍵入 'computer aided physics learning'，至少有 20000 個網頁符合 (Web Page Matches) 所要搜尋的關鍵詞。在 <http://www.yahoo.com.tw/> 中的搜尋欄鍵入關鍵詞「電腦輔助物理教學」，可以查到 2 筆相關網頁，其中有數十篇有關應用電算機輔助教學的研究成果及著作。在 <http://www.yam.com/> 中的搜尋欄鍵入同樣的關鍵詞，可以發現「教育部 CAI 軟體下載服務」中有國民中學物理的部分。從以上所示可知用電算機輔助教學已成教學上的趨勢之一。

有關電算機輔助或以電算機為主導的教學見諸不少的研究報告 (Andaloro *et al.*, 1997; Gillies *et al.*, 1996; Grayson and McDermott, 1995; Gardner *et al.*, 1993; Niedderer, 1991; Squires, 1987; Thornton, 1987; Bork, 1978, 1981)。這些報告旨在探究不同方式的教學是否能使學生對課程內容獲得較好的理解。Taylor (1988) 指出課本講授、作業、測驗和制式實驗是四種傳統的教學模式；個別指導、示範或模擬教學軟體工具模組、實驗輔助、學生作程式設計是五種使用電算機的教學方式。學生作程式設計的研究亦見於 Redish and Wilson (1993) 的研究報告，他們探討：若學生自己寫電算機程式來解物理問題，是否可以獲得較好的成績。上述情況，啓迪筆者作此研究。

物理是五專工科二年級全學年的必修課；電算機程式設計在二年級下學期開課，以 QuickBasic 程式語言作程式設計。多位研究者 (Chen, 1998; Graham and Hughes, 1994; Feldman, 1993; Johnson and Walberg, 1989; Pascarella *et al.*, 1986) 曾發現先備知識 (prior knowledge) 影響學業成就。物理和電算機程式設計都是工科學生的先備知識。若工科學生能在物理和電算機程式設計獲得好成績，那麼日後他們在專業課程上也可以有好的學業成就。因此，本文對於課程教學結合 (course-teaching association) 的探討，將可發現物理與電算機程式設計的教學結合是否對學生有幫助，並有助於爾後之研究。下文即參研相關文件，歸納成假說以進行探討。

## 貳、假說

Lemeignan 和 Weil-Barais (1994) 研究高中生在力學學習的概念改變，他們認為具有概念性和發展性且有組織的課程可使學生學得更多。因而，本研究即組合物理和電算機的課程，教導學生發展他們的概念和概念的聯想。在第三節的方法中將敘述有關建立概念的教學內容。本節主旨在於回顧文獻以建立假說。

Bork (1978) 引導物理與電算機結合的發展計畫，以研究如何以電算機增進物理的直覺。他發現電算機對學生建立有關被基本原理預測的現象之直覺很有幫助；並提示電算機程式的模擬可提供經驗與增進直覺的機會。Bork (1981) 的另一篇文章報導學生從適當設計的電算機程式學習物理原理，可以調適他們的教育進程。Squires (1987) 亦表示以電算機為基本的經驗來學習物理能使學生發展既存的知識；而學生們經由有意義的過程和途徑逐步增進科學觀念。

以電算機為基礎的教學影響物理的學習亦見於下述文章。Taylor (1987) 比較五種使用電算機以進行物理教學的方式：指導、示範、模組、實驗輔助、學生設計程式，他發現使用

模組可提供互動的圖形來協助學生解決問題。Hicks and Laue (1989) 研究 96 位修大一物理課程的新生，他們發現電算機輔助教學的科目，例如：動力學、阿特午機，都是可以幫助學生概念形成的有效教材；這些科目通常不是直接經由教科書或大班講授而學得。雖然 Gardner 等人 (1993) 發現 Queen's 大學生整年使用膝上型電算機，並沒有顯著影響學業成績，但以電算機輔助或以電算機為基礎的教學有助於物理教育的文獻仍多有所見，例如：Andaloro 等人 (1997)，Martinez-Jimenez 等人 (1997)，Gillies 等人 (1996)，Barton 和 Rogers (1991)，Niedderer 等人 (1991)。

Taylor (1987) 的研究中發現：學生使用教學模組程式來學習物理對學生解決問題的能力有所幫助。而他的另一篇研究報告 (1988) 更提出以學生為程式設計者的模式來學習物理有高度的教育滋養，例如：學生的主動進取、互動、個別化與直接和現象接觸。Redish and Wilson (1993) 引導馬里蘭大學物理和教學科技研究 (Maryland University Project in Physics and Educational Technology research) 以探究學生為程式設計者與物理概論課程間的關係。他們發現用電算機作為課程的一部分，顯著地影響技能與內涵；亦即，在小班教學中，學生解決問題的能力大大地擴展。早先 Wilson 和 Redish (1989) 的文獻即已提出電算機不僅會革新我們教物理的方式，也會改變我們所教的物理。他們指出使用電算機教物理會失敗的因素在於：疏於接近電算機、不良軟體、教職員因沒有充分準備以致無法有效地使用電算機。

在本研究中，筆者設計並使用有組織的課程設計、學生有足夠的時間可使用電算機、電算機程式語言 (QuickBasic) 易學易用 (洪錦魁, 1997)、筆者受過專業訓練可以有效地使用電算機。上述條件排除了一些可能的負面因素，參考電算機教學對於教導和學習有助益的文獻，在此假設：結合物理與電算機程式設計的教學來學習的學生，比那些沒有用結合物理

與電算機的教學來學習的學生，能獲得更好的物理期末考成績。茲將探究本假設的方法敘述如下。

## 參、方法

本研究的時間為八十七學年度下學期。參與者為五專工科二年級學生。有 40 位學生在甲班，38 位學生在乙班。筆者教甲班（控制組）和乙班（實驗組）的物理，亦教乙班的電算機程式設計，甲班的電算機程式設計則由另一位老師執教。物理課 5 學分、電算機程式設計課兩 2 學分。物理課包括六章：波動、幾何光學、光學儀器、物理光學、電子學、近代物理。電算機程式設計課以 QuickBasic 程式語言教陣列、副計畫、內建與自訂函數、電腦音樂、電腦繪圖、檔案管理。在實驗組的乙班實施以撰寫程式語言來模擬現象並解決物理問題，可說是結合物理與電算機程式設計課的教學。在控制組的甲班則沒有作結合教學。

### 一、教學實例

在實驗組乙班的教學中，結合物理課程內容與相關於電算機程式設計的實例（劉振漢、莊豔珠，1985；張仁邦、戴建耘，1985；陳世雄，1985）敘述如下：

#### (一) 波動

一正弦右行波可表示為  $Y(x, t) = Y_m \sin(kx - \omega t)$ 。根據重疊原理，兩個以上的波能相互重疊而產生建設性或破壞性干涉。使用電算機時，學生用迴圈指令 FOR...NEXT 和電腦繪圖指令 PSET 定點與 LINE 畫線可以根據所定義的波動函數，繪出波形和波的干涉現象。用電腦音樂指令 SOUND 和 PLAY 也能夠讓學生獲得聲波和頻率的概念。

#### (二) 幾何光學和光學儀器

反射和折射是這兩章的主題。平面鏡和球面鏡的成像根據反射定率，薄透鏡的成像根據

折射定率。在電算機教學時，學生使用畫圓弧的指令 CIRCLE 畫出面鏡和透鏡，訂定物距和焦距後，可用 LINE 或 DRAW 指令繪光線並找出成像的性質。設定焦距後，亦可用 FOR...NEXT 迴圈和繪圖指令，根據成像公式繪出物距、像距的相關函數圖形。在光學儀器的部分，學生可用自訂函數指令 DEF FN 根據不同的參數，算出各種光學儀器的放大率，或用已知焦距的透鏡來估算鏡筒的長度。

#### (三) 物理光學

雙狹縫干涉和單狹縫繞射是這章主題。使用迴圈和畫圓的指令 CIRCLE 可以顯示雙波源的節線圖像。若改變波源的間距或波長，則節線的位置和數目亦隨之改變。原本在課本上示範的單一圖例，如今可以在電算機螢幕上顯示各種不同的圖像。

#### (四) 電子學

本章主要內容有陰極射線管、示波器、二極體與電晶體的原理及應用。學生可用電算機模擬示波器顯示的圖像。例如：設水平信號源  $x = A_x \cos\theta$ ，垂直信號源  $y = A_y \sin\theta$ ，輸入振幅  $A_x$  和  $A_y$ ，並用畫線和迴圈的指令即可繪出圓或橢圓的圖形。學生在此也學到極坐標和直角坐標轉換的概念和方法。

#### (五) 近代物理簡介

本章包括近代物理起源、光的量子性、原子構造、原子核結構、放射性和能源。波耳的氫原子模型中容許的電子軌道及其所容許的電子能階圖都可讓學生自行繪出。電子由各個高能階軌道躍遷至不同低能階軌道所釋出的光子頻率與波長亦可用所設計的程式算出。

## 二、資料蒐集與分析

下學期開學不久，即進行前測 (pretest)，期中考與期末考亦依序進行。前測的內容為物理學上冊，15 題簡答及計算。期中考的內容包括整個電磁學。期末考共有十個計算題，項目

和題數分別為：波動 2、幾何光學 1、光學儀器 2、物理光學 2、電子學 1、近代物理 2。期末測題如：

弦上有一波，振幅 2.00cm，速率 345m/s，頻率 250Hz，(a)求波長，

(b)寫出波動方程式。

放大鏡之焦距 0.400m，使用時欲成像於明視距離處，問物距應為若干？繪圖以驗證之。

計算氫原子的電子在第五階軌道時之能量。若電子由第五階軌道躍降到基態時，釋出光波之波長為若干？

將下學期期末考的成績設為應變數 (*SS\_FEXM*)；自變數為上學期物理成績 (*FS\_GPA*)，下學期前測成績 (*SS\_PRT*)，下學期期中考成績 (*SS\_MEXM*)，。班級是二元項

目變數 (設甲班 = 0，乙班 = 1)。用統計軟體 SPSS (Norusis, 1993) 的複迴歸 (戴久永, 1998；朱經民, 1989) 分析資料，並預設統計上顯著水準為  $\alpha = 0.05$ 。分析的結果述明於下。

## 肆、結果暨說明

甲班的控制組有 40 位，乙班的實驗組有 38 位，合計 78 位學生。茲將學生們的成績分佈列於表 1。從表中可知常態分布的模式和下學期期末考成績 (*SS\_FEXM*) 及上學期物理成績 (*FS\_GPA*) 分布相符合；但常態分布的模式則和下學期期中考成績 (*SS\_MEXM*) 及下學期前測成績 (*SS\_PRT*) 分布近似。表 1 中，若偏態和峰態的數據愈接近於 0，則常態分布的對稱性和常態峰愈能適切表示數據分布的情形。正值偏態表右偏態，負值偏態表左偏態。正值峰態表高狹峰，負值峰態表低闊峰。

表 1 原始成績分布數據表

變數	平均值	標準差	K-S $Z^a$	A-S $p^b$	偏態	峰態
<i>SS_FEXM</i>	54.2	22.8	1.05	.225	.336	.918
<i>SS_MEXM</i>	23.5	22.1	1.54	.017	1.51	2.12
<i>SS_PRT</i>	3.11	2.91	1.94	.001	1.69	2.21
<i>FS_GPA</i>	66.3	8.86	.946	.332	.050	.622

註：<sup>a</sup> Kolmogorov-Smirnov Z 值，當此值小於 1.36，即常態分布有  $p < 0.05$  統計顯著水準 (Norusis, 1993, p.384)。<sup>b</sup> 雙尾非對稱機率值愈大，對稱分布的機率愈大。

表 2 各變數間之相關

	<i>SS_FEXM</i>	<i>CLASS</i>	<i>FS_GPA</i>	<i>SS_PRT</i>
<i>CLASS</i>	.268*			
<i>FS_GPA</i>	.372**	.173		
<i>SS_PRT</i>	.449**	.176	.520**	
<i>SS_MEXM</i>	.497**	.063	.369**	.698**

註：\* $p < 0.05$ ，\*\* $p < 0.01$ ； $p$  表示隨機出象的機率，此值愈小，相關性愈強。

表 3 以下學期期末考成績為應變數的複迴歸分析結果 ( $N = 78$ )

變數	$B$	$SE B$	$\beta$	$p$ -value
下學期期中考成績開平方	3.66	1.23	.368**	.004
班級 (實驗組相對於控制組)	9.75	4.43	.215*	.031
上學期物理成績	.348	.289	.135	.232
下學期前測成績	.864	1.05	.110	.412

註： $R_a^2 = 0.304$ ，( $p < 0.001$ )；\* $p < 0.05$ ，\*\* $p < 0.01$ 。

表 2 列示變數間的相關係數：數值愈大，相關性愈強。下學期期末考成績 ( $SS\_FEXM$ ) 和每個自變數在統計上有顯著相關。自變數班級 ( $CLASS$ ) 和其餘各個自變數在統計上並沒有顯著相關。上學期物理成績 ( $FS\_GPA$ ) 和下學期前測成績 ( $SS\_PRT$ ) 及下學期期中考成績 ( $SS\_MEXM$ ) 在統計上有顯著相關。下學期前測成績 ( $SS\_PRT$ ) 和下學期期中考成績 ( $SS\_MEXM$ ) 在統計上有顯著相關，且相關係數最大。此表亦顯示先備知識與日後的學習成就有顯著的關連，且測驗時間接近，也有關係。

使用複迴歸 'Enter' 方式分析，得調校判定係數 (adjusted coefficient of determination)  $R_a^2 = 0.296$ ，模式符合度在統計上顯著水準達  $p < 0.001$ ，訂為模式一。因表 1 中的自變數下學期期中考成績 ( $SS\_MEXM$ ) 未達常態分布的統計水準，故將其開平方，以使常態分布可符合數據。分析後，得複迴歸調校判定係數  $R_a^2 = 0.304$ ，模式符合度在統計上顯著水準亦達  $p < 0.001$ ，訂為模式二。模式二之  $R_a^2$  稍大模式一，故取模式二，並將其結果列於表 3。

$R_a^2 = 0.304$  表示複迴歸模式解釋逾 3 成 (30.4%) 樣本數據之變異 (variability)。本分析的檢定力 (power) 達 95% (Cohen, 1977)。以標準化應變數估計值為水平橫軸，並以學生化殘差值 (Studentized residual) 為垂直縱軸繪出圖 1。學生化殘差值是各個點的殘差值除以各該點殘差之標準差 (Norusis, 1993,

p.325)。若迴歸模式適用，則學生化殘差值應隨機散布於橫軸的附近。審視圖 1，殘差略呈雙弓狀，表示分析所得模式有不足之處 (戴久永, 1998, 頁 474)，但標準化應變數估計值和學生化殘差值幾無相關，因  $R^2$  趨近於零，此表示複迴歸分析結果沒有顯著的誤差。進一步的討論敘述於下。

## 伍、討論暨結論

殘差圖，即圖 1，指出迴歸模式潛在問題，可作為未來改進模式的參考。圖 1 顯示高分和低分數據有不足的現象，尤其以高分數據不足為甚。但要檢定某自變數是否對模式有顯著的影響，及其影響的強弱 (根據標準化迴歸係數  $\beta$  的大小)，則須透過 t 檢定。表 3 顯示下學期期中考成績 ( $SS\_MEXM$ ) 和班級 ( $CLASS$ ) 都達統計顯著水準；但上學期物理成績 ( $FS\_GPA$ )

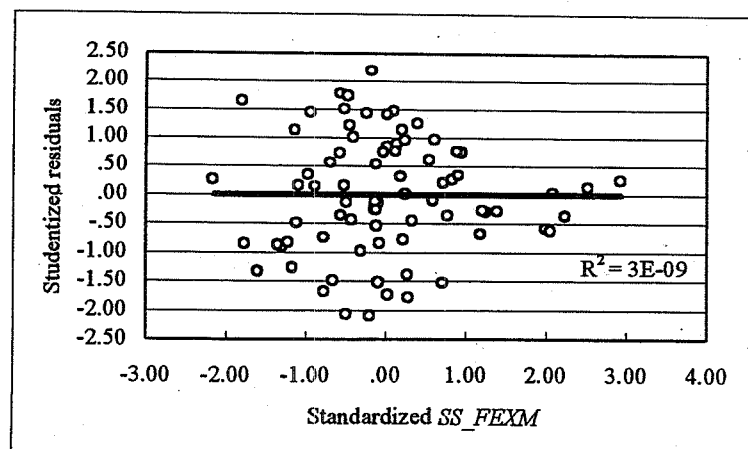


圖 1 學生化殘差值 (Studentized residual) 對應標準化應變數估計值。

和下學期前測成績 ( $SS\_PRT$ ) 則未達統計顯著水準。表 2 中的班級 ( $CLASS$ ) 除了與下學期期末考成績 ( $SS\_FEXM$ ) 有顯著相關外，與其他自變數均無顯著相關。班級與其他自變數間的低相關避免了協同線性 (collinearity) 的產生而導致難以分辨各個自變數效應的困擾。協同線性是一自變數與其他自變數迴歸，提供相似的資訊於迴歸模式中。「班級」是指標變數，它的值是 0 或 1，此定性自變數對下學期期末考成績影響頗大，因為在表 3 的預測模式中，班級的  $B$  值乘以 0 或 1，會有 0 或 9.75 的差別。

由於指標變數「班級」在統計上顯著，故可知物理和電算機程式設計同時教導，對學生的期末考物理成績有正面的影響。其可能原因分述於下：(1) 在電算機程式設計課中，學生使用 INPUT 和 FOR...NEXT 指令來探知變數間的關係及問題可能的解。此種練習可讓學生瞭解物理，並獲得性質和數量的概念 (Martinez-Jimenez *et al.*, 1997; Gillies *et al.*, 1996; Niedderer *et al.*, 1991)。(2) Thornton (1987) 指出學生只在課堂聽課，可能無法發展縝密思考或解決問題的能力，但在程式設計課中，學生能建立分析、思考和解決問題的技巧 (Matey 1993)。(3) 使用繪圖指令 LINE、CIRCLE、DRAW 可以引起學生的興趣，增進瞭解，並幫助學生解決問題 (Zypman, 1993; Taylor 1987)。(4) 學生或多或少樂意嘗試不一樣的教學方式，因而改善他們的認知，並提高他們的學習成果 (Lemeignan and Weil-Barais, 1994; Redish and Wilson, 1993)。另外，實驗組每週多接觸兩小時的物理與兩班的教學內容稍為不同，也可能是指標變數「班級」在統計上顯著的因素。

筆者的主觀偏好可能影響研究的可靠性，未來若能有多位教師參與類似的研究，限制授課時數和內容以及教師的變因，並對單一概念叢作緊密的探討，電算機程式設計課程對於物理教學的成效，或能得到進一步的驗證。

## 陸、參考文獻

1. 朱經民 (1997): 教育統計學, 227-308 頁。台北: 五南。
2. 洪錦魁 (1997): 中文 QuickBASIC。台北: 松崗。
3. 張仁邦、戴建耘 (1985): 用電腦學物理。台北: 儒林。
4. 劉振漢、莊豔珠 (1985): IBM PC 電腦繪圖。台北: 三民。
5. 陳世雄 (1985): 微電腦製圖: 基本原理及物理學上的應用。花蓮: 東佳。
6. 戴久永 (1998): 統計概念與方法, 519-532 頁。台北: 三民。
7. Andaloro, G., Bellomonte, L. & Sperandio-Mineo, R. M. (1997). A computer-based learning environment in the field of Newtonian mechanics, *International Journal of Science Education*, 19, 661-680.
8. Barton, R. & Rogers, L. (1991). The computer as an aid to practical science-studying motion with a computer, *Journal of Computer Assisted learning*, 7, 104-113.
9. Bork, A. (1978). Computers as an aid to increasing physical intuition, *American Journal of Physics*, 46, 796-800.
10. Bork, A. (1981). Computer-based instruction in physics, *Physics Today*, 34, 24-30.
11. Chen, S. S. (1998). Modeling college student persistence: a logistic regression analysis approach, Ph.D. thesis, Florida State University, USA.
12. Cohen, J. (1977). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, pp.407-453, New York: Academic Press.
13. Feldman, M. J. (1993). Factors associated with one-year retention in a community college, *Research in Higher Education*, 34, 503-512.

14. Gardner, J., Morrison, H. & Jarman, R. (1993). The impact of high access to computer on learning, *Journal of Computer Assisted Learning*, 9, 2-16.
15. Gillies, A. D., Sinclair, B. D. & Swithenby, S. J. (1996). Feeling physics: computer packages for building concepts and understanding, *Physics Education*, 31, 362-368.
16. Graham, S. W. & Hughes, J. C. (1994). Moving down the road: community college students' academic performance at the university, *Community College Journal of Research and Practice*, 18, 449-464.
17. Grayson, D. J. & McDermott, L. C. (1996). Use of the computer for research on student thinking in physics, *American Journal of Physics*, 64, 557-565.
18. Hicks, R. B. & Laue, H. (1989). A computer-assisted approach to learning physics concepts, *American Journal of Physics*, 57, 807-811.
19. Johnson, M. L. & Walberg, H. J. (1989). Factors influencing grade point average at a community college, *Community College Review*, 16, 50-60.
20. Lemeignan, G. & Weil-Barais, A. (1994). A developmental approach to cognitive hang in mechanics, *International Journal of Science Education*, 16, 99-120.
21. Matey, J. R. (1993). General principles for application of computers in experimental physics. *Computer in Physics*, 7, 12-17.
22. Martinez-Jimenez, P., Casado, E., Martinez-Jimenez, J. M., Cuevas-Rubino, M., Gonzalez-Caballero, D. & Zafra-Lopez, F. (1997). Interactive physics simulations appeal to first-year students, *Computers in Education*, 11, 31-35.
23. Niedderer, H., Schecker, H. & Bethge, T. (1991). The role of computer-aided modeling physics, *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 84-95.
24. Norusis, M. J. (1993). *SPSS for Windows: Base System User's Guide*, Release 6.0, pp.311-366. Chicago: SPSS Inc.
25. Pascarella, E. T., Smart, J. C. & Ethington, C. A. (1986). Long-term persistence of two-year college students, *Research in Higher Education*, 24, 47-71.
26. Redish, E. T., Smart, J. C. & Eithington, C. A. (1997). On the Effectiveness of Active-eugagement Microcomputer-based Laboratories, *American Journal of Physics*, 65, 45-54.
27. Squires, D. (1987). Providing computer-based experience for learning physics, *Physics Education*, 22, 239-243.
28. Taylor, E. F. (1987). Comparison of different uses of computers in teaching physics, *Physics Education*, 22, 202-211.
29. Taylor, E. F. (1988). Learning from computers about physics teaching, *American Journal of Physics*, 56, 975-980.
30. Thornton, R. K. (1987). Tools for scientific thinking: microcomputer-based laboratories for physics teaching, *Physics Education*, 22, 230-238.
31. Wilson, J. M. & Redish, E. F. (1989). Using computers in teaching physics, *Physics Today*, 42, 34-41.
32. Zypman, F. R. (1993). Symbolic programming helps to teach debye-scherrer diffraction, *Computers in Physics*, 7, 22-26.

# Effect of Computer Programming Course on Physics Learning

Sea-shon Chen

Dahan Institute of Technology

## Abstract

The effect of the student as computer programmer on physics teaching and learning is investigated based on 78 students who are randomly selected into two second-grade classes in a junior college of the same department. In the experimental class, students are taught physics and instructed to learn and solve physics problems by computer programming. While in the control class, students are taught physics only. The dependent variable is second-semester final-examination grade, and multiple regression is used to analyze the data. Two statistically significant ( $p < 0.05$ ) independent variables are the class and second-semester midterm grade, while second-semester pretest and first-semester final-examination grades are not statistically significant ( $p > 0.05$ ). The resulting model has the adjusted coefficient of determination  $R_a^2 = 0.28$  with significant level  $p < 0.001$ . In all, the results indicate that students get better physics grades if instructing physics associates with computer programming..

**Key Words:** computer programming, aid, physics instruction.